

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE BROCAS DOWN THE HOLE (DTH) A PARTIR DEL AFILADO DE INSERTOS EN EL EQUIPO BQ3-DTH

Tesis presentada por el bachiller:

Torres Cuadros, Rodrigo Mauricio

para optar el Título Profesional de:

Ingeniero de Minas

Asesora:

Ing. López Casaperalta, Patricia Yaneth

Arequipa - Perú

2020

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA DE MINAS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 21 de Septiembre del 2020

Dictamen: 001715-C-EPIM-2020

Visto el borrador de tesis del expediente 001715, presentado por:

2013224411 - TORRES CUADROS RODRIGO MAURICIO

Titulado:

**OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE BROCAS DOWN THE HOLE (DTH) A PARTIR DEL
AFILADO DE INSERTOS EN EL EQUIPO BQ3-DTH**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

2872 - LOPEZ CASAPERALTA PATRICIA YANETH
DICTAMINADOR



3119 - REATEGUI ORDOÑEZ FULTON CARLOS PASTOR
DICTAMINADOR



9571 - BERNEDO TITO EDWIN JOSE
DICTAMINADOR



Presentación

Señores miembros del jurado, me complace presentar la investigación titulada: **Optimización del rendimiento de brocas down the hole (DTH) a partir del afilado de insertos en el equipo BQ3-DTH.** A partir de ahora broca down the hole se mencionará como broca DTH. Con el objetivo de alcanzar el título profesional de Ingeniero de Minas.

El estudio ha sido desarrollado siguiendo las bases y aspectos metodológicos para el desarrollo de una investigación, cumpliendo estrictamente el reglamento de grados y títulos establecidos por la Universidad Católica de Santa María de la Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales y la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.

Sin otro particular, me despido presentándoles mi eterno agradecimiento, por el apoyo brindado en la revisión de la presente tesis.

Arequipa, octubre del 2020.

Rodrigo Mauricio Torres Cuadros

Agradecimientos

A Dios, quien siempre guía mi camino y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Un eterno agradecimiento a la empresa minera Epiroc Perú, por permitirme poder realizar mis prácticas profesionales en la empresa, donde pude aplicar mis conocimientos y fortalecer mi experiencia profesional en temas de perforación. Asimismo, por brindarme la ayuda necesaria para poder realizar pruebas y estudios que ayudaron a la realización de la tesis, y a toda el área de RDT (Rock Drilling Tools), un grupo de trabajo que siempre me brindo un excelente acompañamiento y favoreció mi formación en lo profesional y personal, a Don Alberto Mitumori, Ing. Henry Escobar, Ing. Oliver Tejada, Ing. Elard Rodríguez y mi gran amigo que me acogió y brindo apoyo desde el primer día de mi desarrollo profesional Ing. Kevin Salas.

De igual manera, agradezco infinitamente a la Universidad Católica de Santa María, a mis profesores quienes siempre nos brindaron conocimientos únicos y que permitieron mi crecimiento profesional día a día, gracias por su dedicación y apoyo incondicional.

Dedicatoria

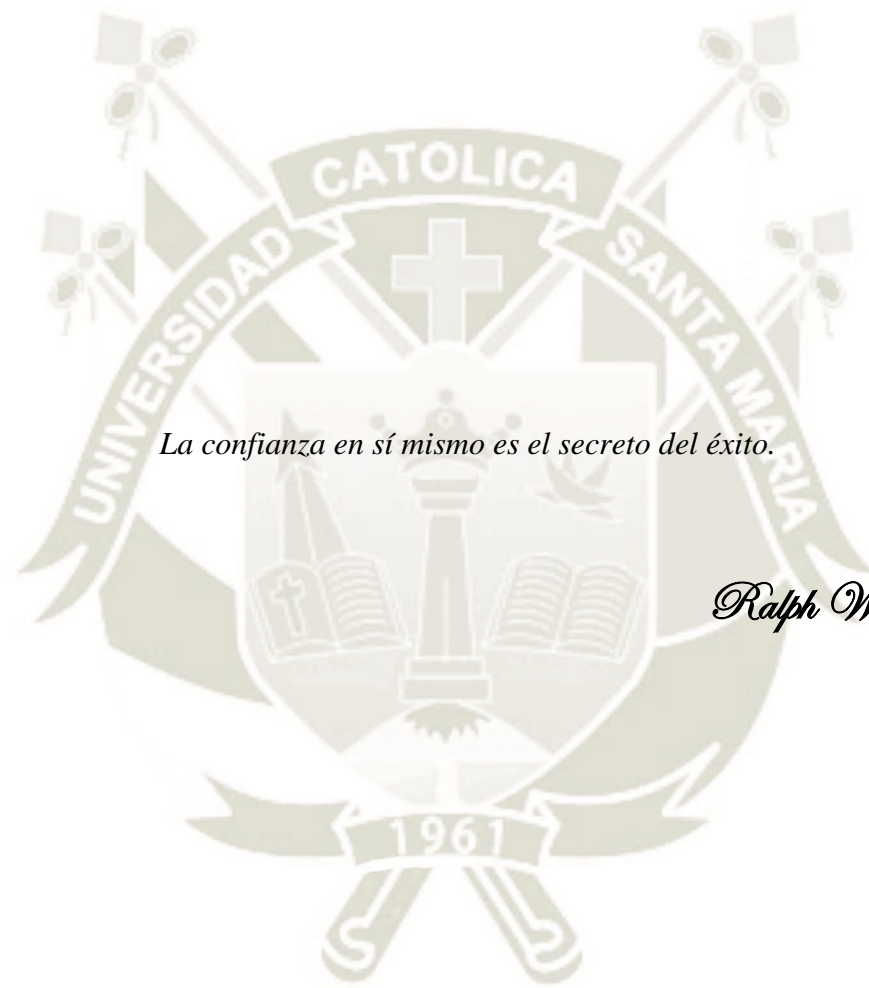
Esta tesis va dedicada:

A mis padres Herly Torres y Jenny Cuadros quienes, mediante su apoyo incondicional, comprensión y esfuerzo me han permitido completar mis estudios y lograr un sueño más. Gracias por ser el ejemplo que cualquier hijo en el mundo quisiera tener, gracias a ustedes soy una persona quien en base a esfuerzo y perseverancia puede lograr todos los objetivos de la mano de Dios.

A mis hermanos Herly Alonso Torres y Maria Alejandra Torres por su cariño y apoyo incondicional, siempre atentos a cada avance de este proyecto y en el desarrollo de esta investigación. A todos los miembros de mi familia quienes a partir de sus consejos y buenos deseos permitieron que tenga la motivación para alcanzar mis sueños y objetivos. De una forma u otra ellos me acompañan en cada momento para alcanzar las metas que me he propuesto en el ámbito profesional y personal.

Finalmente, quiero dedicarle esta tesis a todos los colaboradores que me brindaron su apoyo y conocimientos permitiendo que este trabajo de investigación se realice con total éxito.

Epígrafe



La confianza en sí mismo es el secreto del éxito.

Ralph Waldo Emerson

Resumen

La presente investigación se realizó con el propósito de incrementar el tiempo de vida de las brocas DTH y velocidad de martillos DTH, a partir de la implementación de una metodología de afilado de insertos de brocas DTH en la Afiladora semiautomática BQ3-DTH.

El presente trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo, el cual ayuda a la verificación de los resultados con valores numéricos donde se trabaja con una muestra de 68 brocas DTH para ambas minas (yacimiento de oro diseminado y mina pórfido de cobre) donde se realizaron los estudios. La investigación es de tipo descriptiva y explicativa con un diseño longitudinal de campo, dando a conocer que los datos fueron tomados en la zona de estudio mediante el llenado de dos formatos, uno de registro de brocas afiladas y otro del performance de los aceros de perforación, para luego ser analizados a través de tablas y gráficas.

En consecuencia, mediante la implementación de una metodología de aguzado de insertos DTH para la afiladora BQ3-DTH, permitió que el rendimiento de brocas se incremente hasta en un 44.5% en la mina de pórfido de cobre y un 32.6% en la mina de oro diseminado. Por otro lado, también contribuyó con el aumento de la velocidad de los martillos hasta en un 6.1% en la mina de oro diseminado y en 1% en la mina de pórfido de cobre. Con lo cual, la cantidad de brocas DTH a consumir anualmente disminuye generando ahorros anuales en el costo total de metros perforados por 257,000.00 dólares.

Palabras Clave:

Afiladora BQ3-DTH, Tiempo de Vida, Sistema DTH, Costo Total de Perforación, Velocidad de Penetración, Costos, Procedimiento de Afilado, dureza de inserto.

Abstract

This research was carried out with the purpose of increase the life time of DTH bits and the speed of DTH hammers, based on the implementation of an insert grinding methodology in the BQ3-DTH Grinding Machine.

This research has a quantitative approach that helps the verification of the results with numerical values, with a total sample of 68 BTH bits were taken into account for the two mines where the studies were carried out. The research is descriptive and explanatory with a longitudinal field design, showing that the data was collected in the place of study by filling two formats, one for the record of sharp bits and the other one by the performance of drilling tools, to later be analyzed through tables and graphs.

In conclusion, by implementing a DTH insert grinding methodology for the BQ3-DTH grinding machine, it allowed the bit performance increase up to 44.5% in the copper porphyry mine and 32.6% in the disseminated gold mine. On the other hand, it also contributed to the increase of the hammer speed by up to 6.1% in the disseminated gold mine and 1% in the copper porphyry mine. Thus, the amount of DTH drill bits to be consumed annually decreases, generating annual savings in total drilling cost by 257,000.00 dollars.

Keywords:

BQ3-DTH Grinding Machine, Drill Performance, DTH system, Total Drilling Cost, Penetration Speed, Costs, Sharpening Procedure, insert hardness.

Introducción

El presente trabajo de tesis tiene por objetivo optimizar el tiempo de vida de las brocas DTH y velocidad de martillos DTH, a partir de la implementación de una metodología de aguzado de insertos de brocas DTH en la afiladora semiautomática BQ3-DTH. El trabajo muestra la influencia del aguzado de insertos en el aumento del rendimiento de brocas DTH y consecuentemente esto se ve reflejado en el total drilling cost (dólares/metro) de mina.

El trabajo de investigación se realizó con el interés de proponer a la mina de yacimiento de oro diseminado en el norte del Perú y una mina de yacimiento de pórfido de cobre en el sur del Perú el afilado de insertos en brocas DTH para optimizar el rendimiento de las mismas y reducir el consumo anual tanto de brocas DTH como de martillos DTH. Debido a que, en las visitas técnicas se observó que la mina desechaba las brocas DTH después de su primer uso, consiguiendo bajos rendimientos y elevados costos. Además, al disminuir la velocidad del martillo DTH se generaba la reducción del tiempo de vida de martillos y su correcto funcionamiento.

La investigación se realizó a partir de la recolección de datos mediante el llenado de dos formatos; primero el formato de registro de brocas DTH a ser afiladas y desechadas, como parte de la metodología de afilado de insertos, segundo el formato de reporte de producción donde se ve el performance de las brocas de perforación DTH post-afilado, donde se podrá observar los incrementos en rendimientos alcanzados por las brocas DTH, así como la reducción de tiempos por perforación de taladros. Mediante un muestreo no probabilístico de juicio se determinó las brocas DTH y martillos DTH a ser analizadas en ambos proyectos, escogiendo solo las brocas y martillos DTH corridos en las perforadoras que fueron sometidas a pruebas de aire y pulldown.

De acuerdo a lo señalado en la metodología, esta investigación está estructurada de la siguiente manera:

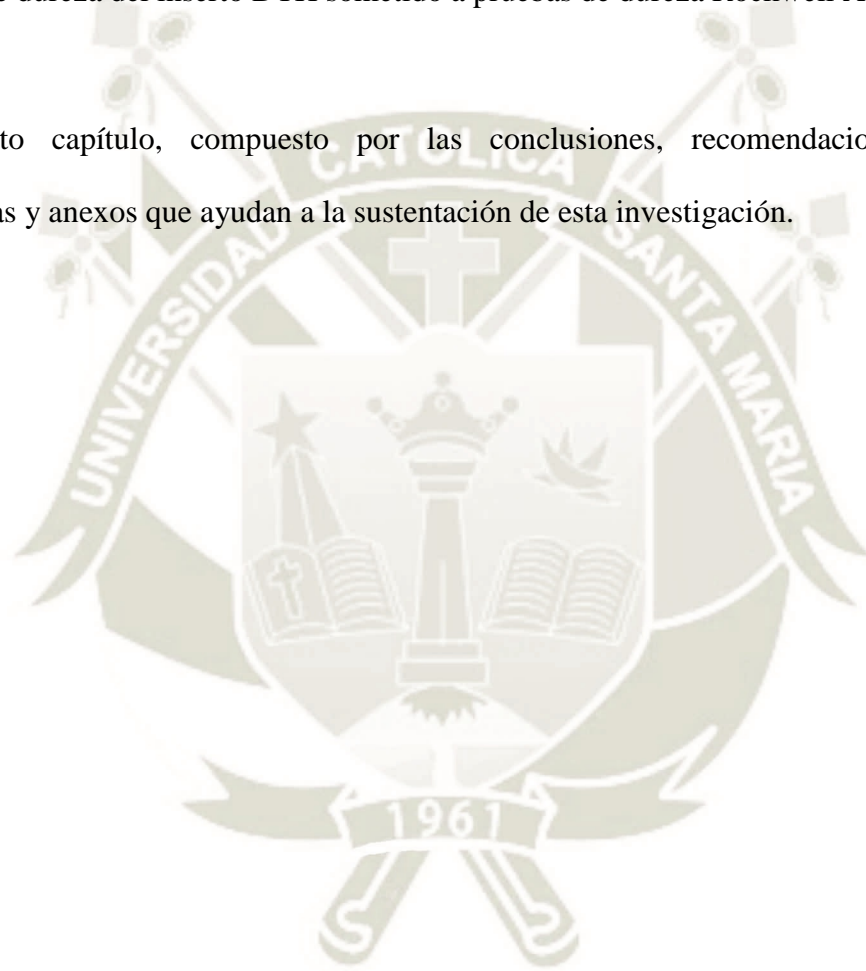
En el primer capítulo se aborda el problema de la investigación y una posible solución, estableciendo distintos objetivos los mismos que serán validados durante el desarrollo de la investigación, seguido de los aportes que se brindarán al desarrollo óptimo de los procesos mineros.

El segundo capítulo llamado fundamentos teóricos, inicia con los antecedentes de la investigación que corresponden a los estudios realizados sobre el afilado de brocas Top Hammer en minería subterránea, donde el afilado no tenía relevancia en la velocidad de los martillos Top Hammer y se realizaba todavía un afilado manual. Posteriormente, el análisis de conceptos relacionados a los aceros de perforación y su relación con el aguzado de insertos en una afiladora semiautomática, que posteriormente ayudarán a la validación de los objetivos propuestos.

El tercer capítulo se hace referencia al establecimiento de las variables cuantitativas, recolección de datos a través del llenado diario de formatos durante el desarrollo de ambos proyectos; tomando una muestra no probabilística de juicio que permite el análisis focalizado de brocas y martillos corridos en perforadoras DTH sometidas a pruebas de aire y pulldown. Así como el establecimiento del procedimiento de aguzado de brocas en la afiladora BQ3-DTH y su aplicación en los proyectos mencionados. Por último, para certificar las propiedades del carburo de tungsteno post-afilado, se realiza la medición de dureza de un inserto extraído de una broca descartada.

Cuarto capítulo referente al análisis e interpretación de resultados fundamentados a través de tablas y graficas con valores numéricos, a partir de datos obtenidos de reportes diarios otorgados por mina sobre el performance del sistema de perforación DTH, así como el análisis de los resultados de dureza del inserto DTH sometido a pruebas de dureza Rockwell A.

Quinto capítulo, compuesto por las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos que ayudan a la sustentación de esta investigación.



Índice General

Presentación	iii
Agradecimientos	iv
Dedicatoria	v
Epígrafe.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract	viii
Introducción	ix
Índice General.....	xii
Fórmulas	xiv
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras.....	xviii
Anexos	xx
CAPÍTULO I	1
1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del Problema.....	2
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivo Especifico	2
1.3. Preguntas de Investigación.....	3
1.4. Línea de Investigación	3
1.5. Palabras Clave.....	3
1.6. Aporte del Desarrollo de Tesis.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1 Estado del Arte	6
2.1.1. <i>Como afilar herramientas de perforación de roca generan dinero para la empresa..</i>	6
2.1.2. <i>El caso económico para el afilado diario de insertos</i>	7
2.2 Antecedentes de la Investigación	8
2.2.1. <i>Optimización de brocas Top Hammer</i>	8
2.2.2. <i>Reducción de costos optimizando el mantenimiento de brocas Top Hammer</i>	10

2.2.3. <i>Afiladora manual Secoroc HG</i>	13
2.3 Bases Teóricas.....	14
2.3.1. <i>Sistema de perforación DTH</i>	14
2.3.2 <i>Tipos de taladros a perforar con sistema de perforación DTH</i>	16
2.3.3 <i>Parámetros clave para una perforación correcta</i>	19
2.3.4 Componentes de una columna de perforación DTH	22
2.3.5. <i>Afiladora de brocas BQ3-DTH</i>	31
2.3.6. <i>Afilado de brocas DTH</i>	33
2.3.7. <i>Costo Total de Perforación (TDC)</i>	36
2.4 Hipótesis.....	37
2.5 Variables.....	37
2.5.1 <i>Variable independiente</i>	37
2.5.2 <i>Variable dependiente</i>	37
CAPÍTULO III.....	39
3. MARCO METODOLÓGICO	40
3.1. Alcances y Limitaciones	40
3.1.1. <i>Alcances</i>	40
3.1.2. <i>Limitaciones</i>	40
3.2. Tipo y Diseño de la Investigación.....	41
3.2.1. <i>Tipo de investigación</i>	41
3.2.2. <i>Diseño de la investigación</i>	41
3.3. Población y Muestra.....	41
3.3.1. <i>Población</i>	41
3.3.2. <i>Muestra</i>	42
3.4. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	42
3.5. Desarrollo del Tema.....	43
3.5.1 <i>Procedimiento operativo para afilado de brocas DTH</i>	43
3.5.2 <i>Aguzado de brocas DTH en una mina de oro diseminado en la afiladora BQ3-DTH</i> .	51
3.5.3 <i>Afilado de brocas DTH en una mina de pórfido de cobre en la afiladora BQ3-DTH</i> .	56
3.5.4 <i>Ensayo de medición de dureza de inserto afilado de carburo de tungsteno</i>	60
CAPÍTULO IV.....	67
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	68

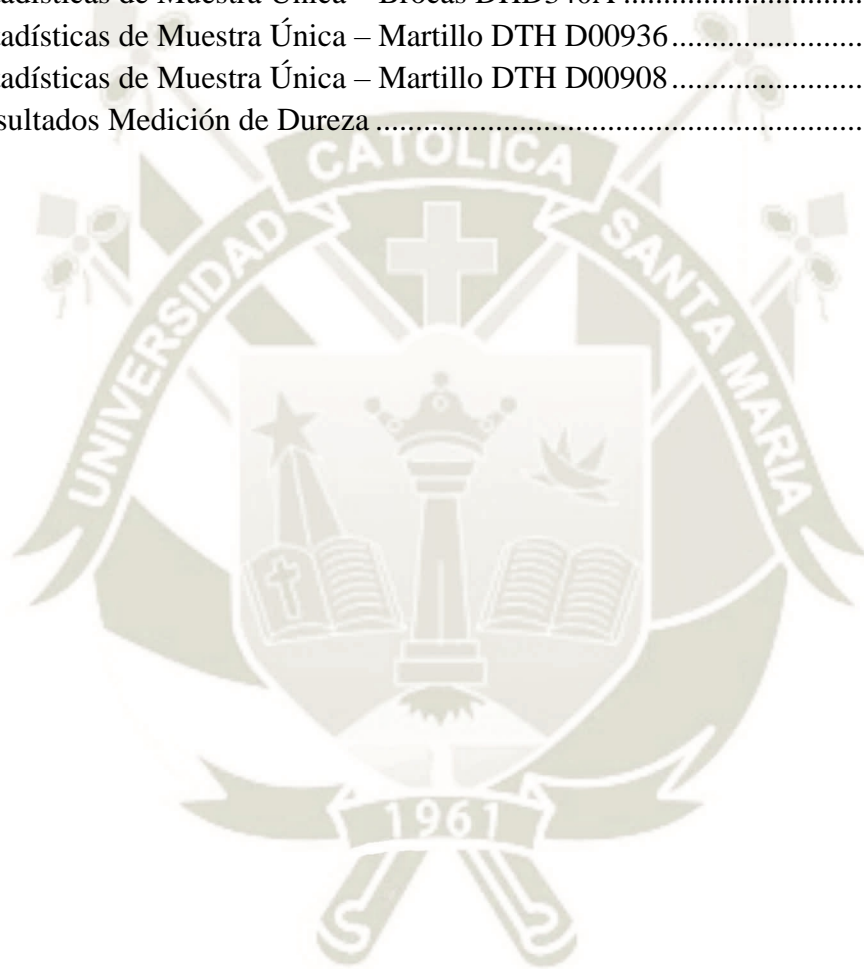
4.1. Análisis e Interpretación de Resultados	68
4.1.1. <i>Afilado de brocas DTH en una mina de oro diseminado en la afiladora BQ3-DTH...</i>	68
Reajuste de rangos de brocas DTH QL50 y martillos DTH en la mina de oro diseminado del norte del Perú	96
<i>Reajuste de rangos de brocas DTH QL50</i>	96
<i>Reajuste de rangos de los Martillos DTH</i>	97
4.1.2. <i>Afilado de brocas DTH en una mina de pórfido cuprífero en la afiladora BQ3-DTH</i>	100
Reajuste de rangos de brocas DTH DHD340A y martillos DTH en la mina de pórfido de cobre del sur del Perú	127
<i>Reajuste de rangos de brocas DTH DHD340A</i>	127
<i>Reajuste de rangos de los Martillos DTH en la mina de pórfido de cobre</i>	128
4.1.3. <i>Ensayo de medición de dureza de inserto afilado de carburo de tungsteno</i>	131
Conclusiones	133
Recomendaciones	134
Referencias Bibliográficas	135
Anexos	138
 Fórmulas 	
Formula 1 Calculo RPM	20
Formula 2 Pulldown	20
Formula 3 Velocidad de Barrido	21
Formula 4 Total Drilling Cost	37

Índice de Tablas

Tabla 1 Cantidad de Taladros vs Cantidad de Metros Perforados.....	8
Tabla 2 Vida Útil vs Metros Perforados de Brocas Afilada	9
Tabla 3 Rendimiento de Brocas y Rimadoras TH en junio del 2018	10
Tabla 4 Rendimiento de Brocas y Rimadoras TH en Julio 2018.....	11
Tabla 5 Calculo de Rendimiento de Brocas de 45mm en el mes de agosto	11
Tabla 6 Especificaciones Técnicas Secoroc HG.....	14
Tabla 7 Velocidades en Función al Tipo de Roca	19
Tabla 8 Fisura o Rotura Transversal.....	29
Tabla 9 Fisura o Rotura Longitudinal.....	29
Tabla 10 Tipo de Daños en las Brocas.....	29
Tabla 11 Botón Fisurado y Roto.....	30
Tabla 12 Botón Roto.....	30
Tabla 13 Rotura de la Cabeza de la Broca.....	31
Tabla 14 Variables Dependientes e Independientes	37
Tabla 15 Perforadoras DTH Producción de Mineral	51
Tabla 16 Especificaciones Técnicas Broca QL50	51
Tabla 17 Brocas con Falla de Producto	53
Tabla 18 Rendimiento de Copas de Afilado.....	54
Tabla 19 Especificaciones Técnicas Broca DHD340A	56
Tabla 20 Brocas con Falla de Producto	60
Tabla 21 Aumento de Metraje de Brocas Afiladas.....	68
Tabla 22 Rendimiento Real de Brocas Afiladas.....	69
Tabla 23 Estadísticas de muestra única de Brocas Afiladas.....	73
Tabla 24 Prueba de Muestra Única de Brocas Afiladas	73
Tabla 25 Rango de vida útil y Porcentaje de Ocurrencias para Rendimiento de Brocas.....	74
Tabla 26 Cantidad de Copas de Afilado Usados	75
Tabla 27 Calculo de Costo Beneficio	75
Tabla 28 Ahorro Anual en el Área de Perforación con Afilado	75
Tabla 29 TDC sin Afilado de Brocas.....	76
Tabla 30 Velocidad y Rendimiento de Martillos.....	77
Tabla 31 Estadísticas de Muestra Única Martillo 509268.....	79
Tabla 32 Prueba de Muestra Única Martillo 509268.....	80
Tabla 33 Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias Martillo 509268	80
Tabla 34 Estadísticas de Muestra Única - Martillo 509281.....	82
Tabla 35 Prueba de Muestra Única – Martillo 509281.....	82
Tabla 36 Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para el Martillo 509281.....	83
Tabla 37 Estadística de Muestra Única - Martillo 506128	84
Tabla 38 Prueba de Muestra Única - Martillo 506128	85
Tabla 39 Rango de Velocidades y Porcentajes de Ocurrencias para el Martillo 506128.....	85

Tabla 40 Estadísticas de Muestra Única - Martillo 509255.....	87
Tabla 41 Prueba de Muestra Única - Martillo 509255	87
Tabla 42 Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para el Martillo 509255.....	88
Tabla 43 Estadísticas de Muestra Única - Martillo 509275.....	89
Tabla 44 Prueba de Muestra Única - Martillo 509275	90
Tabla 45 Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para el Martillo 509275.....	90
Tabla 46 Estadísticas de Muestra Única - Martillo 506114.....	92
Tabla 47 Prueba de Muestra Única - Martillo 506114	92
Tabla 48 Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para el Martillo 506114.....	93
Tabla 49 Estadísticas de Muestra Única - Martillo 506120.....	94
Tabla 50 Prueba de Muestra Única - Martillo 506120	95
Tabla 51 Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para el Martillo 506120.....	95
Tabla 52 Estadísticas de Muestra Única – Brocas QL50.....	97
Tabla 53 Estadísticas de Muestra Única – Martillo DTH 506128.....	98
Tabla 54 Estadísticas de Muestra Única – Martillo DTH 506120.....	99
Tabla 55 Aumento del Metraje Brocas Afiladas.....	100
Tabla 56 Rendimiento Real de Brocas Afiladas	100
Tabla 57 Estadísticas de muestra única de Brocas Afiladas (mina cobre)	103
Tabla 58 Prueba de Muestra Única de Brocas Afiladas (mina cobre).....	104
Tabla 59 Rango de Metrajes y Porcentaje de Ocurrencias para Rendimiento de Brocas (mina cobre)	104
Tabla 60 Muelas de Afilado y Devastadora Usadas (mina Cobre).....	105
Tabla 61 Calculo de Costo Beneficio	105
Tabla 62 Ahorro Anual a partir de Afilado de Brocas (mina cobre)	106
Tabla 63 TDC sin Afilado de Brocas (mina cobre)	106
Tabla 64 Velocidad y Rendimiento de Martillos.....	107
Tabla 65 Estadísticas de Muestra Única - Martillo 200939.....	109
Tabla 66 Prueba de Muestra Única - Martillo 200939	110
Tabla 67 Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para el Martillo 200939.....	110
Tabla 68 Estadísticas de Muestra Unica – Martillo 200936	112
Tabla 69 Prueba de Muestra Única - Martillo 200936	113
Tabla 70 Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para el Martillo 200936.....	113
Tabla 71 Estadísticas de Muestra Única - Martillo 3024335.....	115
Tabla 72 Prueba de Muestra Unica - Martillo 3024335	116
Tabla 73 Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para Martillo 3024335	116
Tabla 74 Estadísticas de Muestra Única - Martillo D00936.....	118
Tabla 75 Prueba de Muestra Única - Martillo D00936.....	118
Tabla 76 Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para Martillo D00936.....	119
Tabla 77 Estadísticas de Muestra Única - Martillo D00908.....	120
Tabla 78 Prueba de Muestra Única - Martillo D00908.....	121

Tabla 79 Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para Martillo D00908.....	121
Tabla 80 Estadísticas de Muestra Única - Martillo 3024313.....	123
Tabla 81 Prueba de Muestra Única - Martillo 3024313	123
Tabla 82 Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para Martillo 3024313	124
Tabla 83 Estadísticas de Muestra Única - Martillo D00909.....	125
Tabla 84 Prueba de Muestra Única - Martillo D00909.....	126
Tabla 85 Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para Martillo D00909.....	126
Tabla 86 Estadísticas de Muestra Única – Brocas DHD340A	128
Tabla 87 Estadísticas de Muestra Única – Martillo DTH D00936.....	129
Tabla 88 Estadísticas de Muestra Única – Martillo DTH D00908.....	131
Tabla 89 Resultados Medición de Dureza	131



Índice de Figuras

Figura 1 Eficiencia de perforación con afilado y sin afilado de insertos.....	6
Figura 2 Rueda de afilado vs Copa de afilado	7
Figura 3 Rendimiento Brocas de 45mm afiladas en los meses de agosto, setiembre y octubre ...	12
Figura 4 Afiladora Manual Secoroc HG.....	13
Figura 5 Copa de Afilado Tradicional	13
Figura 6 Sistema de Perforación DTH.....	15
Figura 7 Proceso de Generación de Chips	15
Figura 8 Contacto de Inserto con la Roca.....	16
Figura 9 Banco de Precorte.....	17
Figura 10 Pared de Banco de Precorte.....	18
Figura 11 Mallas de Precorte (azul) y Producción (verde).....	18
Figura 12 Espacio Anular Min y Max	21
Figura 13 Columna de Perforación DTH.....	22
Figura 14 Componentes de Unidad de Rotación	22
Figura 15 Componentes de un Saver Sub	23
Figura 16 Componentes de una Barra de Perforación	23
Figura 17 Componentes Externos de un Martillo.....	24
Figura 18 Componentes Internos de un Martillo DTH.....	24
Figura 19 Rango de Brocas para cada Tipo de Roca.....	26
Figura 20 Broca con Frente Plano	26
Figura 21 Broca Speedbit.....	27
Figura 22 Broca con Frente Cóncavo	28
Figura 23 Zonas Dañadas de Brocas.....	28
Figura 24 Daños en los Botones	29
Figura 25 Tipos de Daños en la Cabeza de la Broca	31
Figura 26 Afiladora Semiautomática BQ3-DTH.....	32
Figura 27 Rango de Riesgo de Fallas por Desgaste de Botones.....	33
Figura 28 Generación de Detritus por Insertos Planos	34
Figura 29 Desgaste Normal de un Inserto.....	34
Figura 30 Copa de Afilado Nueva	35
Figura 31 Devastadoras Nuevas.....	35
Figura 32 Posición Inversa de Devastadoras	36
Figura 33 Posición Correcta de la Devastadora en el Equipo.....	36
Figura 34 Desgaste superior a 2/3 del diámetro del inserto.....	44
Figura 35 Desgaste inferior a 1/3 del diámetro del inserto.....	44
Figura 36 Pantalla Principal Compresora	45
Figura 37 Panel del Compresor.....	46
Figura 38 Manómetro de Regulación de Ingreso de Aire.....	46

Figura 39 Manómetro (presión de agua).....	47
Figura 40 Manómetro (levantado de la copa de afilado)	47
Figura 41 Posición Correcta de Devastadora.....	48
Figura 42 Devastado de Matriz de la Broca.....	48
Figura 43 Panel de Trabajo	49
Figura 44 Afilado de Insertos de la Periferie	50
Figura 45 Afilado de Insertos Internos	50
Figura 46 Broca DTH QL50 Nueva.....	52
Figura 47 Copa de Afilado Nueva	52
Figura 48 Copa de Afilado de 16 mm.....	52
Figura 49 Vista Transversal de una Copa de Afilado	53
Figura 50 Proceso Operativo de Afilado de Brocas.....	54
Figura 51 Broca no Apta para Afilado.....	55
Figura 52 Broca con primer Afilado	55
Figura 53 Broca Descartada Después de 3 Afilados.....	55
Figura 54 Broca DHD 340A Nuevas	57
Figura 55 Copa de Afilado nuevas.....	57
Figura 56 Devastadoras Nuevas.....	57
Figura 57 Brocas con Devastado de Matriz.....	58
Figura 58 Broca con Insertos de la Periferie Afilado	58
Figura 59 Broca Afilada de 4 1/2"	59
Figura 60 Broca Afilada de 4 15/16"	59
Figura 61 Broca Afilada de 5 1/8"	59
Figura 62 Broca Descartada.....	61
Figura 63 Proceso de Extracción de Inserto para Prueba de Dureza	61
Figura 64 Posicionamiento de Inserto.....	62
Figura 65 Vaciado de Resina	62
Figura 66 Generación de la probeta	63
Figura 67 Calibración de Equipo	64
Figura 68 Posicionamiento de la Probeta.....	64
Figura 69 1ra Medición de 89 HRA	65
Figura 70 Mediciones de Dureza	66
Figura 71 Rendimiento de Brocas Afiladas vs Requerido por Mina	71
Figura 72 Histograma de Rendimiento de Brocas DTH Afiladas	72
Figura 73 Velocidad de Martillo y Rendimiento (m)	77
Figura 74 Histograma del Martillo DTH 509268 - Perforadora 09	79
Figura 75 Histograma del Martillo DTH 509281 - Perforadora 09	81
Figura 76 Histograma del Martillo DTH 506128 - Perforadora 09	84
Figura 77 Histograma del Martillo DTH 509255 - Perforadora 15	86
Figura 78 Histograma del Martillo DTH 509275 - Perforadora 15	89

Figura 79 Histograma del Martillo DTH 506114 - Perforadora 16	91
Figura 80 Histograma del martillo DTH 506120 - Perforadora 16	94
Figura 81 Histograma del reajuste de brocas QL50 en una mina de oro diseminado	96
Figura 82 Histograma del reajuste del martillo DTH 506128 en una mina de oro diseminado ...	98
Figura 83 Histograma del reajuste del martillo DTH 506120 en una mina de oro diseminado ...	99
Figura 84 Rendimiento de Brocas Afiladas vs Requerimiento de Mina	101
Figura 85 Histograma Rendimiento de Brocas DTH Afiladas (mina cobre).....	103
Figura 86 Velocidad y Rendimiento de Martillos DTH	108
Figura 87 Histograma del Martillo DTH 200939 - Perforadora 11	109
Figura 88 Histograma del Martillo DTH 200936 - Perforadora 11	112
Figura 89 Histograma del Martillo DTH 3024335 – Perforadora 11	115
Figura 90 Histograma del Martillo DTH D00936 - Perforadora 11	117
Figura 91 Histograma del Martillo DTH D00908 - Perforadora 12	120
Figura 92 Histograma del Martillo DTH 3024313 - Perforadora 12	122
Figura 93 Histograma del Martillo DTH D00909 - Perforadora 12	125
Figura 94 Histograma del reajuste de brocas DHD340A en una mina de pórfido de cobre.....	128
Figura 95 Histograma del reajuste del martillo DTH D00936 en una mina de pórfido cobre ...	129
Figura 96 Histograma del reajuste del martillo DTH D00908 en una mina de pórfido cobre ...	130
Figura 97 Comparación de Dureza Inserto Nuevo vs Afilado.....	131

Anexos

Anexo 1 Partes Operativas y Controles de la Afiladora BQ3 DTH	138
Anexo 2 Copas de Afilado y Soportes de Broca.....	139
Anexo 3 Copas de Centrado y Devastadora	140
Anexo 4 Check List de Afiladora BQ3 DTH.....	141
Anexo 5 Data Rendimiento (m) de Brocas en una Mina de Oro Diseminado.....	142
Anexo 6 Data Velocidad de Martillo DTH en una Mina de Oro Diseminado	145
Anexo 7 Data Rendimiento (m) de Brocas Afiladas en una Mina de Pórfido Cobre	154
Anexo 8 Data Velocidad de Martillo DTH en una Mina de Pórfido Cobre	155
Anexo 9 Data Sheet de Broca DTH DHD 340A	159
Anexo 10 Data Sheet de Broca DTH QL50.....	160
Anexo 11 Prueba de Dureza Inserto Carburo de Tungsteno.....	161
Anexo 12 Registro de Brocas Afiladas y Desechadas	163
Anexo 13 Reporte de Producción	164
Anexo 14 Propuesta Económica Pruebas Mina de Oro Diseminado (Taladros de Producción) 165	
Anexo 15 Propuesta Económica Pruebas Mina de Pórfido de Cobre (Taladros de Precorte)....	168



1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

En visitas técnicas realizadas a una mina de yacimiento de oro diseminado del norte del Perú y a una mina de pórfido de cobre del sur del Perú, observamos que el uso de brocas DTH se veía representando por un único uso y su posterior desecho, muchas de estas veces por desgaste prematuro o porque simplemente cumplieron su tiempo de vida; presentándose rendimientos entre 700 y 750 metros por broca. Además, el bajo performance de las brocas repercute en la velocidad de los martillos DTH siendo estos de 47.5 m/hr (mina de oro diseminado) y 32.8 m/hr (mina de pórfido de cobre). Representando gastos anuales por costo total de metros perforados de hasta 2,670,000 dólares; valor que se busca disminuir para optimizar los procesos de operaciones mina.

Se propuso la estandarización de la metodología del afilado de insertos en brocas DTH en la afiladora semiautomática BQ3-DTH. A partir de dicha propuesta se busca superar tanto el rendimiento de las brocas DTH en un rango de 40 – 45 %, como la velocidad de los martillos en un rango de 1 - 7 % respecto al histórico alcanzado por ambas minas.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Optimizar el tiempo de vida de Brocas DTH y velocidad del martillo DTH a partir del aguzado de insertos en la Afiladora BQ3-DTH.

1.2.2. Objetivo Especifico

- Analizar los rendimientos en metros alcanzados por una broca afilada respecto al rendimiento histórico alcanzado por mina.
- Mantener la velocidad del martillo DTH por encima del histórico de mina post afilado.

- Generar un ahorro anual en el costo total de metros perforados.
- Corroborar que, a partir del triple afilado de insertos, sus propiedades de dureza no van a variar evitando que perjudique el performance de la broca.
- Estandarizar el procedimiento de afilado de insertos en la afiladora semiautomática BQ3-DTH, para obtener las dimensiones adecuadas del core de la broca que asegurarán su buen rendimiento en campo.

1.3. Preguntas de Investigación

¿Cómo optimizar el tiempo de vida de brocas DTH y velocidad del martillo DTH a partir del aguzado de insertos en la afiladora BQ3-DTH?

1.4. Línea de Investigación

La presente tesis está alineada al ámbito de la optimización de procesos mineros, ya que, mediante la estandarización del procedimiento del correcto aguzado de insertos en la afiladora BQ3-DTH, permitirá prolongar el tiempo de vida de brocas DTH y aumento de la velocidad de martillos DTH; logrando reducir un consumo anual de brocas DTH y así disminuir el costo total anual de metros perforados.

1.5. Palabras Clave

Palabras clave: Afiladora BQ3-DTH, tiempo de vida, sistema DTH, costo total de perforación, velocidad de penetración, costos, procedimiento de afilado.

Keywords: BQ3-DTH grinding machine, drill performance, DTH system, total drilling cost, penetration speed, costs, grinding procedure.

1.6. Aporte del Desarrollo de Tesis

La presente tesis genera un aporte al ámbito de la optimización de procesos mineros beneficiando a la minera, ya que mediante la implementación de una metodología de aguzado de insertos en la afiladora BQ3-DTH, permite reducir el consumo de brocas DTH favoreciendo la generación de ahorros anuales en el costo total de metros perforados; así como, el beneficio para el operador, ya que esta metodología da mayor seguridad y rapidez en el aguzado de insertos. Adicionalmente, da un aporte en campo, ya que permite generar un monitoreo constante de brocas DTH durante su funcionamiento para poder alcanzar la mayor cantidad de metros perforados posibles. Por último, la medición de la dureza de un inserto post triple afilado genera confianza para la minera, demostrando que el rendimiento de los insertos a pesar de un triple afilado va a ser la misma y no va a haber un déficit o pérdida de dureza por parte del carburo de tungsteno.



CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

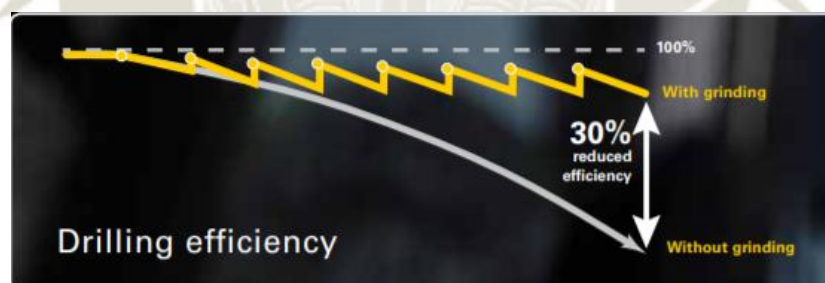
2.1 Estado del Arte

2.1.1. *Como afilar herramientas de perforación de roca generan dinero para la empresa*

En Setiembre del año 2012, la Revista “Mining and Construction: Mexican masters of mining” de Atlas Copco, ya empezaba a hablar de la importancia del afilado de brocas como una forma de evitar desechar dinero con el descarte de brocas desgastadas; donde había una lógica de que los insertos afilados generaban dinero y los insertos perdidos generaban la perdida de dinero. Dando relevancia a afilar brocas la mayor cantidad de veces posibles para mantener una óptima penetración. Generando que se den mejoras optimas en el rendimiento por encima del 30%. (Atlas Copco Rock Drills AB, 2012)

Figura 1

Eficiencia de Perforación con Afilado y sin Afilado de Insertos



Fuente: Adaptado de “Mexican masters of mining”, (p.26), por Atlas Copco Rock Drill AB, (2012), Revista “Mining and Construction”, 3.

Al mantener una broca sobre perforada influye en disminuir el tiempo de vida del resto de los aceros de perforación de la columna. Además, indica la importancia en que una vez gastada la copa de afilado es necesario cambiarla, ya que si no se cambia no se le dará la forma adecuada al inserto y aumentará considerablemente el costo de afilado. De acuerdo a la Figura 1, el mantener una broca sin afilar genera que el trabajo destinado a realizar en un tiempo determinado tome más

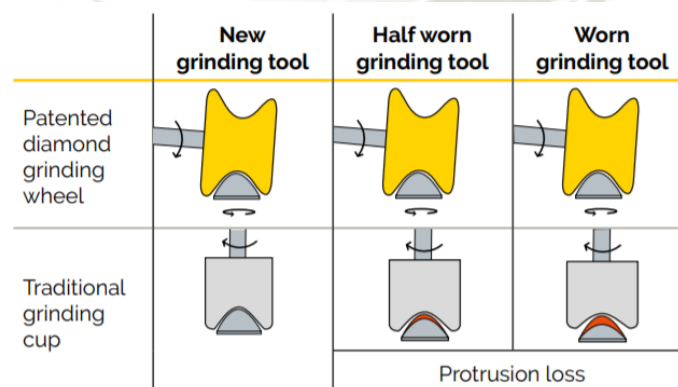
por el simple hecho que su eficiencia va a disminuir. Aproximadamente el costo de afilado es de 0.15 usd/m, costo insignificante respecto al cambio de toda una columna de perforación por desgaste prematuro. (Atlas Copco Rock Drills AB, 2012)

2.1.2. El caso económico para el afilado diario de insertos

En el año 2013, la revista “Surface Drilling and Mobile Crushing” de Atlas Copco, abordando desde un inicio este artículo el insignificante 2% que representa el afilado de insertos en los costos del área de perforación. No obstante, se analiza el descarte del uso de las copas de afilado (Fig.2) utilizadas hasta ese momento en gran parte de afiladoras, ya que no dan los resultados esperados en la forma del inserto afilado; respecto a la nueva rueda de afilado con revestimiento de diamante (Fig.2), la cual otorga un afilado eficiente manteniendo la correcta forma y protuberancia del botón, mientras que la copa de afilado no da la forma más exacta al botón disminuyendo el rendimiento del mismo. (AC. Rock Drills Tools AB, 2013)

Figura 2

Rueda de Afilado vs Copa de Afilado



Fuente: Adaptado de “El caso económico para el afilado diario de insertos”, (p.98), por Atlas Copco AB, (2013), Revista “Surface Drilling and Mobile Crushing”, 5.

Por otro lado, las ruedas de afilado entran en contacto con la matriz de la broca, facilitando el aguzado. De igual forma, se habla de la importancia del afilado del inserto cuando se dé el desgaste de un tercio del diámetro del botón; llegando como máximo hasta un total de 10 afiladas. La importancia del afilado radica en que si no se da este proceso es inminente la rotura de insertos, en especial en botones balísticos; así como la generación de piel de serpiente. Por último, evitar el afilado puede generar la desviación de taladros generando que la voladura no sea buena y se requiera voladura secundaria. (AC. Rock Drills Tools AB, 2013)

2.2 Antecedentes de la Investigación

2.2.1. Optimización de brocas Top Hammer

En el año 2011 se llevó a cabo la investigación por Alex Gamarra Cáceres sobre “Optimización de las brocas de botón de 45 mm - R32 para minimizar los costos de perforación en la compañía minera Milpo S.A.A. unidad el porvenir”. El presente proyecto de investigación se realizó con el objetivo de afilar brocas Top Hammer en una unidad minera Subterránea buscando reducir costos de perforación. (Gamarra Cáceres, 2011)

Para lo cual, se realizó una primera prueba con cuatro brocas Top Hammer R32 de 45 mm de diámetro, alcanzando un rendimiento de 360 metros taladrados, se decidió para lo posterior afilar las brocas con el objetivo de obtener un rendimiento de 400 metros siendo este valor el más óptimo. (Gamarra Cáceres, 2011)

Tabla 1

Cantidad de Taladros vs Cantidad de Metros Perforados

Primer Frente de Perforación Brocas de 45 mm						
Numero de Brocas	Vida Útil(m)	N° taladros	Avance Efectivo	Metros Perforados(m)	Rendimiento(m)	Eficiencia(%)
B-1	400	20	4.5	90	90	23%

B-2	400	20	4.5	90	90	23%
B-3	400	20	4.5	90	90	23%
B-4	400	20	4.5	90	90	23%
Total		20		360		

Fuente: recuperado de "Optimización de brocas botón de 45mm –R32", por Alex Gamarra, 2011

En consecuencia, se ejecutó una segunda prueba, generando la producción de 35 taladros/broca Top Hammer, obteniendo un rendimiento óptimo de 157.5 m/broca, justificando el afilado de insertos. (Gamarra Caceres, 2011)

Tabla 2

Vida Útil vs Metros Perforados de Brocas Afilada

Segundo Frente de Perforación con Brocas de 45 mm (afilada copa 10 mm)						
Numero de Brocas	Vida Útil(m)	N° taladros	Avance Efectivo	Metros Perforados(m)	Rendimiento(m)	Eficiencia(%)
B-1	400	35	4.5	157.5	157.5	39%
B-2	400	35	4.5	157.5	157.5	39%
B-3	400	35	4.5	157.5	157.5	39%
B-4	400	35	4.5	157.5	157.5	39%
Total		140		630		

Fuente: recuperado de "Optimización de brocas de botón de 45mm –R32", por Alex Gamarra, 2011

Buscando optimizar rendimientos de brocas DTH, es más eficiente cuando se establece cada cuanto metraje se debe someter a afilado, ya que si se mantiene mucho tiempo perforando dicha broca puede estar expuesta a daños en el cuerpo de la broca o en los mismos insertos generando un descarte prematuro del acero de perforación.

En consecuencia, el costo de perforación de la Unidad Minera El Porvenir rodean los 8.87 \$/tn, el cual con el afilado de brocas se genera un ahorro en el costo unitario de brocas de 45 mm de 0.15\$/m a 0.14\$/m, generando una reducción de consumo de 174 brocas respecto el 2010. (Gamarra Caceres, 2011)

2.2.2. Reducción de costos optimizando el mantenimiento de brocas Top Hammer

En el año 2016 se llevó a cabo un proyecto de investigación por Juan Abanto y Jeyner Vásquez sobre “Reducción de costos en las operaciones unitarias de perforación y voladura optimizando el mantenimiento de brocas de 45 mm, rimadoras de 102 mm y el consumo de explosivo en las labores de desarrollo que realiza la empresa conmiciv s.a.c en cmh s.a”. El presente proyecto fue llevado a cabo para reducir costos en las operaciones de perforación y voladura, a partir, del mantenimiento de brocas top hammer de 45 mm en una mina subterránea y reducir el consumo de explosivos a partir de voladura controlada y correcta distribución de la energía. (Abanto Cruz & Vasquez Valverde, 2016)

Al recibir los reportes de uso de brocas y rimadoras de junio y julio, se estimó un rendimiento de 200 metros. No obstante, no se alcanzaron los rendimientos requeridos por mina. (Abanto Cruz & Vasquez Valverde, 2016)

Tabla 3

Rendimiento de Brocas y Rimadoras TH en junio del 2018

Junio					
Brocas de 45mm	144				
Rimadora de 102 mm	12				
Descripción	m/mes	N° taladros /disparo	Longitud de perforación (m)	N° disparos	Metros perforados /mes (m)
Avance mensual	414.9	53	3.6	138	26387.64
Rendimiento Rimadora	166	m			
Rendimiento Broca	183	m			
Vida Útil	200	m			

Fuente: Recuperado de “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”, por Abanto Cruz & Jeyner Vasquez, (2016)

Tabla 4

Rendimiento de Brocas y Rimadoras TH en Julio 2018

Julio					
Brocas de 45mm	172				
Rimadora de 102 mm	13				
Descripción	m/mes	N° taladros/ disparo	Longitud de perforación (m)	N° disparos	Metros perforados/ mes (m)
Avance mensual	481	53	3.6	160	30591.6
Rendimiento Rimadora	178	m			
Rendimiento Broca	178	m			
Vida Útil	200	m			

Fuente: Recuperado de “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”, por Abanto Cruz, 2016

De acuerdo a la Tabla 4 se puede observar que los rendimientos de brocas tanto en junio (183 metros) y julio (178 metros) se encuentran por debajo de los 200 metros de vida útil estimado, demostrando una falta de afilado de insertos y mantenimiento de las mismas para alcanzar los rendimientos más óptimos requeridos. (Abanto Cruz & Vasquez Valverde, 2016)

Tabla 5

Cálculo de Rendimiento de Brocas de 45mm en el mes de agosto

Agosto					
Brocas Nuevas	53				
Brocas de 45 mm Afilada	124	Avance Mensual (m)	295.1		
Broca Nueva					
Descripción	Metros /mes	N° taladros/disparo	Longitud de Taladro (m)	N° disparos	Metros perforados/ mes (m)
Avance Mensual	153	53	3.6	51	9730.8
Broca Afilada					

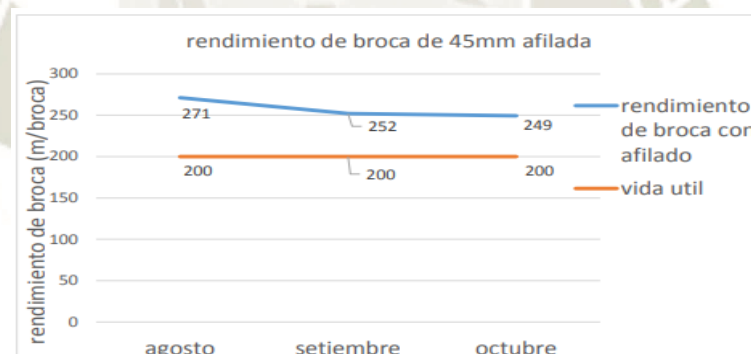
Descripción	Metros /mes	N° taladros/disparo	Longitud de Taladro (m)	N° disparos	Metros perforados/mes (m)
Avance Mensual	142.1	53	3.6	57	10875.6
Rendimiento	metros/mes				
Brocas de 45 mm Afilada	87.7				
Rendimiento	metros/mes				
Brocas Nuevas	183.6				

Rendimiento por Broca (m)	271.3
----------------------------------	-------

Fuente: Recuperado de “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”, por Abanto Cruz, 2016

Figura 3

Rendimiento de Brocas de 45mm Afiladas en los meses de agosto, setiembre y octubre



Fuente: Extraído de “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”, por Abanto Cruz & Jeyner Vasquez, (2016).

La empresa CONMICIV S.A.C. mediante el afilado de brocas permite alcanzar un rendimiento superior a los 200 metros (258m/brocas) representando un 29% por encima de la vida

útil y generando un ahorro en el área de perforación de 6.4 \$/m significando un monto de 6,770.3\$ durante los meses de agosto, setiembre y octubre. (Abanto Cruz & Vasquez Valverde, 2016)

2.2.3. Afiladora manual Secoroc HG

Previo al uso de la afiladora semiautomático BQ3 DTH, el proceso de afilado de brocas se llevaba a cabo con una afiladora manual Secoroc HG para brocas con insertos de botones cónicos, en el cual, el proceso de duración del afilado es mucho mayor que en la afiladora BQ3 DTH.

Figura 4

Afiladora Manual Secoroc HG



Fuente: Adaptado de Secoroc HG, por Epiroc Perú, (2019), Epiroc.

Figura 5

Copa de Afilado Tradicional



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6

Especificaciones Técnicas Secoroc HG

Modelo	Designación
Afiladora manual para brocas con insertos de botones cónicos	
Secoroc HG	87002435
Capacidad de Afilado	
Tamaño de Botón	7-20 mm
Datos Técnicos	
Presión de aire, max.	7 bar (101.5 psi)
Consumo de aire, sin carga	50 l/s
Consumo de aire, con carga (a 6 bar)	42 l/s
Peso, sin mangueras	2.8 kg

Fuente: Recuperado de “Perforación Manual y Accesorios”, por Atlas Copco, (2015).

2.3 Bases Teóricas

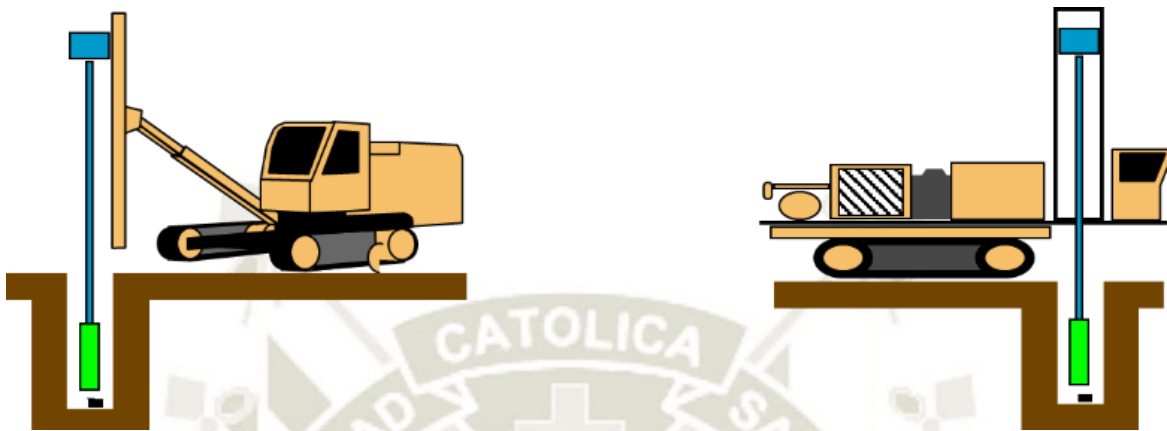
2.3.1. Sistema de perforación DTH

El sistema de perforación DTH ejerce acción directa sobre la broca y por ende sobre el macizo rocoso, el cual, tiene una eficiencia mayor que el desarrollado por el sistema top hammer, ya que en el sistema TH se genera una pérdida de energía a través de la columna de perforación. (Atlas Copco, Scribd, 2013)

Basado en el impacto de un hammer DTH de forma inmediata en la base del taladro (percute). Con lo cual, se previene la pérdida de energía que es transmitida a través de la columna de perforación hasta la broca. Al ser el golpe directo sobre la broca, la velocidad de penetración se hace constante, lo cual permite alcanzar mayores profundidades. (Yepes Piqueras, 2014)

Figura 6

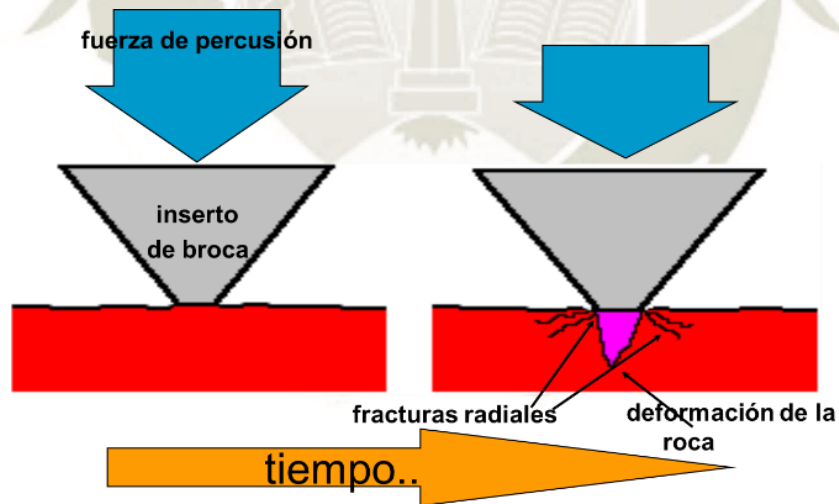
Sistema de Perforación DTH



Fuente: Adaptado de Sistema de Perforación DTH, por Atlas Copco, (2015), Seminario Accesorios de Perforación

Figura 7

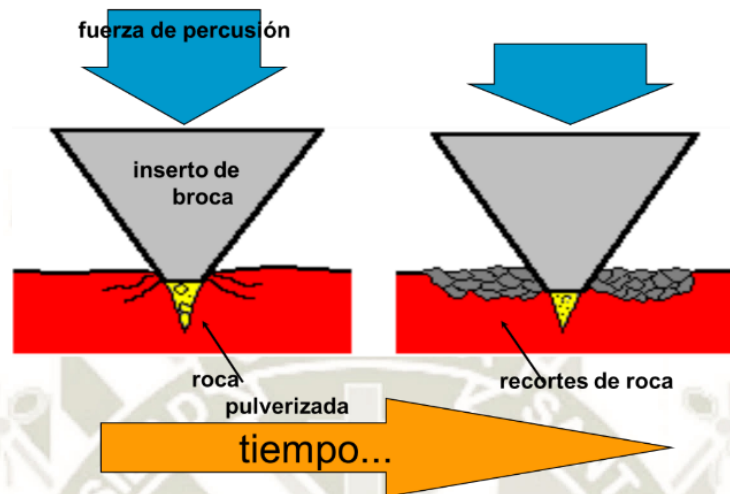
Proceso de Generación de Chips



Fuente: Adaptado de Sistema de Perforación DTH, por Atlas Copco, (2015), Seminario Accesorios de Perforación

Figura 8

Contacto de Inserto con la Roca



Fuente: Adaptado de Sistema de Perforación DTH, por Atlas Copco, (2015), Seminario Accesorios de Perforación

Este método es ideal para las siguientes condiciones:

- Capacidad de diámetro de perforación desde 100 hasta 254 mm.
- Profundidad de perforación mayor a 10 m.
- Perforación de taladros rectos.
- Perfecto para terreno quebrado y fracturado.
- Conseguir mayor velocidad de penetración.
- Exigentes condiciones de perforación. (Atlas Copco Peruana, 2013)

2.3.2 Tipos de taladros a perforar con sistema de perforación DTH

2.3.2.1 Perforación de taladros de pre-corte.

Se lleva a cabo la perforación de taladros que posteriormente serán volados, para generar una cara de banco estable que cumpla con un factor de seguridad adecuado y que evite la caída de cualquier material rocoso que pueda provocar accidentes en el tajo. Mediante una baja

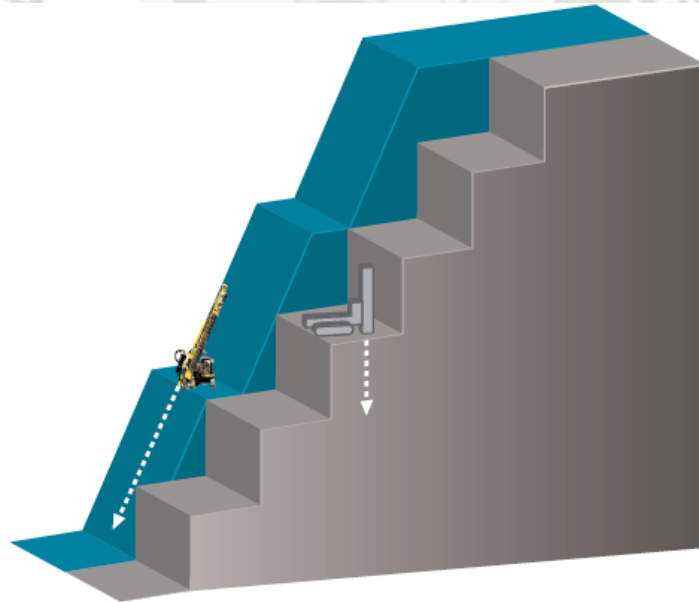
concentración de energía explosiva crea un corte definido del banco. Normalmente se perforan taladros de menor diámetro que los perforados en producción. Además, las distancias entre los taladros son más cortas y solo se perfora una fila de taladros.

Objetivos

- Disminuir costos en extracción de desmonte al elevar la gradiente del banco.
- Al tener un banco con un ángulo de talud más adecuado aumentara el factor de seguridad.
- Evitar la presencia de rocas con posibilidad de deslizamiento.
- Evitar la presencia de fallas en la cara de talud. (Richard, 2018)

Figura 9

Banco de Precorte

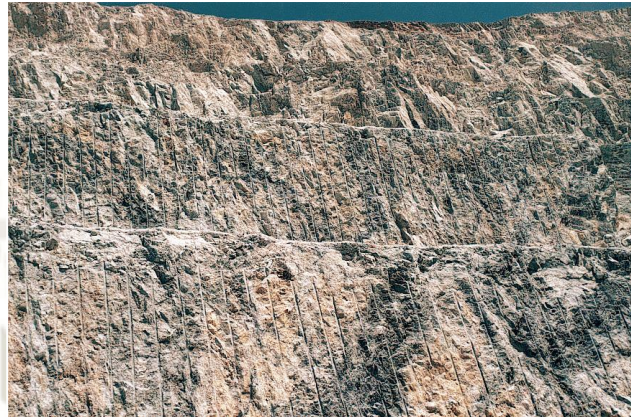


Fuente: Adaptado de Banco de Precorte, Richard Ruiz, (2018), Scribd, Extraído de:

<https://es.scribd.com/document/368221655/8-Aplicacion-de-Perforacion-Dth-Ing-Richard-Ruiz>

Figura 10

Pared de Banco de Precorte

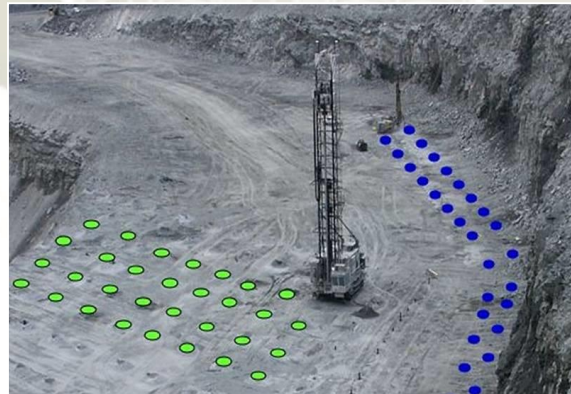


Fuente: Adaptado de Banco de Precorte, Richard Ruiz, (2018), Scribd, Extraído de:

<https://es.scribd.com/document/368221655/8-Aplicacion-de-Perforacion-Dth-Ing-Richard-Ruiz>

Figura 11

Mallas de Precorte (azul) y Producción (verde)



Fuente: Adaptado de Banco de Precorte, Richard Ruiz, (2018), Scribd, Extraído de:

<https://es.scribd.com/document/368221655/8-Aplicacion-de-Perforacion-Dth-Ing-Richard-Ruiz>

2.3.2.2 Perforación de taladros de producción.

La perforación de taladros de producción son parte esencial para el funcionamiento normal de una mina, los cuales posteriormente son cargados con explosivos. Para la perforación de estos taladros se toman en cuenta parámetros como diámetro de taladro, burden, espaciamento, altura

de taladro, sobre perforación mediante las cuales varia el diseño de los bancos. La importancia radica en que mediante un buen diseño de banco se podrá tener tamaños granulométricos adecuados para disminuir el trabajo de chancado primario. Con lo cual, en minas de oro en su mayoría se utilizan perforadoras DTH, ya que dicho mineral requiere que sea selectiva y evitar la contaminación del mismo.

2.3.3 *Parámetros clave para una perforación correcta*

2.3.3.1 **Velocidad de rotación.**

La velocidad de rotación debe ser suficiente para evitar que el botón pueda romperse o tener un desgaste prematuro por lo cual:

- Para una roca dura, la rotación debe ser más lenta y por consiguiente un alto pulldown para generar una pequeña fractura.
- Para una roca suave, la rotación deber ser mayor y por consiguiente un bajo pulldown para generar una fractura grande. (Atlas Copco Peruana, 2013)

Según López Jimeno (2003) las velocidades de rotación aconsejadas en función del tipo de roca son:

Tabla 7

Velocidades en Función al Tipo de Roca

Tipo de Roca	Velocidad de Rotación (RPM)
Muy Blanda	40 - 60
Blanda	30 - 50
Media	20 - 40
Dura	10 30

Fuente: recuperado de “Manual de Perforación y Voladura de Rocas”, Lopez Jimeno, 2003

Como regla práctica puede ajustarse la velocidad de rotación a la de avance con la siguiente expresión: (Lopez Jimeno, 2003, pág. 50)

$$\text{Velocidad Rotación (m/min)} = 1.66 \times \text{Velocidad Penetración (m/hr)}$$

Fórmula 1 Calculo RPM

2.3.3.2 Velocidad de penetración.

Es la cantidad de metros que puede penetrar una broca en el macizo rocoso durante un periodo de tiempo determinado expresado en metros/hora. En minería existe la velocidad de penetración media, la cual incluye tiempos adicionales como posicionamiento, nivelación, desplazamiento, etc. (Jorge Placencia A. C., Accesorios de Perforacion, 2014)

2.3.3.3 Peso sobre la broca (Pulldown).

Para que los impactos generados sobre el macizo rocoso sean más eficientes se necesita un peso necesario para mantener la broca pegada al piso y permitir que se dé la generación de chips y proceder a la rotura de la roca. Para un cálculo referencial del pulldown se da de la siguiente forma:

$$\text{Diametro de Broca (in)} \times 500 \text{ lbs} = \text{Pulldown}$$

Fórmula 2 Pulldown

El pulldown permite mantener la broca DTH junto a la roca, con lo cual, presiona el martillo DTH y evita que la broca pueda estar de forma inestable dentro del porta brocas. Esto puede permitir que la generación del taladro sea más fácil y rápida. (Atlas Copco, Martillo de Fondo DTH ; Seguridad y mantenimiento, 2015)

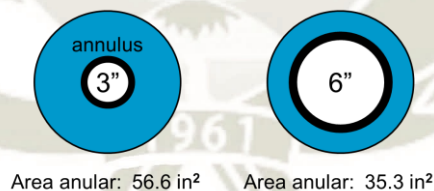
2.3.3.4 Velocidad de barrido.

Este punto es muy importante para llevar a cabo una perforación óptima, la cual está representada por la velocidad con la que pasa el aire liberado en el fondo del barreno a la superficie a través de la pared del mismo extrayendo los detritus. (Jorge Placencia A. C., Accesorios de Perforacion, 2014)

La velocidad de barrido puede ser regulada por la capacidad del compresor. No obstante, se debe tener un espacio anular adecuado no menor a 3” ni mayor a 6” para tener una adecuada extracción de detritus a la superficie según lo requiera el proceso de perforación. Por consiguiente, si el espacio anular es muy pequeño impedirá el paso de los detritus y si el espacio anular es muy grande la extracción de detritus será muy turbulenta generando daños en la columna de perforación.

Figura 12

Espacio Anular Min y Max



Fuente: Adaptado de Sistema de Perforación DTH, por Atlas Copco, (2015), Seminario Accesorios de Perforación

Fórmula para calcular la velocidad de barrido (v_b) en pie x minutos (ppm)

$$V_b = \frac{C.F.M. \times 183,4}{\text{Ø}^2 \text{ Bit} - \text{Ø}^2 \text{ Barras}}$$

Fórmula 3 Velocidad de Barrido

Donde :

V_b : es la Velocidad de barrido,

C.F.M. : es el caudal de aire del compresor expresado en pie^3/min .

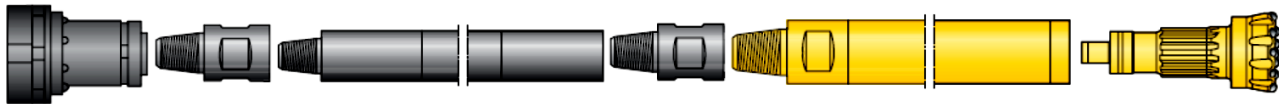
\varnothing^2 Bit : es el diámetro de la broca, expresado en pulgadas.

\varnothing^2 Barras : es el diámetro de la columna de barras, expresado en pulgadas.

2.3.4 Componentes de una columna de perforación DTH

Figura 13

Columna de Perforación DTH



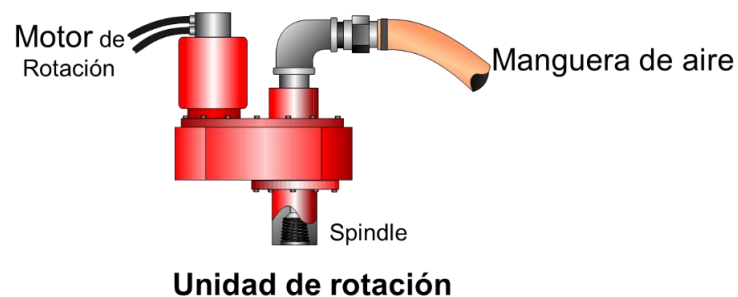
Fuente: Elaboración Propia

2.3.4.1 Unidad de rotación.

El motor rotativo debe ejercer el torque necesario para poder perforar un taladro. Además, debe ser ajustable para momentos en los que se presente roca dura. (Jorge Placencia A. C., Seminario de Perforación DTH, 2015)

Figura 14

Componentes de Unidad de Rotación



Fuente: Motor Rotativo, por Atlas Copco, (2015), Seminario de Perforación DTH

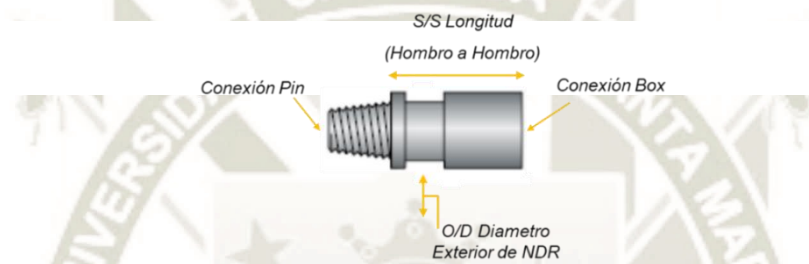
2.3.4.2 Saver sub.

El saver sub es un componente de una columna DTH el cual cumple con las siguientes funciones:

Permite acoplar elementos con diferentes uniones roscadas. Además, pueden adaptar elementos de diferentes diámetros. Impide daños en los hilos de las uniones con el cabezal rotativo.

Figura 15

Componentes de un Saver Sub



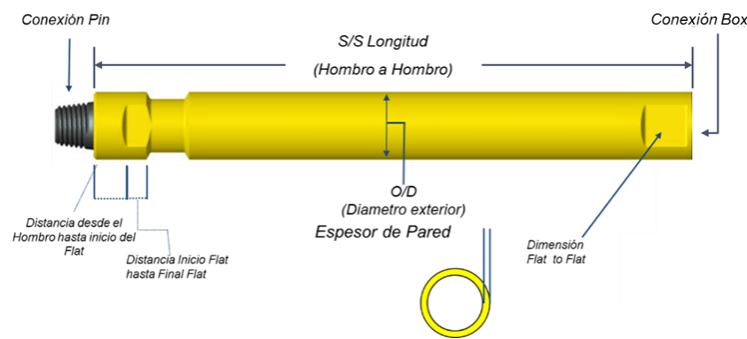
Fuente: Elaboración Propia

2.3.4.3 Barra de perforación.

Las barras de Perforación DTH de alta calidad se caracterizan por su alto nivel de duración y fácil manejo, las cuales transmiten el medio de barrido, la energía, rotación hacia la broca y los cortes viajan por el exterior.

Figura 16

Componentes de una Barra de Perforación



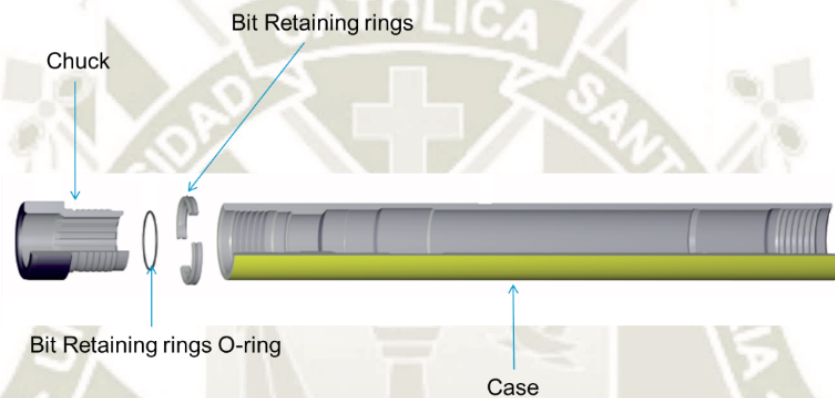
Fuente: Elaboración Propia

2.3.4.4 Martillos DTH.

Componente de la columna de perforación que generara los impactos de forma directa sobre la broca permitiendo que no se pierda energía al ser transmitida a través de la columna de perforación. Conformado por los siguientes componentes:

Figura 17

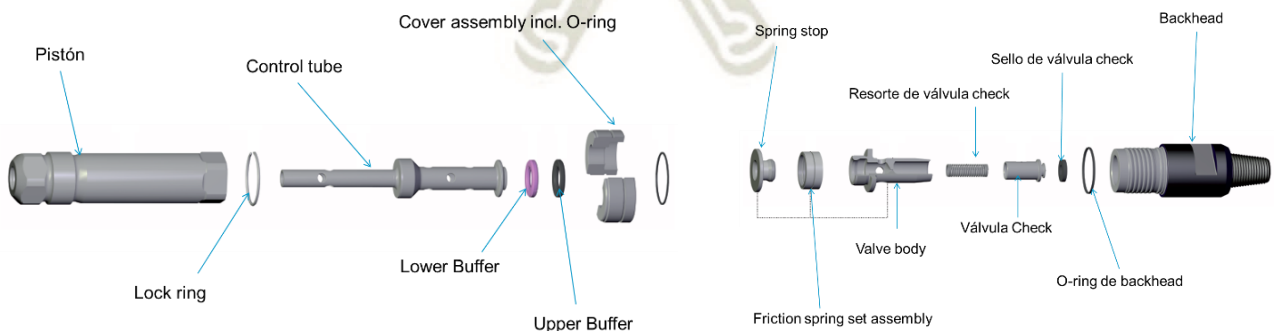
Componentes Externos de un Martillo



Fuente: Componentes Externos Martillo, por Atlas Copco, (2015), Seminario de Perforación DTH

Figura 18

Componentes Internos de un Martillo DTH



Fuente: Componentes Internos Martillo, por Atlas Copco, (2015), Seminario de Perforación

DTH

2.3.4.5 Brocas DTH.

Las brocas DTH están diseñadas para diferentes formaciones rocosas, además de estar sometidas a gran cantidad de energía. Disponible en gran variedad de diámetros, las brocas son accesorio fundamental para la generación de chips y avance de taladros de perforación. La cual tiene las siguientes características:

- Transmiten la energía generada por el martillo y rotación a la broca.
- Permiten expulsar el aire que generará el barrido del taladro y extracción de detritus.
- Pueden someterse hasta tres afilados para aumentar su rendimiento.
- Deben analizarse todos los tipos de broca y escoger la más adecuada para el terreno a ser perforado. (Jorge Placencia A. C., Accesorios de Perforacion, 2014)

2.3.4.5.1 Selección de la broca adecuada.

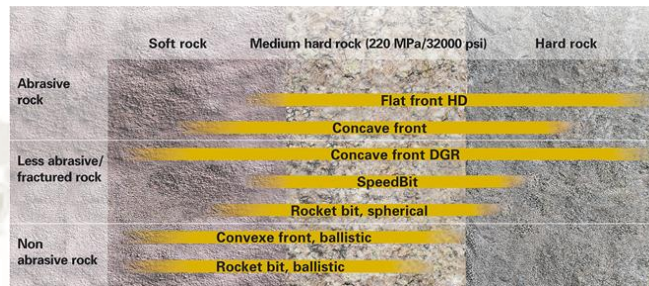
Para llevar a cabo la selección de la broca más adecuada se debe tener en consideración lo siguiente:

- Se debe tener en cuenta que para cada tipo de roca no va a funcionar la misma broca, por lo cual, existe una alta gama de brocas a analizar. En consecuencia, la broca escogida debe cumplir con el rendimiento más óptimo y con la velocidad de penetración requerida.
- Se debe tomar nota de la velocidad de penetración y vida útil de al menos dos tipos de brocas para escoger la más adecuada para el terreno en el que se está perforando. (Jorge Placencia A. C., Accesorios de Perforacion, 2014)

2.3.4.5.2 Rango de brocas de botones DTH.

Figura 19

Rango de Brocas para cada Tipo de Roca



Fuente: Adaptado de Rango de Brocas DTH, Atlas Copco, (2012), rock drill sales, Extraído de:

<https://www.rockdrillsales.com/fullpanel/uploads/files/dth%20equipment.pdf>

Brocas de frente plano

Aplicaciones

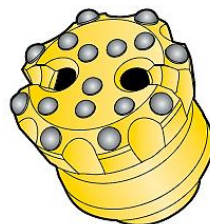
- Formaciones muy duras y abrasivas.

Características del diseño

- Presencia de botones esféricos en toda la broca.
- Presenta dos agujeros grandes para el flujo del aire de barrido.
- Excelente ángulo de luz para eliminación del detritus. (Atlas Copco, 2012)

Figura 20

Broca con Frente Plano



Fuente: Adaptado de Broca con Frente Plano, Atlas Copco, (2012), rock drill sales, Extraído de:

<https://www.rockdrillsales.com/fullpanel/uploads/files/dth%20equipment.pdf>

Brocas SpeedBit

Aplicaciones

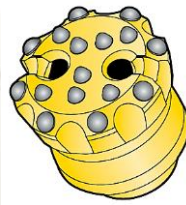
- Formaciones medianamente duras a duras y abrasivas.

Características del diseño

- Presencia de botones balísticos en el frente y esféricos en la periferie.
- Fácil remoción de detritus.
- Excelente ángulo de luz para eliminación del detritus. (Atlas Copco, 2012)

Figura 21

Broca Speedbit



Fuente: Adaptado de Broca Speedbit, Atlas Copco, (2012), rock drill sales, Extraído de:

<https://www.rockdrillsales.com/fullpanel/uploads/files/dth%20equipment.pdf>

Brocas de Frente Cóncavo

Aplicaciones

- Formaciones medianamente duras, duras, fracturadas y poco abrasivas.

Características del diseño

- Cuenta con botones esféricos y periféricos de mayor diámetro.
- Presenta la parte central de la broca hundida, permitiendo una mayor rectitud de taladros.
- Ideal para perforaciones profundas y grandes diámetros. (Atlas Copco, 2012)

Figura 22

Broca con Frente Cóncavo



Fuente: Adaptado de Broca con Frente Cóncavo, Atlas Copco, (2012), rock drill sales, Extraído de: <https://www.rockdrillsales.com/fullpanel/uploads/files/dth%20equipment.pdf>

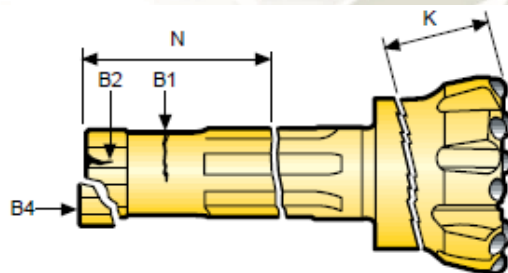
2.3.4.5.3 Rendimiento de brocas DTH.

El rendimiento de brocas DTH este asociado al metraje que puede ser alcanzado por una broca y la velocidad de rotación constante que se puede mantener para tener la máxima eficiencia durante el proceso de perforación.

2.3.4.5.4 Clasificación de roturas en brocas DTH.

Figura 23

Zonas Dañadas de Brocas



Fuente: Adaptado de Zonas Daño Brocas, Atlas Copco, (2014), Seguridad, Mantenimiento y Localización Averías DTH

Tabla 8

Fisura o Rotura Transversal

B1 Fisura Transversal	
Causa	Solución
Falta de pulldown	Incremento del nivel de pulldown
Presencia de estrías en el chuck	Cambio del porta brocas
Desgaste del inserto	Regulación de parámetros a niveles adecuados

Fuente: recuperado de “Martillo de Fondo DTH; Seguridad y mantenimiento”, Atlas Copco, 2015

Tabla 9

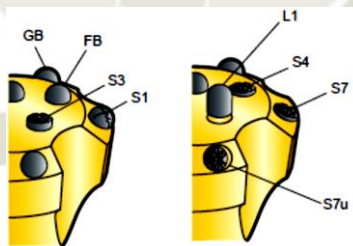
Fisura o Rotura Longitudinal

B2 Fisura o Rotura Longitudinal	
Causa	Solución
Exceso agua durante la extracción de detritus	Disminución de la presencia de fluidos
Partículas raras en el hammer	Limpieza de barras previas al enroscado

Fuente: recuperado de “Martillo de Fondo DTH; Seguridad y mantenimiento”, Atlas Copco, 2015

Figura 24

Daños en los Botones



Fuente: Adaptado de Daños en los Botones, Atlas Copco, (2014), Seguridad, Mantenimiento y

Localización Averías DTH

Tabla 10

Tipo de Daños en las Brocas

Botón Frontal y Periférico	
FB y GB	Clasificación del desgaste:
	a1, leve (< 1/3 del diámetro del inserto)

a2, moderado (1/3 a 1/2 del diámetro del inserto)
a3, elevado (> 1/2 del diámetro del inserto)

Fuente: recuperado de “Martillo de Fondo DTH; Seguridad y mantenimiento”, Atlas Copco, 2015

Tabla 11

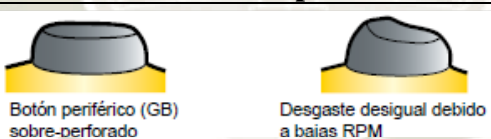
Botón Fisurado y Roto

S1	
Botón fisurado o desconchado	
S7	
Botón roto a ras del acero	
Causa	Solución
Botones sobre perforados	Reducir intervalos de afilado
Piel de serpiente	Reducir intervalos de afilado
Método o equipo de afilado incorrecto	Utilice el método y la técnica de afilado apropiados
	Afile, aunque el botón no este desgastado. Las fisuras microscópicas del carburo derivaran en rotura

Fuente: recuperado de “Martillo de Fondo DTH; Seguridad y mantenimiento”, Atlas Copco, 2015

Tabla 12

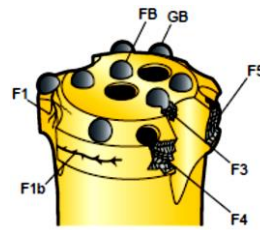
Botón Roto

S3	
Botón roto	
S7u	
Botón roto en el interior o parte frontal	
	
Causa	Solución
Botones con exceso de afilado GB y FB	Distribuir de mejor manera los rangos de afilado
Desgaste desigual del inserto	Aumento de revoluciones por minuto
Piel de serpiente	Distribuir de mejor manera los rangos de afilado
Afiladora incorrecta	Analice en función a la cantidad de brocas a afilar cual es la afiladora más adecuada
	Afile a penas se ve una caída en el rendimiento de la broca
Botón de la periferie plano	Utilizar la plantilla Secoroc para saber cuándo es momento de afilado el inserto
	Insertos afilarse al desgaste de 1/3 de su diámetro

Fuente: recuperado de “Martillo de Fondo DTH; Seguridad y mantenimiento”, Atlas Copco, 2015

Figura 25

Tipos de Daños en la Cabeza de la Broca



Fuente: Adaptado de Tipos Daños en la Cabeza de la Broca, Atlas Copco, (2014), Seguridad, Mantenimiento y Localización Averías DTH

Tabla 13

Rotura de la Cabeza de la Broca

Cabeza de la broca - Roturas del acero	
FB	Inserto Frontal
GB	Inserto de la Periferie
F1	Fractura próxima al inserto de la periferie de la broca
F1b	Fractura lateral, iniciada desde la base del inserto
F3	Perdida de matriz lateral, pero con peligro latente de pérdida del inserto
F4	Perdida de inserto por ausencia de la matriz periferica (chunking)
F5	Perdida de inserto periferico

Fuente: recuperado de “Martillo de Fondo DTH; Seguridad y mantenimiento”, Atlas Copco, 2015

2.3.5. Afiladora de brocas BQ3-DTH

Afiladora semiautomática, diseñada para el afilado de insertos de carburo de tungsteno de brocas DTH, permite un trabajo seguro ya que no hay un contacto directo del operador con la broca. Para su correcto funcionamiento necesita de la presencia de un compresor que otorga la presión de aire necesaria para su funcionamiento, así como, líquido refrigerante para el enfriamiento de las copas de afilado. (Grinding Equipment, 2019)

Figura 26*Afiladora Semiautomática BQ3-DTH*

Fuente: Elaboración Propia

Este equipo trabaja de la mano de un compresor que genera el aire comprimido para el correcto funcionamiento de la afiladora, el cual debe estar limpio y libre de presencia de agua se verificará con un Check List ubicado en el Anexo 4. En la Afiladora BQ3-DTH, el aire comprimido cumple las siguientes funciones:

- Apagado el compresor bloquea el plato que soporta el bit holder evitando su movimiento.
- Permite la presencia de aire bajo el plato que soporta la base de la broca el cual permite mover con gran facilidad el plato mientras que se realiza el centrado del mismo.
- Proporciona una adecuada presión de afilado.
- Acciona el brazo de centrado para poder colocar la copa de afilado junto al inserto a ser afilado.

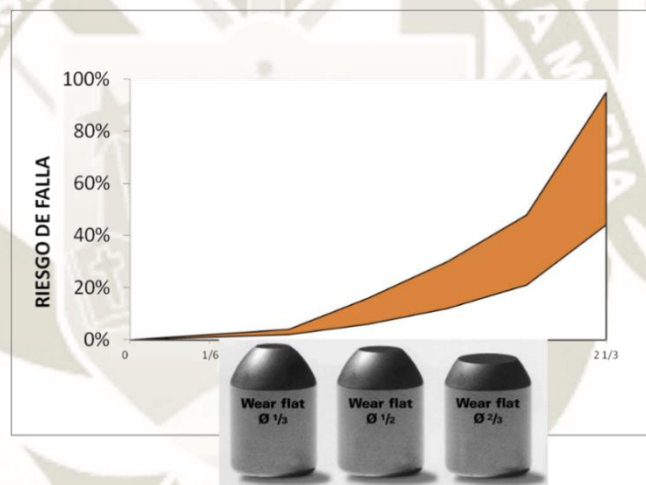
2.3.6. Afilado de brocas DTH

Para llevar a cabo el afilado de brocas se debe realizar un diagnóstico, a partir del desgaste de un tercio del diámetro del botón se debe someter a afilado para mantener la velocidad de penetración promedio por encima de lo requerido en mina. (Atlas Copco Peruana, 2013)

Si se mantiene un desgaste de dos tercios del diámetro del botón el riesgo de falla por rotura de botones de broca aumenta hasta en un 40%, en roca dura. (Atlas Copco Peruana, 2013)

Figura 27

Rango de Riesgo de Fallas por Desgaste de Botones

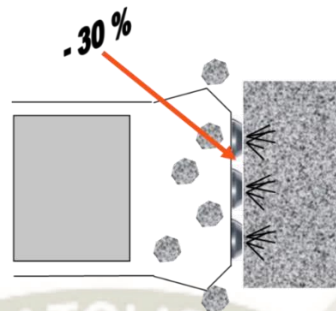


Fuente: Adaptado de Rango de Riesgos de Fallas por Desgaste de Botones, por Edwin Loayza, (2013), Capacitación DTH Cerro Verde

La importancia de mantener afilado el botón es esencial, ya que si el botón se encuentra muy plano los espacios entre los insertos será mínimo impidiendo la eliminación de los detritus generando remolienda.

Figura 28

Generación de Detritus por Insertos Planos

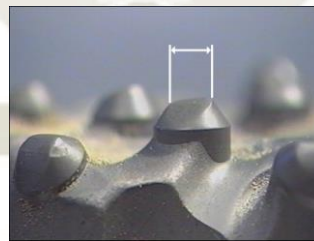


Fuente: Adaptado de Rango de Riesgos de Fallas por Desgaste de Botones, por Edwin Loayza, (2013), Capacitación DTH Cerro Verde

En consecuencia, la energía retorna a la parte superior de la columna de perforación generando fatiga prematura de barras de perforación.

Figura 29

Desgaste Normal de un Inserto



Fuente: Adaptado de Rango de Riesgos de Fallas por Desgaste de Botones, por Edwin Loayza, (2013), Capacitación DTH Cerro Verde

2.3.6.1 Rueda de afilado.

Estructura de metal con forma cóncava cuya superficie está impregnada de diamantes, la cual, al estar en contacto con el inserto permite recuperar la forma inicial del inserto y así permitir

un contacto directo del inserto con el macizo rocoso; existen varios tipos de copas de afilado ubicados en el Anexo 2.

Figura 30

Copa de Afilado Nueva



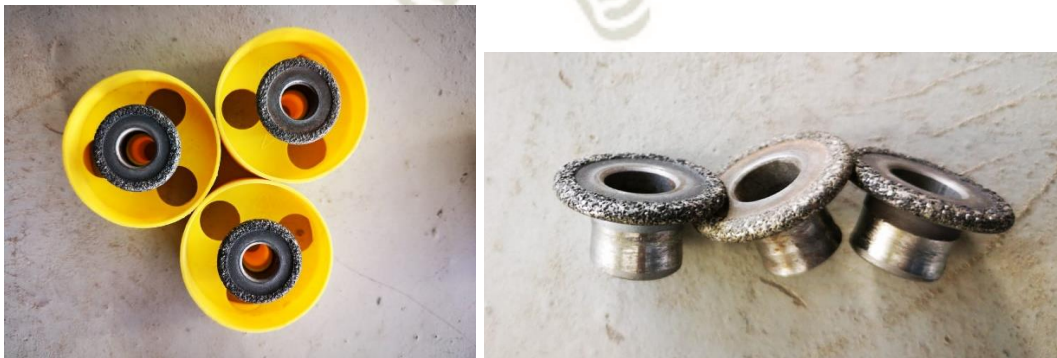
Fuente: Elaboración Propia

2.3.6.2 Devastadora.

Estructura de metal, con superficie impregnada en diamantes sintéticos, utilizada para desgastar la matriz de la broca permitiendo un contacto más adecuado entre la copa de afilado y el inserto generando un correcto afilado. Existen devastadoras para distintos diámetros de insertos (Anexo 3).

Figura 31

Devastadoras Nuevas



Fuente: Elaboración Propia

Figura 32

Posición Inversa de Devastadoras



Fuente: Elaboración Propia

Figura 33

Posición Correcta de la Devastadora en el Equipo



Fuente: Elaboración Propia

2.3.7. Costo Total de Perforación (TDC)

El TDC (Costo Total de Perforación) es el PDC incluyendo la productividad en la fórmula. El TDC incluye el costo de la broca, costo horario del equipo, velocidad de penetración y rendimiento del acero de perforación. (PERALTA CASTELO , 2019)

Por otro lado, en perforación DTH se le añade a esta fórmula el costo del martillo DTH, así como su rendimiento, la cual, esta expresada en la siguiente ecuación:

$$TDC = \frac{\text{costo de la broca}}{\text{metros perforados}} + \frac{\text{costo de martillo DTH}}{\text{Rendimiento martillo (m)}} + \frac{\text{costo horario del equipo} \left(\frac{\text{usd}}{\text{m}}\right)}{\text{velocidad} \left(\frac{\text{m}}{\text{hr}}\right)}$$

Fórmula 4 Total Drilling Cost

2.4 Hipótesis

“Mediante la implementación de una metodología de afilado de insertos de brocas DTH a través de la afiladora BQ3-DTH, es posible incrementar el rendimiento en un rango de 40 - 45% del promedio de vida de la broca y se reducirá el costo total anual de metros perforados en un rango de 5 – 10%, así como, se mantendrá la velocidad de penetración de los martillos por encima del histórico de mina.”

2.5 Variables

2.5.1 Variable independiente

Afilado de insertos de brocas DTH en la afiladora semiautomática BQ3-DTH.

2.5.2 Variable dependiente

Optimización del tiempo de vida de brocas DTH y consumo de brocas DTH, de igual forma la velocidad del martillo DTH.

Operacionalización de variables

Tabla 14

Variables Dependientes e Independientes

Variable	Indicador
Variable Independiente	
Afilado de brocas DTH en la afiladora BQ3-DTH.	Inspección del estado de la broca DTH (desgaste de botones)
	Tiempos de afilado por inserto
	Ángulo de afilado

	Diámetros de insertos
	Diámetro de ruedas de afilado
	Requerimiento de presión de aire y fluidos
Variable	Indicador
Variable Dependiente	
Optimización del tiempo de vida de brocas DTH y velocidad del martillo DTH, así como reducción de costos en consumo de brocas DTH.	Monitoreo de rendimiento de brocas DTH
	Reducción de consumo de brocas DTH
	Monitoreo de velocidad de martillos (m/h)
	Evaluación económica

Fuente: Elaboración Propia





CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Alcances y Limitaciones

3.1.1. Alcances

Mediante la implementación del procedimiento de aguzado de insertos en la afiladora BQ3-DTH, se analizó la influencia del aguzado de insertos de brocas DTH en el aumento del tiempo de vida de las brocas DTH, así como en la optimización de la velocidad del martillo DTH.

La investigación abarca únicamente el análisis de brocas DTH y martillo DTH dentro del ámbito de los aceros de perforación y su influencia económica y productiva en el área de perforación.

3.1.2. Limitaciones

El presente estudio enmarca las siguientes limitaciones:

- No se dispone de permiso para el uso del nombre de las empresas mineras donde se realizó las pruebas, pero se tomaron los valores históricos de rendimiento de brocas y velocidad de martillos otorgados por mina. Este trabajo se limita a datos obtenidos en campo de una mina de oro diseminado del norte del Perú y una mina de pórfido cuprífero del sur del Perú.
- Dependiendo de las condiciones del terreno, yacimiento, fracturas; conllevará a la correcta elección de la broca y rueda de afilado para obtener el máximo rendimiento posible de brocas y martillos. De lo contrario, el afilado no será el óptimo y se tendrá que descartar prematuramente.

3.2. Tipo y Diseño de la Investigación

3.2.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo aplicada, ya que mediante la implementación de una metodología de afilado de insertos en la afiladora BQ3-DTH, se busca producir cambios en el área de perforación; permitiendo que el rendimiento alcanzado por las brocas DTH afiladas sea superior, así como una directa influencia en el performance de los martillos DTH. Adicionalmente, una mejora en la seguridad del operador al ya no estar en contacto directo con la broca durante el afilado.

3.2.2. Diseño de la investigación

3.2.2.1 Investigación longitudinal

Se tomaron datos en distintos tiempos conforme se vaya desarrollando el servicio de afilado de brocas en las distintas unidades mineras, dependiendo del tipo de roca habrá una variación en el rendimiento de las brocas, incluso se seleccionará un distinto tipo de broca con el objetivo de generar un rendimiento más óptimo.

3.2.2.2 Nivel de investigación

La presente investigación es experimental, ya que mediante la implementación de una metodología de afilado en la afiladora BQ3-DTH se buscó dar alternativas de solución, al descarte prematuro de brocas DTH, al incremento del tiempo vida de brocas DTH y velocidad de martillos DTH por encima del valor histórico de mina.

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

En el caso del proyecto de taladros de producción en el yacimiento de oro diseminado del norte del Perú nuestra población durante todo el mes fue de 60 brocas de un total de 64, ya que se

descartaron cuatro brocas por falla de producto, con lo cual a partir del afilado de las mismas se verá el aumento de su tiempo de vida útil.

En el caso del proyecto en taladros de precorte en la mina de pórfido de cobre del sur del Perú nuestra población durante todo el proyecto fue de 40 brocas de un total de 46, ya que se descartaron 6 brocas por falla de producto, con lo cual a partir del afilado de las mismas se verá el aumento de su tiempo de vida útil.

3.3.2. Muestra

Mediante un método de muestreo no probabilístico de juicio se determinó que en el presente trabajo la muestra en el proyecto de yacimiento de oro diseminado será de 44 brocas corridas en tres perforadoras (perfo 09, perfo 15 y perfo 16) previamente sometidas a pruebas de pulldown y de aire dando más confiabilidad al correcto performance de las mismas, dejando de lado las brocas corridas en la perforadora 14 que no fue sometida a pruebas de aire y pulldown. De igual forma, en el proyecto de pórfido de cobre la muestra será de 24 brocas corridas en dos perforadoras (TD-11 y TD-12) previamente sometidas a pruebas de pulldown y de aire, dejando de lado las brocas corridas en la perforadora TD-13, la cual no fue sometida a prueba de aire y de pulldown disminuyendo la confiabilidad del performance otorgado por la perforadora.

3.4. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para llevar a cabo la recolección de datos mediante la técnica de observación experimental se tomaron en cuenta dos formatos de registro de datos. Para el inicio del afilado de los insertos el ingeniero de campo llenó el formato de “Registro de Brocas Afiladas y Desechadas” (Anexo 12). Posteriormente, en campo el operador de la perforadora llenó el formato “Reporte de Producción” (Anexo 13) donde se registra el rendimiento de los aceros de perforación, tipo de terreno, tiempo de perforación por taladro.

3.5. Desarrollo del Tema

Previo al inicio de este estudio se observó tanto en la mina de oro diseminado (taladros de producción) como en la de pórfido cuprífero (taladros de precorte), que el consumo de brocas DTH se veía representado por su uso y posterior desecho por desgaste prematuro o por haber transcurrido el tiempo de vida de la misma, teniendo rendimientos promedio entre 700 y 750 metros. No obstante, mediante la implementación de un procedimiento de aguzado de insertos en la afiladora BQ3-DTH, permitió incrementar el tiempo de vida de la broca DTH y de forma consecuente favoreció en el aumento de la velocidad del martillo DTH.

3.5.1 Procedimiento operativo para afilado de brocas DTH

El siguiente procedimiento se realizó para llevar a cabo un correcto aguzado de insertos en la afiladora semiautomática BQ3-DTH; el cual debe iniciar con la recepción inicial de las brocas DTH de campo y su posterior análisis mediante el llenado del formato de Registro de brocas (Anexo 12). Por recomendación de fábrica se debe realizar hasta 3 veces el afilado de un inserto, siempre y cuando se cumpla con el afilado de insertos cuando se dé un desgaste de un tercio del diámetro del botón, ya que si se continúa corriendo la broca aumentará el riesgo de falla hasta en un 40%. Este porcentaje se incrementa conforme aumenta el desgaste del diámetro del botón a 2/3. Por lo tanto, cuando el botón se encuentra muy plano o por encima de desgaste de dos tercios del diámetro del botón, la broca ya no puede ser sometida a aguzado (Fig.34).

Figura 34

Desgaste superior a 2/3 del diámetro del inserto

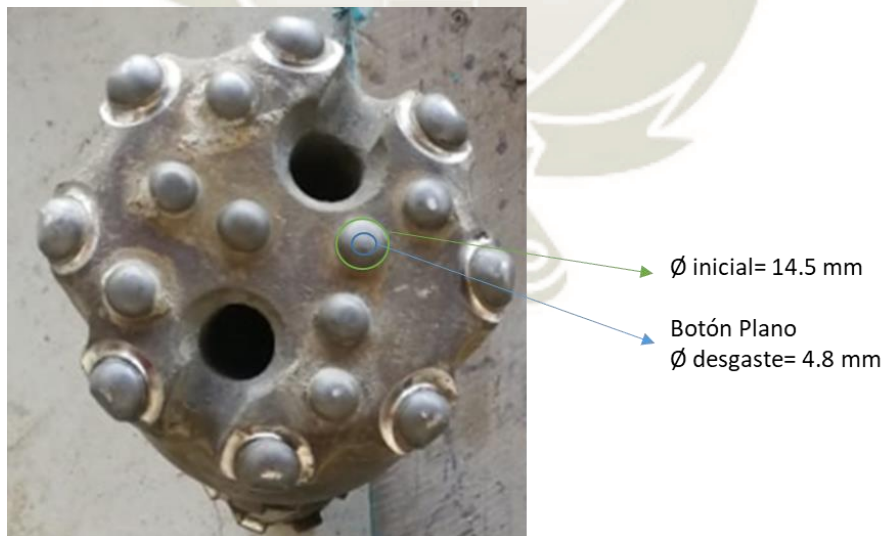


Fuente: Elaboración Propia

Para iniciar el proceso se selecciona las brocas más adecuadas para su afilado, que tengan solo un desgaste de un tercio del diámetro del botón como en la Figura 35.

Figura 35

Desgaste inferior a 1/3 del diámetro del inserto



Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente, se realiza un check list del complemento principal de la afiladora, que es la compresora GA18VSD y después de la afiladora de brocas BQ3-DTH cuyas partes se pueden observar en el Anexo 1. Iniciando el proceso de aguzado a partir de los siguientes pasos:

Paso 1: Se presionó el botón de encendido del compresor. Posteriormente, se entró a regulación, punto de ajuste 1 (Fig.36) y se coloca el compresor para que trabaje con una presión de aire 120 psi de salida (Fig.37).

Figura 36

Pantalla Principal Compresora



Fuente: Elaboración Propia

Figura 37

Panel del Compresor



Fuente: Elaboración Propia

Paso 2: Se presionó el botón de carga para que genere el aire requerido que el equipo de afilado BQ3-DTH necesita y dejar que cargue, habrá una pérdida de presión, por lo cual la presión que ingrese al equipo de afilado será de 100 psi (Fig.38). Se procedió con el encendido de la afiladora levantando la palanca de encendido y apretando el botón de reseteo.

Figura 38

Manómetro de Regulación de Ingreso de Aire



Fuente: Elaboración Propia

Paso 3: Para el buen funcionamiento de la afiladora se reguló la presión de agua entre 20 – 30 psi (Fig.39). Además, hay que verificar la presencia de agua en el coolart pump; la presión para que se levante el brazo que contiene la copa de afilado debe estar a 90 psi (Fig.40) y por ultimo mantener la presión de empuje del brazo a 40 psi.

Figura 39

Manómetro (presión de agua)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 40

Manómetro (levantado de la copa de afilado)



Fuente: Elaboración Propia

Paso 4: Se realizó primero el devastado de la matriz de los insertos de la periferie para evitar que las copas de afilado tengan contacto con la matriz, se coloca la copa para devastar (Fig.41), luego se inicia el devastado de la broca poniendo en opción semiautomático, luego posicionar de forma correcta el inserto a devastar alineándolo con la devastadora apretando el botón de centrado.

Figura 41

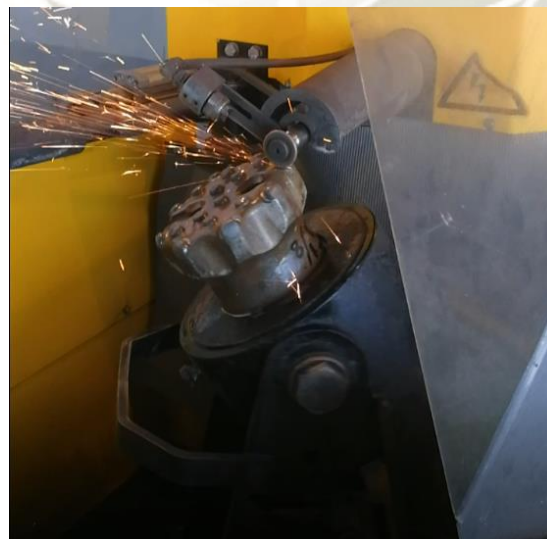
Posición Correcta de Devastadora



Fuente: Elaboración Propia

Figura 42

Devastado de Matriz de la Broca

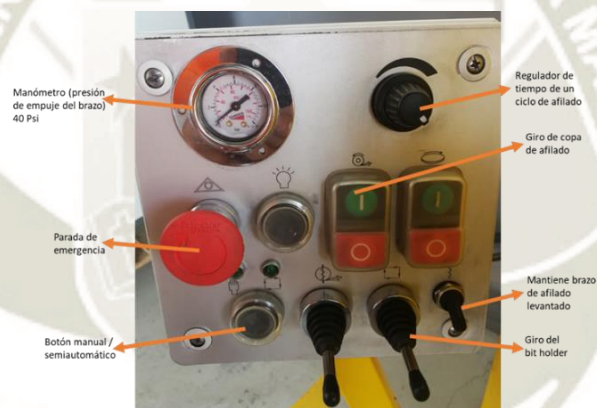


Fuente: Elaboración Propia

Paso 5: Iniciar el giro de la copa de afilado y luego apretar el botón para realizar el giro del bit holder, y con el brazo de alimentación bajar la copa de afilado para que entre en contacto con el inserto (Fig.42), se puede regular el tiempo que se quiere tener en contacto la copa de afilado y el inserto mediante el potenciómetro en el panel de trabajo (Fig.43). El devastado demora aproximadamente 5 min por inserto y 2 min en levantar el brazo de alimentación, alineado de la copa de afilado con el inserto; demorando un total de 7 min por inserto de la periferie.

Figura 43

Panel de Trabajo



Fuente: Elaboración Propia

Paso 6: Se escogió la copa de afilado adecuada para el diámetro del inserto. Después, se dio inicio al afilado de los insertos de la periferie, por un periodo de 9 min para el afilado y 2 min en posicionamiento y alineado del inserto.

Figura 44

Afilado de Insertos de la Periferie



Fuente: Elaboración Propia

Paso 7: Se seleccionó la copa de afilado adecuada para realizar el afilado de los insertos internos, por un tiempo de 4 min por inserto más 2 min en posicionamiento y alineado de inserto con la copa de afilado.

Figura 45

Afilado de Insertos Internos



Fuente: Elaboración Propia

3.5.2 *Aguzado de brocas DTH en una mina de oro diseminado en la afiladora BQ3-DTH*

La siguiente prueba se realizó en una mina de yacimiento de oro diseminado del norte del Perú, donde se utilizan cuatro perforadoras DTH para producción de mineral (taladros de producción). No obstante, solo se tomaron en cuenta las brocas DTH usadas en tres perforadoras DTH las cuales fueron sometidas a pruebas de aire y pulldown, dándoles más confiabilidad al performance que puede otorgar la perforadora durante la operación, dichas perforadoras son:

Tabla 15

Perforadoras DTH Producción de Mineral

Código int.	Marca	Modelo	Serie	Pulldown máx.	Compresor
Per 09	Sandvik	D245S	733527	41,000 lbs.	1150 cfm@ 350 psi
Per 15	Sandvik	D245S	733788	41,000 lbs.	1150 cfm@ 350 psi
Per 16	Atlas Copco	DM 45E-HP	9745	45,000 lbs.	1070 cfm@ 350 psi

Fuente: Elaboración Propia

Durante las pruebas se seleccionaron un total de 48 brocas DTH QL50 SpeedBit de 6 1/8” con su Data Sheet en el Anexo 10, cuyas características son las siguientes:

Tabla 16

Especificaciones Técnicas Broca QL50

Diámetro	Nro Botón x diámetro (mm)		Ángulo de Botón	Hoyos de flujo	Peso Kg
	Periferie	Frontales			
6 1/8 ”	8 x 19 mm	10 x 16 mm	35°	2	17.5
	Botones Esféricos	Botones Esféricos			

Fuente: Elaboración Propia

Figura 46

Broca DTH QL50 Nueva



Fuente: Elaboración Propia

Figura 47

Copa de Afilado Nueva



Fuente: Elaboración Propia

Figura 48

Copa de Afilado de 16 mm



Fuente: Elaboración Propia

Figura 49

Vista Transversal de una Copa de Afilado



Fuente: Elaboración Propia

De las cuales, solo se tomaron en consideración 44 brocas para el cálculo, dejando de lado los cuatro restantes, ya que presentaron fallas de producto, las cuales son:

Tabla 17

Brocas con Falla de Producto

ID.	BROCAS QL50	RENDIMIENTO (m)
1	2051026 - 003	551.10
2	2051026 - 008	203.50
3	2051026 - 009	254.50
4	2051026 - 014	100.00
TOTAL METROS		1109.10
PROMEDIO BROCA		277.28

Fuente: Elaboración Propia

El rendimiento histórico otorgado por mina es de 700 m promedio. La vida útil de la broca QL50 en una mina de oro (terreno abrasivo con presencia de grietas de carbón) está entre 600 – 800 metros. Cabe señalar que a partir de 228.3 m aproximadamente las brocas comienzan a tener fallas menores, por lo cual, a partir de ahí se les realiza afilado hasta tres veces por cada 230 m de recorrido adicional por recomendación de fábrica. Por lo cual, se realizaron tres veces el afilado a las mismas brocas con el objetivo de aumentar su rendimiento (metraje) y generar ahorros sustanciales en el consumo de brocas DTH, en el caso de esta mina para taladros de producción.

Tabla 18

Rendimiento de Copas de Afilado

	Cantidad	Nro de Veces Afilado por Broca	Total Brocas Afiladas	Total afilado	Brocas Afiladas por Muela de Afilado
Muela de afilado de 19 mm	6	3	28	84	4.7 brocas
Muela de afilado de 16 mm	2	3	44	132	22 brocas

Fuente: Elaboración Propia

- Muela de Afilado de 19 mm, 4.67 brocas afiliadas por muela. En total haciendo 28 brocas.
- Muela de Afilado de 16 mm, 22 brocas afiliadas por muela. En total haciendo 44 brocas.

Figura 50

Proceso Operativo de Afilado de Brocas



Fuente: Elaboración Propia

Figura 51

Broca no Apta para Afilado



Fuente: Elaboración Propia

Figura 52

Broca con primer Afilado



Fuente: Elaboración Propia

Figura 53

Broca Descartada Después de Tres Afilados



Fuente: Elaboración Propia

3.5.3 Afilado de brocas DTH en una mina de pórfido de cobre en la afiladora BQ3-DTH

La siguiente prueba se realizó en una mina de pórfido de cobre en el sur del Perú, donde se utilizan tres perforadoras DTH para precorte. Solo se tomaron en cuenta las brocas DTH usadas en dos perforadoras DTH las cuales fueron sometidas a pruebas de aire y pulldown, dándoles más confiabilidad al performance otorgado por estas perforadoras durante la operación. Durante las pruebas se seleccionaron un total de 30 brocas DTH DHD 340A SpeedBit de 5 1/8”, 4 15/16” y 4 1/2” con su Data Sheet en el Anexo 10, cuyas características son las siguientes:

Características de la Broca DHD 340A

Tabla 19

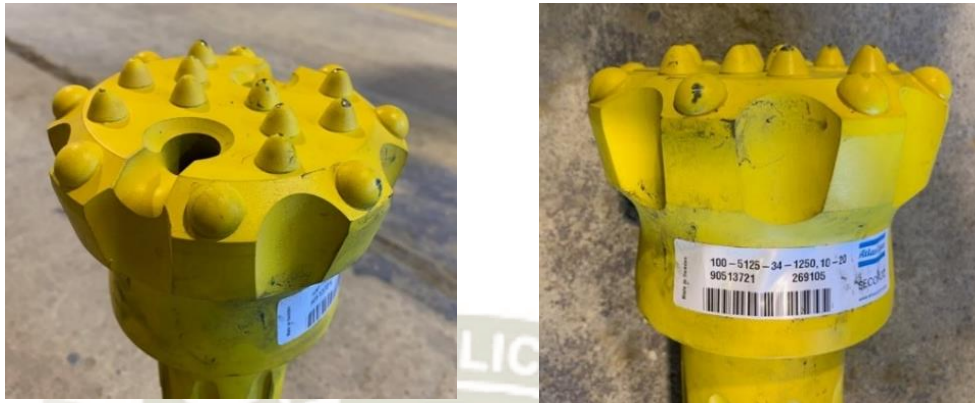
Especificaciones Técnicas Broca DHD340A

Diámetro	Nro Botón x diámetro (mm)		Ángulo de Botón	Hoyos de flujo	Peso Kg
	Periferie	Frontales			
4 1/2”	8 x 14.5 mm Botones Esféricos	8 x 12.7 mm Botones Balísticos	35°	2	9
4 15/16”	8 x 14.5 mm Botones Esféricos	10 x 12.7 mm Botones Balísticos	35°	2	9.7
5 1/8”	8 x 14.5 mm Botones Esféricos	10 x 12.7 mm Botones Balísticos	35°	2	9.7

Fuente: Elaboración Propia

Figura 54

Broca DHD 340A Nuevas



Fuente: Elaboración Propia

Figura 55

Copa de Afilado nuevas



Fuente: Elaboración Propia

Figura 56

Devastadoras Nuevas



Fuente: Elaboración Propia

Figura 57

Brocas con Devastado de Matriz



Fuente: Elaboración Propia

Figura 58

Broca con Insertos de la Periferie Afilado



Fuente: Elaboración Propia

Figura 59

Broca Afilada de 4 1/2"



Fuente: Elaboración Propia

Figura 60

Broca Afilada de 4 15/16"



Fuente: Elaboración Propia

Figura 61

Broca Afilada de 5 1/8"



Fuente: Elaboración Propia

De las cuales, solo se tomaron en consideración 24 brocas para el cálculo, dejando de lado los seis restantes debido a que presentaron fallas de producto, las cuales son:

Tabla 20

Brocas con Falla de Producto

Perforadora	Serie Broca	Diámetro (in)	Metros Acumulados (m)	Precio broca (usd)	Fecha Ini.	Fecha Fin
TD-11	286349-17	4 ½	222	850	27/12/2018	27/12/2018
TD-11	281644-3	5 1/8	342.5	850	12/11/2018	13/11/2018
TD-11	90029843	4 ½	132	850	29/01/2019	29/01/2019
TD-11	285076-5	5 1/8	474	850	15/01/2019	18/01/2019
TD-12	287644	4 ½	217	850	21/11/2018	21/11/2018
TD-12	90516364-A	4 ½	200	850	1/12/2018	2/12/2018

Fuente: Elaboración Propia

El rendimiento histórico otorgado por mina es de 750 m promedio. El performance de la broca DHD 340A utilizada para perforación de pre-corte varía entre 650 y 800m. Se realizaron tres veces el afilado a las mismas brocas con el objetivo de aumentar su rendimiento (metraje) y generar ahorro en costos anuales por consumo de brocas DTH, en el caso de esta mina para perforación de precorte.

3.5.4 Ensayo de medición de dureza de inserto afilado de carburo de tungsteno

En los laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Universidad Católica de Santa María se realizó un ensayo de medición de dureza de un inserto de carburo de tungsteno luego de haber recibido tres veces afilado la broca, con el objetivo de demostrar que, a pesar de que durante el aguzado del inserto se somete a fricción y a temperaturas menores a 150°C por contacto con la copa de afilado, la dureza del inserto se mantiene muy cercana a la inicial, no siendo tan significativa la transformación física que tuvo el mismo, manteniendo un rendimiento óptimo en campo cuyo sustento se encuentra en el Anexo 11.

Procedimiento:

- Se escogió una broca DTH descartada la cual tuvo 3 procesos de afilado de insertos previos y ya tenía insertos partidos.

Figura 62

Broca Descartada



Fuente: Elaboración Propia

- Se escogió un inserto de la periferie que se encuentre más conservado y con mayor altura con el objetivo de ser extraído y poder ser sometido a las pruebas de dureza.

Figura 63

Proceso de Extracción de Inserto para Prueba de Dureza



Fuente: Elaboración Propia

- Se elaboró la probeta con el inserto extraído para poder realizar el ensayo de dureza (Fig. 64).
 - Se coloca sobre la base de vidrio cera y se coloca el molde encima con la flecha hacia abajo y luego se posiciona el inserto con la base plana en la base del molde.

Figura 64

Posicionamiento de Inserto



Fuente: Elaboración Propia

- En un vaso se vertió la resina con el acrílico para generar la masa que rodeará el inserto (Fig. 65) para poder generar la probeta.

Figura 65

Vaciado de Resina



Fuente: Elaboración Propia

- Dejar por un lapso de una hora secó la probeta y luego se extrajo del molde para luego pasar a lijar la muestra y dejar ambos extremos de la probeta completamente lisa para que se pueda realizar las indentaciones en el inserto (Fig.66).

Figura 66

Generación de la probeta



Fuente: Elaboración Propia

- Se realizó las pruebas de dureza con las siguientes características:
 - Tipo de medición: Dureza Rockwell A
 - Carga sobre la probeta: 60 kgf o 588 N
 - Identador: Cono de Diamante
 - Material a ensayar: Carburo de Tungsteno
 - Temperatura de trabajo: 21°C
 - Tiempo de medición por indentación: 10 seg.
 - Dureza de Carburo de Tungsteno: 89.5 HRA
 - Resistencia a la Compresión: 5600 MPa
 - Resistencia a la Flexión: 1550 MPa
- Se calibró el durómetro de banco en medición de Rockwell A, el tiempo de 10 segundos y una carga de 60 kgf (Fig.67).

Figura 67

Calibración de Equipo



Fuente: Elaboración Propia

- Se colocó la probeta en la base del equipo y mediante el brazo inferior se acerca el cono de diamante hacia la probeta hasta entrar en contacto con la misma para poder realizar la primera medición.

Figura 68

Posicionamiento de la Probeta



Fuente: Elaboración Propia

- Se realizó un primer ensayo como prueba para que el equipo pueda ejercer toda la carga sobre el inserto, llegando a un total de capacidad del equipo de 580 HRA y luego de 10 segundos botó la dureza que tiene el inserto; en este caso la prueba botó una dureza de 88.1 HRA (Rockwell A).

Figura 69

1ra Medición de 89 HRA



Fuente: Elaboración Propia

- El primer ensayo realizado y tomado en cuenta para el cálculo promedio de dureza fue de 89 HRA (Fig.70), la segunda muestra tomada vota una dureza de 89.1 HRA (Fig.70) y la tercera muestra tomada tiene una dureza de 89.1 HRA (Fig.70)

Figura 70

Mediciones de Dureza



Fuente: Elaboración Propia

- Se realizó el cálculo promedio de la dureza en Rockwell A del inserto de carburo de tungsteno teniendo como resultado 89.1 HRA de dureza promedio respecto a la dureza inicial de 89.5 HRA. Esto es debido a que al trabajar en el aguzado del inserto con temperaturas menores a 150°C no altera su microestructura interna. Permitiendo que el performance de la broca durante la perforación de taladros sea la más óptima.



4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Análisis e Interpretación de Resultados

4.1.1. Afilado de brocas DTH en una mina de oro diseminado en la afiladora BQ3-DTH

4.1.1.1. Optimización de rendimiento de brocas DTH.

En la Tabla 21, se puede observar que posterior al triple afilado de una broca se aumenta la vida útil hasta un total de 928.33 m promedio, el cual se encuentra 32.6% por encima de la vida útil histórica otorgada por mina (Anexo 14). Inicialmente, se recomienda afilar los insertos cada 222.77 metros perforados aproximadamente con el objetivo de alcanzar el rendimiento óptimo o se dé el caso del desgaste de un tercio del diámetro del inserto, se consideraría lo que suceda primero.

Tabla 21

Aumento de Metraje de Brocas Afiladas

Recorrido promedio por broca para ser afilado	260 m
Después del primer afilado	222.77 m
Después del segundo afilado	222.77 m
Después del tercer afilado	222.77 m
Vida Útil Total Por Broca	928.33 m
Rendimiento Histórico Otorgado por Mina	700.00 m
% Incremento de Rendimiento Broca (m)	32.6 %

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 22 se observa el rendimiento en metros alcanzado por las brocas luego de haber sido afilados tres veces, alcanzando un rendimiento promedio de 928.33 m. Además, se alcanzó un total de 40,846.6 metros, respecto que, sin afilarse las brocas se alcanzaría un metraje de 30,800 metros con la misma cantidad de brocas usadas basado en el Anexo 5.

Tabla 22

Rendimiento Real de Brocas Afiladas

ID.	Serie Brocas QL50	Rendimiento (m)
1	2051026 - 006	832.50
2	2053652 - 001	414.30
3	2053652 - 002	837.30
4	2053652 - 003	530.70
5	2053652 - 004	912.40
6	2053652 - 005	889.70
7	2053652 - 006	776.70
8	2053652 - 007	534.00
9	2053652 - 008	630.00
10	2053652 - 009	688.00
11	2053652 - 010	708.00
12	2053652 - 011	900.10
13	2053652 - 012	521.80
14	2053652 - 013	655.30
15	2053652 - 014	572.10
16	2053652 - 015	488.10
17	2065060 - 001	906.50
18	2065060 - 002	1256.90
19	2065060 - 003	1574.40
20	2065060 - 004	952.70
21	2065060 - 005	710.80
22	2065060 - 006	1125.50
23	2065060 - 007	745.10
24	2065060 - 008	667.30
25	2065060 - 009	701.20
26	2065060 - 010	1333.40
27	2065060 - 011	677.70
28	2065060 - 012	1366.80
29	2065060 - 013	1234.40
30	2065060 - 014	1085.10
31	2065060 - 015	927.00
32	2065060 - 016	1104.30
33	2065060 - 017	1150.90
34	2065060 - 018	1170.20
35	2065060 - 019	1181.60

36	2065060 - 020	1601.30
37	2065060 - 021	907.00
38	2065060 - 022	1298.80
39	2065060 - 023	747.20
40	2065060 - 024	1109.90
41	2065060 - 025	897.70
42	2065060 - 026	1148.70
43	2065060 - 027	1074.60
44	2065060 - 028	1298.60
	Metros Totales	40,846.6
	Vida Útil Promedio	928.33

Fuente: Elaboración Propia

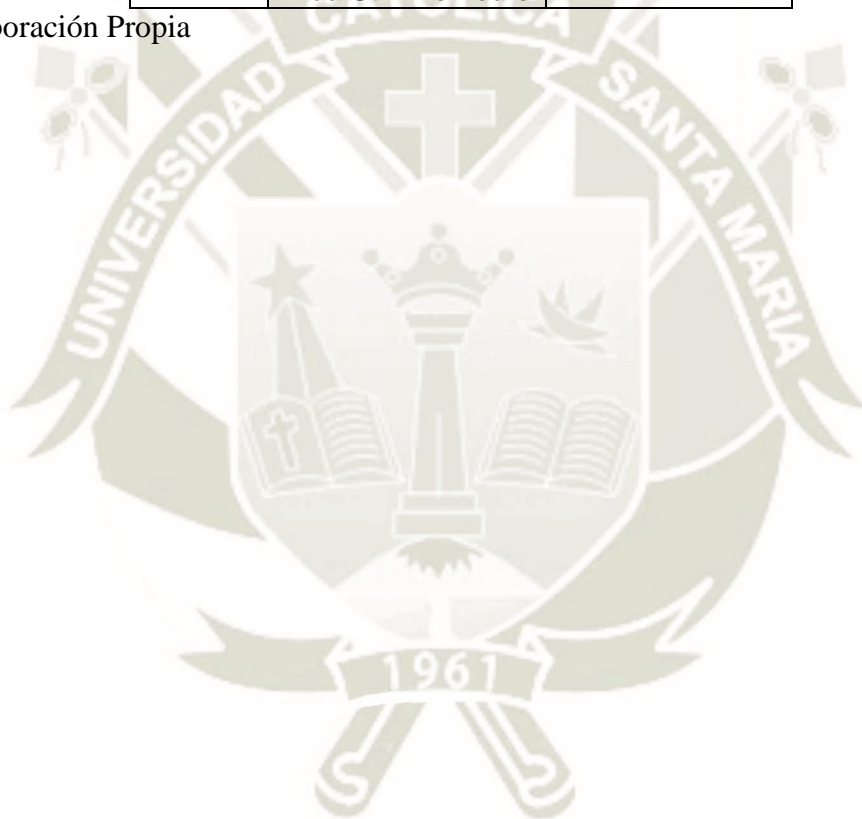
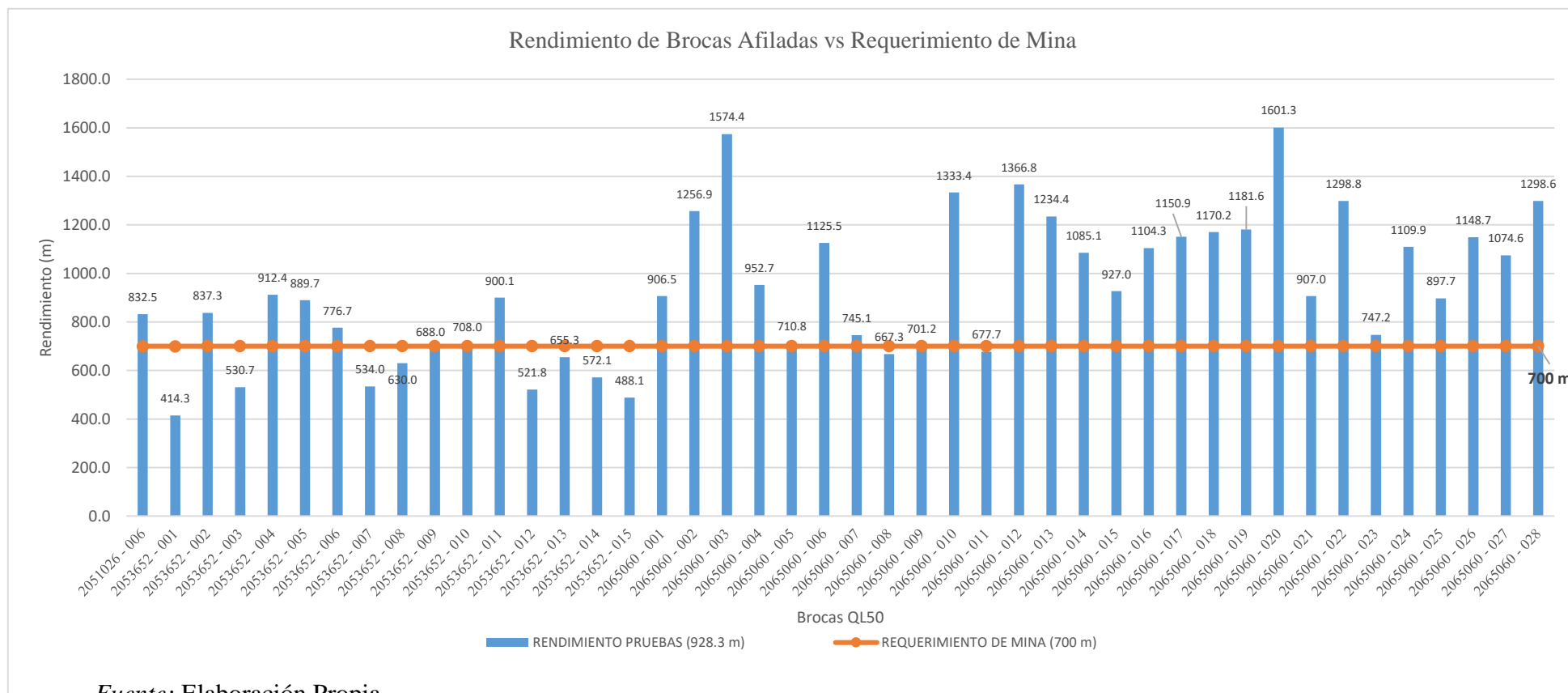


Figura 71

Rendimiento de Brocas Afiladas vs Requerido por Mina



Fuente: Elaboración Propia

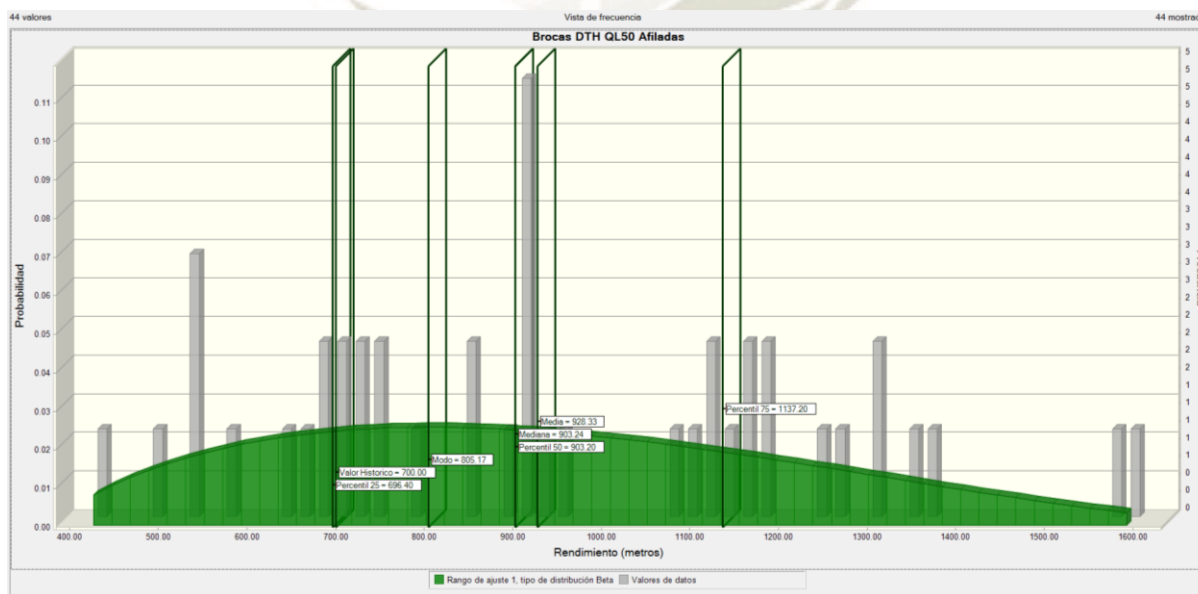
En la Figura 71 se puede observar que la broca de mayor rendimiento es la 2065060-020 con 1601.3 metros respecto al histórico de mina de 700m, la cual se corrió en el martillo 506114 teniendo una velocidad de 48.8 m/hr durante su tiempo de vida. Además, el 75% de brocas utilizadas para la prueba alcanzaron un rendimiento superior de los 700 metros de rendimiento histórico.

Análisis estadístico de brocas DTH afiladas en una mina de oro diseminado

Para un mayor alcance y verificar los rendimientos óptimos alcanzados por las brocas afiladas se determinó primero que nuestros valores de rendimiento (metros) son una variable aleatoria continua, ya que resulta de una medición de rendimientos y se encuentra en un intervalo entre 414.3 y 1,601.3 metros. Mediante el simulador Crystal Ball se determinó que el tipo de distribución más adecuada es el Método de Distribución Beta dando como resultado el siguiente histograma de evaluación (Fig.72), donde se puede observar que según el percentil 25, solo el 25% de los datos se encuentran por debajo del valor histórico de mina (700 metros), con lo cual el 75% de brocas cumplió con superar el rendimiento histórico de mina. Por otro lado, tenemos una gráfica sesgada hacia la derecha significando que hay valores extremos muy altos, pero de baja frecuencia siendo el mayor rendimiento de 1,601.3 metros. De igual forma, la moda es menor que la mediana y ésta menor que la media, significando que la mayor concentración de datos está por debajo de la media, pero por encima del rendimiento histórico.

Figura 72

Histograma de Rendimiento de Brocas DTH Afiladas



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

En la Tabla 23, debido a la separación de los valores de la muestra tenemos una desviación estándar alta de 291,8. Es decir, el 66% de datos se encuentra entre 655 y 1,181 metros. Adicionalmente, el coeficiente de variación de 0.31 indica que tiene una variabilidad aceptable para el análisis. De igual forma, curtosis nos indica que es una distribución platicúrtica indicando que la concentración de los valores respecto a la moda es baja por la poca cantidad de datos y por la separación de sus rendimientos.

Tabla 23

Estadísticas de Muestra Única de Brocas Afiladas.

Caso Base	414.3
Media	928.3
Mediana	903.2
Modo	805.1
Desviación Estándar	291.8
Varianza	85170.6
Curtosis	2.36
Coeficiente de Variación	0.314
Mínimo	379.01
Máximo	1802.9
Error Estándar Medio	---

Fuente: Elaboración Propia

Aplicando la prueba de muestra única mediante el programa CRYSTALL BALL, se determina que:

Tabla 24

Prueba de Muestra Única de Brocas Afiladas

<i>Clasificado por: Anderson Darling</i>		
Distribución	A-D	Parámetros
Beta	.2182	Mínimo= 379.01; Máximo= 1802.9; Alfa= 1.7903; Beta= 2.8503
Triangular	.2395	Mínimo= 348.48; Más probable= 708; Máximo= 1768.4
Weibull	.3307	Ubicación= 231.8; Escala= 798.6; Forma= 2.578
Logarítmico n	.3386	Ubicación=-393.4; Media= 929.3; Desv est= 301.02

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo el porcentaje de ocurrencias en los rangos de rendimientos (m) determinadas son:

Tabla 25

Rango de Vida Útil y Porcentaje de Ocurrencias para Rendimiento de Brocas

RANGO DE VIDA UTIL (metros)	PORCENTAJE DE OCURRENCIA %	Frecuencia
[400 - 600]	13.6	6
[600 - 800]	25.0	11
[800 - 1000]	22.7	10
[1000 - 1200]	20.5	9
[1200 - 1400]	13.6	6
[1400 - 1605]	4.5	2
TOTAL	100	44

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Mediante la evaluación por medio de crystall ball, tomando en cuenta los datos primordiales de rendimientos de brocas afiladas, se estima que la mayor concentración de rendimiento de brocas afiladas se encuentra entre 600 – 1000 m reflejándose un 47.7% del total de datos, con los cuales se alcanzó rendimientos promedio por encima de los 700 metros históricos de mina.

4.1.1.2. Reducción de costos anuales.

Previo a realizar el proyecto de afilado de brocas DTH se presentó a mina una propuesta técnico económica (Anexo 14) para poder llevar a cabo estas pruebas, donde se estimó la reducción de costo total anual de metros perforados y por ende menor consumo de brocas DTH. Por lo cual. antes de calcular la reducción de costos anuales, se calculó el costo que va a tener el afilado de brocas sobre el TDC, por lo cual el costo beneficio es mínimo:

Tabla 26

Cantidad de Copas de Afilado Usados

	Cantidad	Nro de Veces Afilado por Broca	Total Brocas Afiladas	Total afilado	Brocas Afiladas por Muela de Afilado
Muela de afilado de 19 mm	6	3	28	84	4.7 brocas
Muela de afilado de 16 mm	2	3	44	132	22 brocas

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 27

Calculo de Costo Beneficio

Cantidad Brocas	44
Metros por Afilado	668.31

Diamond Grinding	Costo	Cantidad
Diamond grinding 19 mm	190	6
Diamond grinding 16 mm	190	2

Costo Total de Diamond Grinding (Usd)	1520
Metros Obtenidos por Servicio Afilado (m)	29405.64
Costo Beneficio (Usd/m)	0.05

Fuente: Elaboración Propia

A partir del afilado de brocas DTH se logrará un ahorro anual en el costo total de metros perforados de 257,583.15 USD, así como un menor consumo de brocas DTH, ya que la cantidad de brocas a consumir será de 143 brocas menor al consumo de brocas sin afilado.

Tabla 28

Ahorro Anual en el Área de Perforación con Afilado

TDC con Afilado de Brocas		
$TDC = \frac{(PRECIO\ MARTILLO)}{(REND.\ MARTILLO)} + \frac{(PRECIO\ BROCA)}{(RENDIMIENTO\ DE\ BROCA)} + \frac{COSTO\ EQUIPO}{VELOCIDAD}$		

Martillo B (USD)	\$4,350
Vida útil (mts)	5250.43 m
Costo Broca B (USD)	\$790
Vida útil (mts)	928.33 m
Costo Operativo	\$155
Velocidad de Penetración Mts/Hora	50.42 m/h
TDC (TOTAL DRILLING COST)	4.75 \$/m
COSTO AFILADO	0.05 \$/m
TCD TOTAL	4.81 \$/m
Perforación Mensual (mts)	41,955.6
Perforación Anual (mts)	503,467.2
Costo Total Anual de metros Perforados	\$2,419,483.48
Brocas Requeridas (Año)	528
Ahorro Anual (Usd)	\$257,583.15

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 29

TDC sin Afilado de Brocas

TDC sin Afilado de Brocas	
$TDC = \frac{(PRECIO\ MARTILLO)}{(REND.\ MARTILLO)} + \frac{(PRECIO\ BROCA)}{(RENDIMIENTO\ DE\ BROCA)} + \frac{COSTO\ EQUIPO}{VELOCIDAD}$	
Martillo B (USD)	\$4,350
Vida útil (mts)	4700.00 m
Costo Broca B (USD)	\$790
Vida útil (mts)	700.00 m
Costo Operativo	\$155
Velocidad de Penetración Mts/Hora	47.50 m/h
TDC (TOTAL DRILLING COST)	5.32 \$/m
COSTO AFILADO	0.00 \$/m
TCD TOTAL	5.32 \$/m
Perforacion Mensual (mts)	41,955.6
Perforacion Anual (mts)	503,467.2
Costo Total Anual de Metros Perforados	\$2,677,066.63
Brocas Requeridas (Año)	671

Fuente: Elaboración Propia

4.1.1.3. Optimización de la velocidad de los martillos DTH.

El afilado de brocas DTH permite que la velocidad promedio de cada martillo (Anexo 6) se mantenga hasta en un 6.1% por encima de la velocidad histórica alcanzada en la mina.

Tabla 30

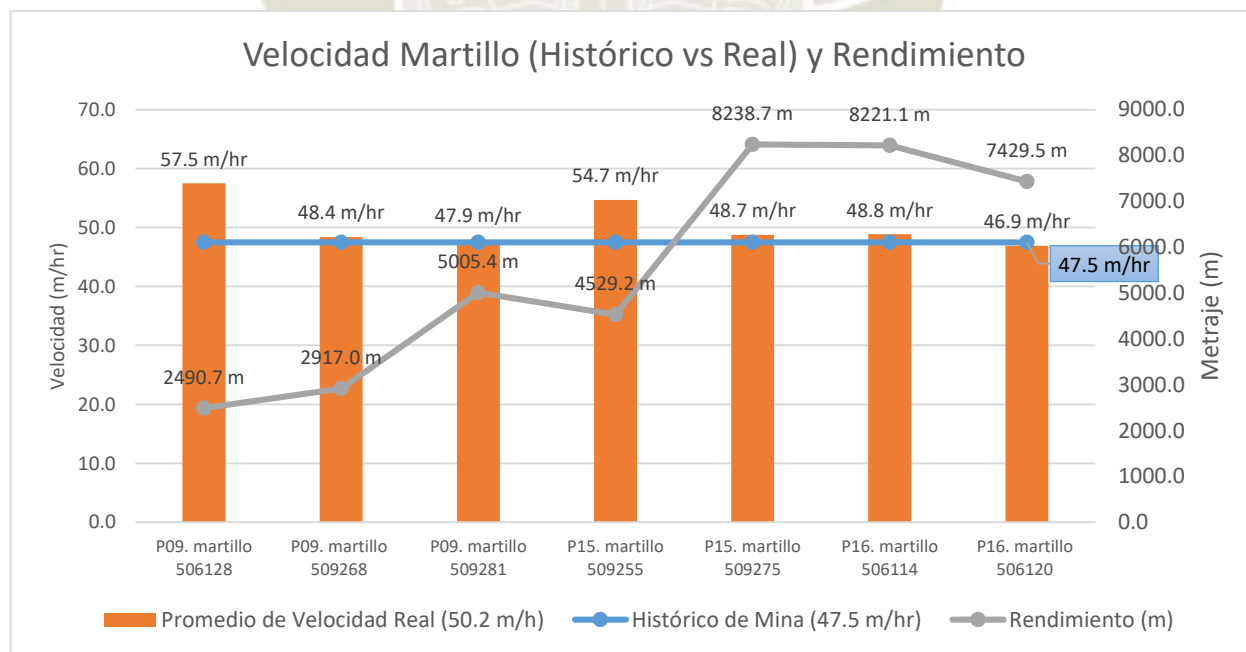
Velocidad y Rendimiento de Martillos

Etiquetas de fila	Tarjet (m/h)	Promedio de Velocidad Real (m/h)	Rendimiento (m)
P09. martillo 506128	47.5	57.5	2,490.7
P09. martillo 509268	47.5	48.4	2,917.0
P09. martillo 509281	47.5	47.9	5,005.4
P15. martillo 509255	47.5	54.7	4,529.2
P15. martillo 509275	47.5	48.7	8,238.7
P16. martillo 506114	47.5	48.8	8,221.1
P16. martillo 506120	47.5	46.9	7,429.5
Total general	47.5	50.4	5,250.4

Fuente: Elaboración Propia

Figura 73

Velocidad de Martillo y Rendimiento (m)



Fuente: Elaboración Propia

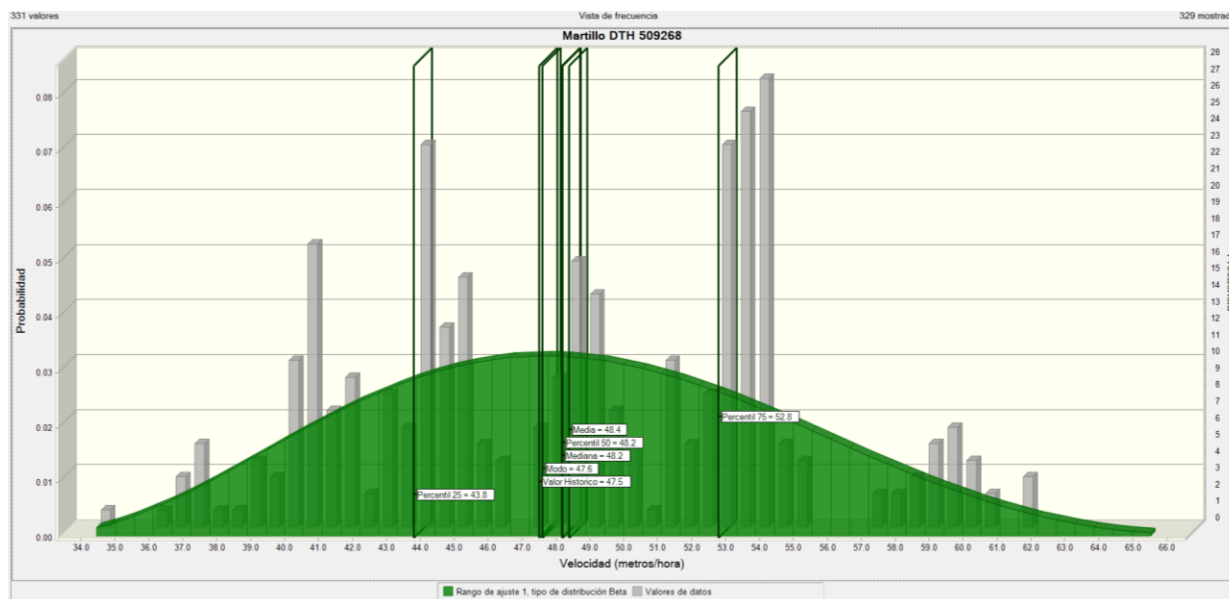
La velocidad promedio de los martillos en 50.4 m/h se encuentra 6.1% encima de la velocidad histórica de mina (47.5 m/h), haciendo indicar que a partir de un buen afilado la velocidad del martillo se mantiene en una velocidad superior al histórico de mina, favoreciendo así que el TDC disminuya de 5.32 USD/m a 4.81 USD/m.

Análisis estadístico del martillo DTH 509268 en una mina de oro diseminado

Para un mayor alcance y verificar las velocidades alcanzadas por el martillo DTH 509268 se determinó primero que nuestros valores de velocidad son una variable aleatoria continua, ya que resulta de una medición y se encuentra dentro de un intervalo de 34.1 hasta 68.3 m/hr. Mediante el simulador Crystal Ball se determinó que el tipo de distribución más adecuada es el Método de Distribución Beta dando como resultado el siguiente histograma de evaluación (Fig.74), donde se puede observar que según el percentil 50, aproximadamente el 50% de datos se encuentran por debajo del valor histórico de mina (47.5 m/hr). De igual forma, la gráfica nos muestra que la media de 48.4 m/hr está por encima del valor histórico, cumpliendo con superar el performance previo. Por otro lado, tenemos una distribución simétrica donde la media, la mediana y la moda (48.2 m/hr) son iguales, con lo cual habrá una distribución del 50% de datos mayores y menores que la media.

Figura 74

Histograma del Martillo DTH 509268 - Perforadora 09



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 31

Estadísticas de Muestra Única Martillo 509268

Caso Base	34.1
Media	48.4
Mediana	48.2
Modo	47.6
Desviación Estándar	6.2
Varianza	38.3
Curtosis	2.47
Coefficiente de Variación	0.128
Mínimo	32.2
Máximo	69.1
Error Estándar Medio	---

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 31, debido a la proximidad de valores tenemos una desviación estándar baja cuyo valor es de 6,2. Es decir, el 68% de datos se encuentran entre 42.2 y 54.6 m/hr. Adicionalmente, el coeficiente de variación de 0.12 indica que tiene una variabilidad baja otorgándole una estabilidad alta al análisis. De igual forma, curtosis nos indica que es una

distribución platicúrtica indicando que la concentración de los valores respecto a la media es relativamente baja a pesar que los rangos son cortos.

Aplicando la prueba de muestra única mediante el programa CRYSTALL BALL, se determina que:

Tabla 32

Prueba de Muestra Única Martillo 509268

Clasificado por: Anderson Darling		
Distribución	A-D	Parámetros
Beta	2.5005	Mínimo= 32.2; Máximo= 69.1; Alfa= 3.39
Weibull	2.8278	Ubicación= 31.1; Escala= 19.4; Forma= 3
Normal	3.3291	Media= 48.4; Desv est= 6.2
Logarítmico n	3.4460	Ubicación= -27.9; Media= 48.4

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo el porcentaje de ocurrencias en los rangos de velocidades determinadas son:

Tabla 33

Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias Martillo 509268

RANGO DE VELOCIDAD (m/hr)	PORCENTAJE DE OCURRENCIA %	CANTIDAD DE DATOS
[30 - 40]	6.6	22
[40 - 50]	50.8	168
[50 - 60]	39.3	130
[60 - 70]	3.3	11
TOTAL	100%	331

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Mediante la evaluación por medio de crystall ball, tomando en cuenta los datos primordiales de velocidades del Martillo DTH 509268, se estima que la mayor concentración de velocidades de penetración se encuentra entre 40 – 60 m/hr reflejándose un 90.1% del total de

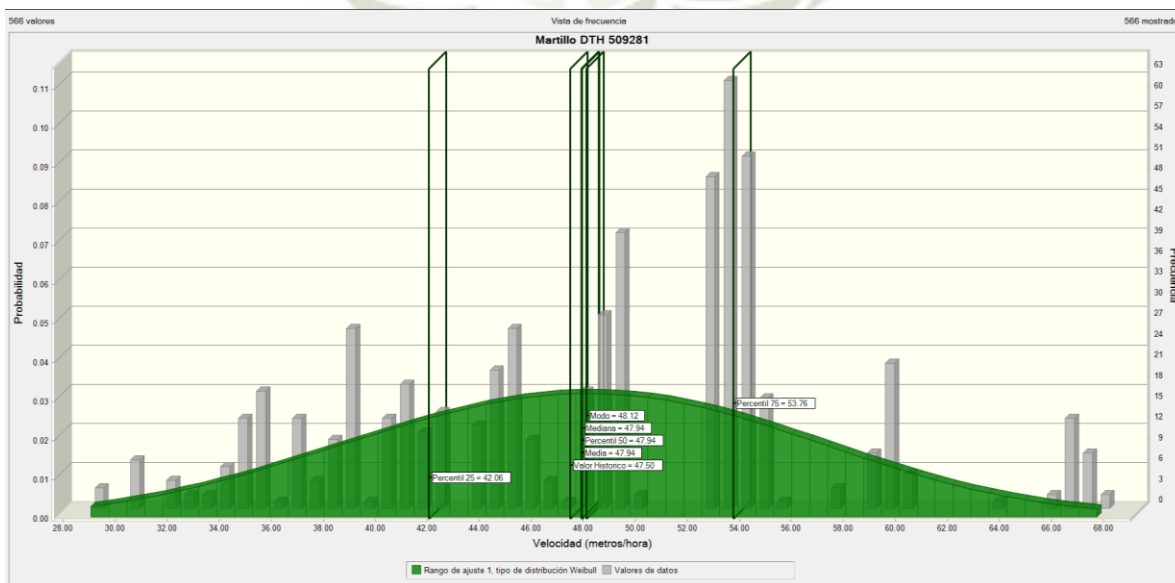
datos, con los cuales se alcanzó rendimientos promedio por encima del histórico de mina de 47.5 m/hr.

Análisis estadístico del Martillo DTH 509281 en una mina de oro diseminado

Para un mayor alcance y verificar las velocidades alcanzadas por el martillo DTH 509281 se determinó primero que nuestros valores de velocidad son una variable aleatoria continua, ya que resultan de una medición y se encuentra dentro de un intervalo de 28.6 hasta 68.0 m/hr. Mediante el simulador Crystal Ball se determinó que el tipo de distribución más adecuada es el Método de Distribución Weibull dando como resultado el siguiente histograma de evaluación (Fig.75), donde se puede observar que según el percentil 50, aproximadamente poco menos del 50% de datos se encuentran por debajo del valor histórico de mina (47.5m/hr). No obstante, la gráfica nos muestra que la media de 47.9 m/hr está por encima del requerido por mina. Por otro lado, tenemos una distribución simétrica donde la media, la mediana y la moda (47.9 m/hr) son iguales, con lo cual habrá una distribución del 50 % de datos mayores y menores que la media.

Figura 75

Histograma del Martillo DTH 509281 - Perforadora 09



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 34

Estadísticas de Muestra Única - Martillo 509281

Caso Base	28.64
Media	47.94
Mediana	47.94
Modo	48.12
Desviación Estándar	8.38
Varianza	70.19
Curtosis	2.71
Coefficiente de Variación	0.1748
Mínimo	21.83
Máximo	∞
Error Estándar Medio	---

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 34, debido a la relativa proximidad de valores tenemos una desviación estándar baja cuyo valor es de 8,3. Es decir, el 68% de datos se encuentran entre 39.5 y 56.2 m/hr. No obstante, el coeficiente de variación de 0.17 indica que tiene una variabilidad baja otorgándole una estabilidad alta al análisis. De igual forma, curtosis nos indica que es una distribución platicúrtica indicando que la concentración de los valores respecto a la moda es relativamente baja a pesar de que los rangos son cortos.

Aplicando la prueba de muestra única mediante el programa CRYSTALL BALL, se determina que:

Tabla 35

Prueba de Muestra Única – Martillo 509281

<i>Clasificado por: Anderson Darling</i>		
Distribución	A-D	Parámetros
Gama	6.7693	Ubicación= -216.75; Escala= 0.26; Forma= 999
Weibull	6.2966	Ubicación= 21.83; Escala= 29.04; Forma= 3.44
Normal	6.6374	Media= 47.86; Desv est= 8.38
Logarítmico n	6.7286	Ubicación= -459.2; Media= 47.86

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo el porcentaje de ocurrencias en los rangos de velocidades determinadas son:

Tabla 36

Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para el Martillo 509281

RANGO DE VELOCIDAD (m/hr)	PORCENTAJE DE OCURRENCIA %	CANTIDAD DE DATOS
[20 - 30]	0.5	3
[30 - 40]	18.9	107
[40 - 50]	38.0	215
[50 - 60]	37.1	210
[60 - 70]	5.5	31
TOTAL	100%	566

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Mediante la evaluación por medio de *crystall ball*, tomando en cuenta los datos primordiales de velocidades del Martillo 509281, se estima que la mayor concentración de velocidades de penetración se encuentra entre 40 – 60 m/hr reflejándose un 75.1% del total de datos, con los cuales se alcanzó rendimientos promedio por encima del histórico de mina de 47.5 m/hr.

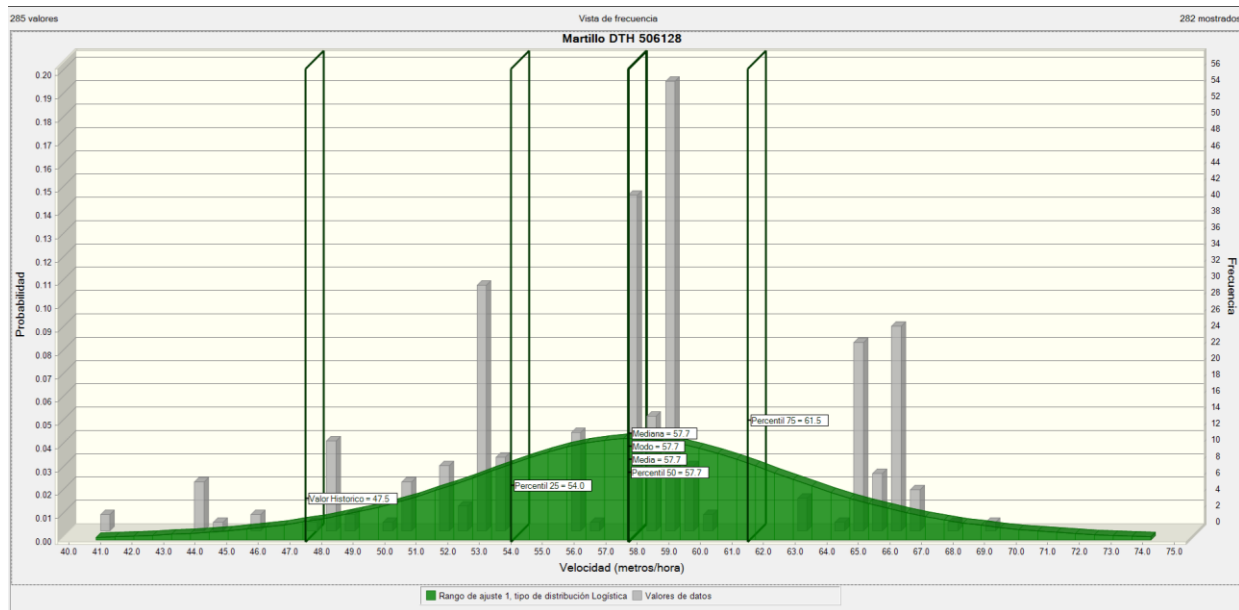
Análisis estadístico del Martillo DTH 506128 en una mina de oro diseminado

Para un mayor alcance y verificar las velocidades alcanzadas por el martillo DTH 506128 se determinó primero que nuestros valores de velocidad son una variable aleatoria continua, ya que resulta de una medición y se encuentra dentro de un intervalo de 37.7 hasta 76.3 m/hr. Mediante el simulador *Crystal Ball* se determinó que el tipo de distribución más adecuada es el Método de Distribución Logística dando como resultado el siguiente histograma de evaluación (Fig.76), donde se puede observar que según el percentil 25, el 25% de datos se encuentran por debajo de 54 m/hr, siendo este valor muy por encima del histórico de 47.5, cumpliendo con superar ampliamente el valor solicitado. Por otro lado, tenemos una distribución simétrica donde la media,

la mediana y la moda (57.7 m/hr) son iguales, con lo cual habrá una distribución del 50% de datos mayores y menores que la media.

Figura 76

Histograma del Martillo DTH 506128 - Perforadora 09



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 37

Estadística de Muestra Única - Martillo 506128

Caso Base	37.7
Media	57.7
Mediana	57.7
Modo	57.7
Desviación Estándar	6.2
Varianza	38.6
Curtosis	4.2
Coefficiente de Variación	0.1077
Mínimo	-∞
Máximo	∞
Error Estándar Medio	---

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 37, debido a la relativa proximidad de valores tenemos una desviación estándar baja cuyo valor es de 6,2. Es decir, el 95% de datos se encuentran entre 45.3 y 69.6 m/hr.

Adicionalmente, el coeficiente de variación de 0.10 indica que tiene una variabilidad muy baja otorgándole una estabilidad alta al análisis. De igual forma curtosis nos indica que es una distribución leptocúrtica indicando que la concentración de los valores respecto a la moda es alta.

Aplicando la prueba de muestra única mediante el programa CRYSTALL BALL, se determina que:

Tabla 38

Prueba de Muestra Única - Martillo 506128

Clasificado por: Anderson Darling		
Distribución	A-D	Parámetros
Logística	5.5083	Media= 57.7; Escala= 3.4
T de Student	5.6992	Punto medio= 57.5; Escala= 5.8; Grados de libertad= 19.97
Normal	5.7491	Media= 57.5; Desv est= 6.1
Logarítmico n	5.7495	Ubicación= -52669.7; Media= 57.5

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo el porcentaje de ocurrencias en los rangos de velocidades determinadas son:

Tabla 39

Rango de Velocidades y Porcentajes de Ocurrencias para el Martillo 506128

RANGO DE VELOCIDAD (m/hr)	PORCENTAJE DE OCURRENCIA %	CANTIDAD DE DATOS
[30 - 40]	0.7	2
[40 - 50]	9.1	26
[50 - 60]	65.6	187
[60 - 70]	24.2	69
[70 - 80]	0.4	1
TOTAL	100%	285

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Mediante la evaluación por medio de crystall ball, tomando en cuenta los datos primordiales de velocidades del Martillo DTH 506128, se estima que la mayor concentración de

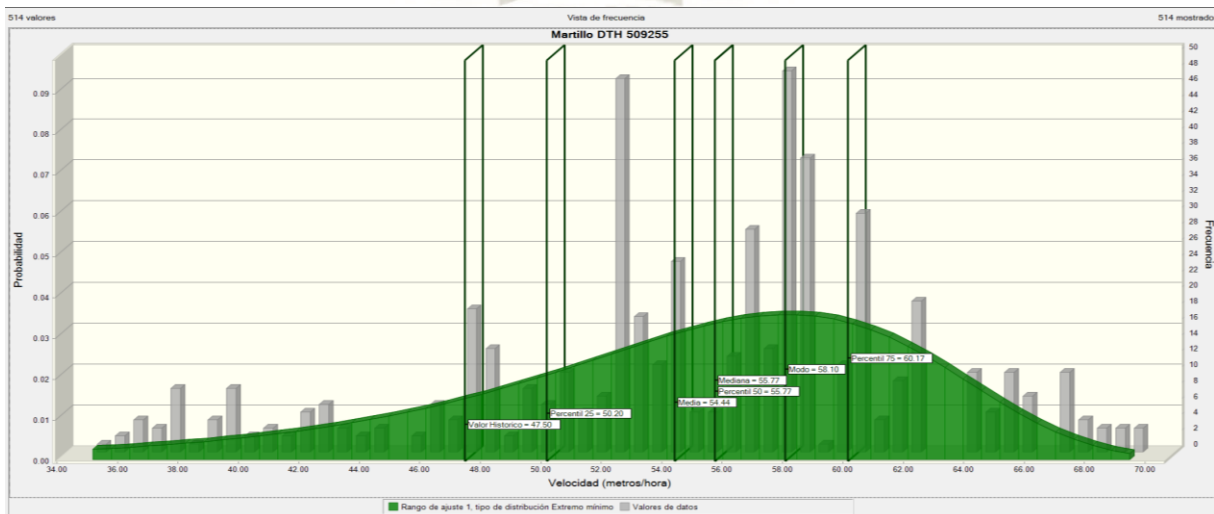
velocidades se encuentra entre 50 – 60 m/hr reflejándose un 65.6% del total de datos, con los cuales se alcanzó rendimientos promedio por encima del histórico de mina de 47.5 m/h.

Análisis estadístico del Martillo DTH 509255 en una mina de oro diseminado

Para un mayor alcance y verificar las velocidades alcanzadas por el martillo DTH 509255 se determinó primero que nuestros valores de velocidad son una variable aleatoria continua, ya que resulta de una medición y se encuentra dentro de un intervalo de 34.8 hasta 69.75 m/hr. Mediante el simulador Crystal Ball se determinó que el tipo de distribución más adecuada es el Método de Distribución Extremo Mínimo dando como resultado el siguiente histograma de evaluación (Fig.77), donde se puede observar que según el percentil 25, más del 75% de datos se encuentran por encima del valor histórico de mina (47.5 m/hr). No obstante, la gráfica nos muestra que la media de 54.4 m/hr está por encima del valor requerido por mina. Por último, tenemos una distribución sesgada hacia la izquierda significando que hay valores extremos muy bajos siendo el menor de 34.8 m/hr, pero de baja frecuencia, donde la media es menor que la mediana, con lo cual habrá una mayor concentración de datos por encima de la media.

Figura 77

Histograma del Martillo DTH 509255 - Perforadora 15



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 40

Estadísticas de Muestra Única - Martillo 509255

Caso Base	
Media	54.4
Mediana	55.7
Modo	58.1
Desviación Estándar	8.14
Varianza	66.21
Curtosis	5.4
Coefficiente de Variación	0.1495
Mínimo	-∞
Máximo	∞
Error Estándar Medio	---

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 40, debido a la relativa proximidad de valores es que tenemos una desviación estándar baja cuyo valor es de 8,1. Es decir, el 68% de datos se encuentra entre 47.2 y 61.9 m/hr. Adicionalmente, el coeficiente de variación de 0.14 indica que tiene una variabilidad muy baja otorgándole una estabilidad alta al análisis, de igual forma curtosis nos indica que es una distribución leptocúrtica indicando que la concentración de los valores respecto a la moda es alta.

Aplicando la prueba de muestra única mediante el programa CRYSTALL BALL, se determina que:

Tabla 41

Prueba de Muestra Única - Martillo 509255

Clasificado por: Anderson Darling		
Distribución	A-D	Parámetros
Extremo mínimo	3.2927	Más probable= 58.1; Escala= 63.4
Beta	3.4419	Mínimo= 6.65; Máximo= 70.94; Alfa= 10.086; Beta= 3.43
Logística	4.3280	Media= 55.09; Escala= 4.15
Triangular	5.5572	Mínimo= 33.62; Más probable= 58.07; Máximo= 70.58

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo el porcentaje de ocurrencias en los rangos de velocidades determinadas son:

Tabla 42

Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para el Martillo 509255

RANGO DE VELOCIDAD (m/hr)	PORCENTAJE DE OCURRENCIA %	CANTIDAD DE DATOS
[30 - 40]	6.2	32
[40 - 50]	16.3	84
[50 - 60]	54.7	281
[60 - 70]	22.8	117
TOTAL	100%	514

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

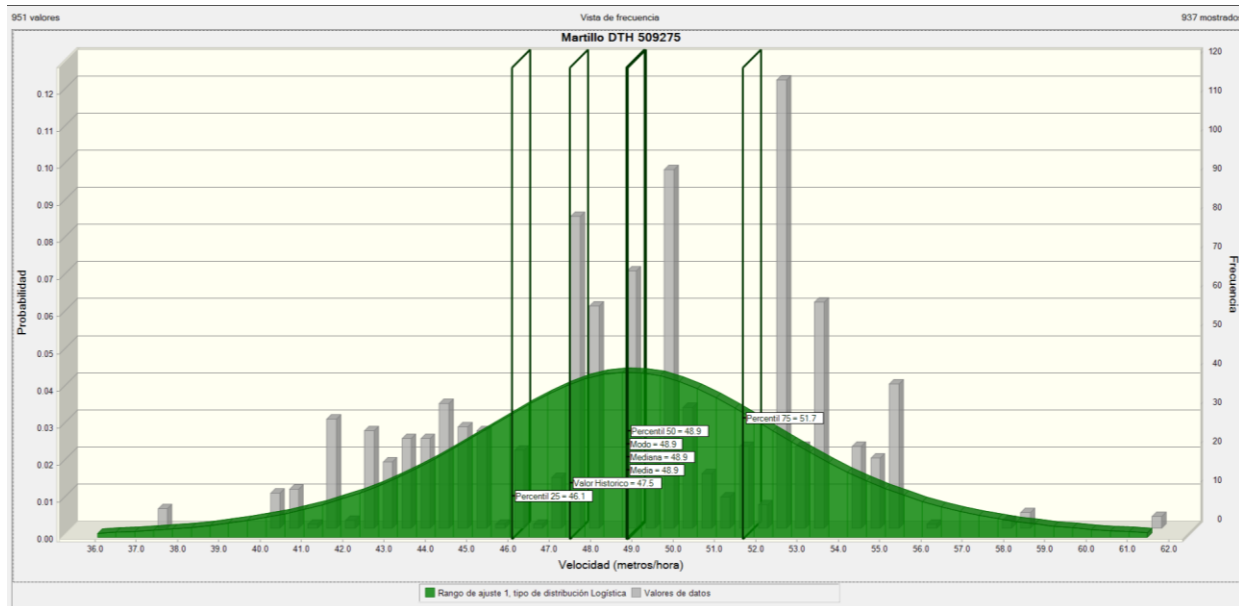
Mediante la evaluación por medio de crystall ball, tomando en cuenta los datos primordiales de velocidades del Martillo DTH 509255, se estima que la mayor concentración de velocidades se encuentra entre 50 – 60 m/hr reflejándose un 54.7% del total de datos, con los cuales se alcanzó rendimientos promedio por encima del histórico de mina de 47.5 m/h.

Análisis estadístico del martillo DTH 509275 en una mina de oro diseminado

Para un mayor alcance y verificar las velocidades alcanzadas por el martillo DTH 509275 se determinó primero que nuestros valores de velocidad son una variable aleatoria continua, ya que resulta de una medición y se encuentra dentro de un intervalo de 29.6 hasta 75.4 m/hr. Mediante el simulador Crystal Ball se determinó que el tipo de distribución más adecuada es el Método de Distribución Logística dando como resultado el siguiente histograma de evaluación (Fig.78), donde se puede observar que según el percentil 25, aproximadamente más del 25% de datos se encuentran por debajo del valor histórico de 47.5 m/hr. Además, la gráfica nos muestra que la media de 48.9 m/hr está por encima del valor requerido por mina. Por último, tenemos una distribución simétrica donde la media, mediana y moda (48.9 m/hr) son iguales, generando una distribución del 50% por encima e inferior a la media.

Figura 78

Histograma del Martillo DTH 509275 - Perforadora 15



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 43

Estadísticas de Muestra Única - Martillo 509275

Caso Base	29.6
Media	48.9
Mediana	48.9
Modo	48.9
Desviación Estándar	4.6
Varianza	21.4
Curtosis	4.2
Coefficiente de Variación	0.0946
Mínimo	$-\infty$
Máximo	∞
Error Estándar Medio	---

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 43, debido a la relativa proximidad de valores tenemos una desviación estándar baja cuyo valor es de 4,6. Es decir, el 68% de datos se encuentran entre 44.1 y 53.3 m/hr. Adicionalmente, el coeficiente de variación de 0.09 indica que tiene una variabilidad muy baja

otorgándole una estabilidad muy alta al análisis, de igual forma curtosis nos indica que es una distribución leptocúrtica indicando que la concentración de los valores respecto a la moda es alta.

Aplicando la prueba de muestra única mediante el programa CRYSTALL BALL, se determina que:

Tabla 44

Prueba de Muestra Única - Martillo 509275

Clasificado por: Anderson Darling		
Distribución	A-D	Parámetros
Logística	7.1016	Media= 48.9; Escala= 2.5
Beta	7.4796	Mínimo= 16.8; Máximo= 114.2; Alfa= 100; Beta= 100
Normal	7.4296	Media= 48.7; Desv est= 4.6
Gamma	7.8896	Ubicación= -97.2; Escala= 0.1; Forma= 999

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo el porcentaje de ocurrencias en los rangos de velocidades determinadas son:

Tabla 45

Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para el Martillo 509275

RANGO DE VELOCIDAD (m/hr)	PORCENTAJE DE OCURRENCIA %	CANTIDAD DE DATOS
[29 - 40]	1.6	15
[40 - 50]	60.1	572
[50 - 60]	37.5	357
[60 - 70]	0.4	4
[70 - 80]	0.3	3
TOTAL	100%	951

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Mediante la evaluación por medio de crystall ball, tomando en cuenta los datos primordiales de velocidades del Martillo 509275, se estima que la mayor concentración de

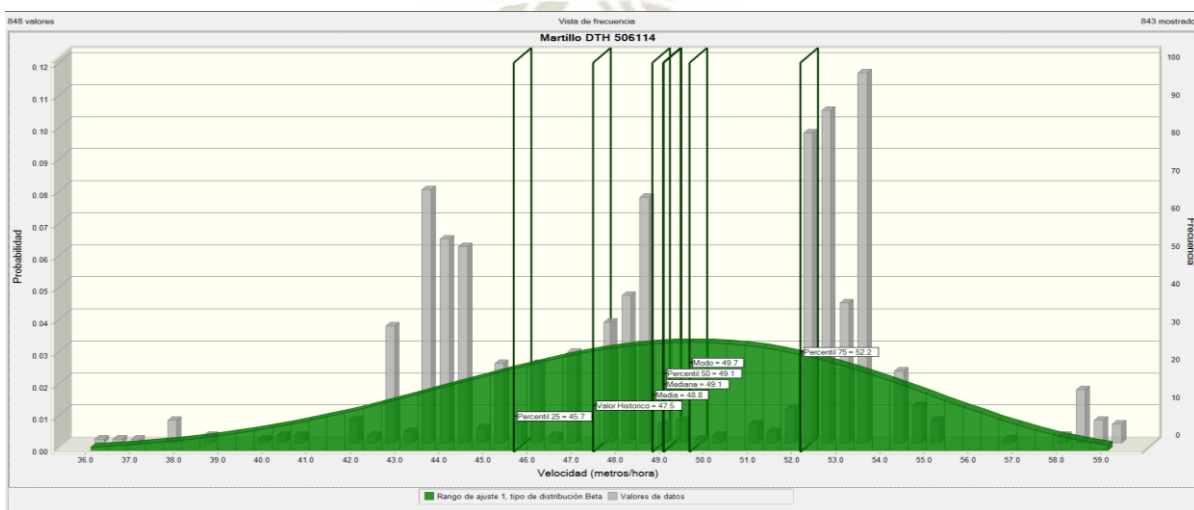
velocidades se encuentra entre 40 – 60 m/hr reflejándose un 97.6% del total de datos, con los cuales se alcanzó rendimientos promedio por encima del histórico de mina de 47.5 m/h.

Análisis estadístico del martillo DTH 506114 en una mina de oro diseminado

Para un mayor alcance y verificar las velocidades alcanzadas por el martillo DTH 506114 se determinó primero que nuestros valores de velocidad son una variable aleatoria continua, ya que resulta de una medición y se encuentra dentro de un intervalo de 31.4 hasta 59.3 m/hr. Mediante el simulador Crystal Ball se determinó que el tipo de distribución más adecuada es el Método de Distribución Beta dando como resultado el siguiente histograma de evaluación (Fig.79), donde se puede observar que según el percentil 25, aproximadamente más del 25% de datos se encuentran por debajo del valor histórico de 47.5 m/hr. Además, la gráfica nos muestra una media de 48.8 m/hr la cual está por encima del valor requerido por mina. Por último, tenemos una distribución sesgada hacia la izquierda significando que hay valores extremos muy bajos siendo el menor de 31.4 m/hr, pero de baja frecuencia, donde la media es menor que la mediana y la moda siendo la mayor concentración de datos por encima de la media.

Figura 79

Histograma del Martillo DTH 506114 - Perforadora 16



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 46

Estadísticas de Muestra Única - Martillo 506114

Caso Base	31.4
Media	48.8
Mediana	49.1
Modo	49.7
Desviación Estándar	4.6
Varianza	21.5
Curtosis	2.69
Coefficiente de Variación	0.0948
Mínimo	27.4
Máximo	61.9
Error Estándar Medio	---

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 46, debido a la relativa proximidad de valores es que tenemos una desviación estándar baja cuyo valor es de 4,6. Es decir, el 68% de datos se encuentran entre 44.2 y 53.5 m/hr. Adicionalmente, el coeficiente de variación de 0.09 indica que tiene una variabilidad muy baja otorgándole una estabilidad alta al análisis. De igual forma, curtosis nos indica que es una distribución platocúrtica indicando que la concentración de los valores respecto a la moda es baja.

Aplicando la prueba de muestra única mediante el programa CRYSTALL BALL, se determina que:

Tabla 47

Prueba de Muestra Única - Martillo 506114

<i>Clasificado por: Anderson Darling</i>		
Distribución	A-D	Parámetros
Beta	21.6272	Mínimo= 27.4; Máximo= 61.9; Alfa= 7.47
Weibull	22.9164	Ubicación= 28.5; Escala= 22.2; Forma= 5.033
Extremo min	23.1208	Más probable= 51.1; Escala= 4.2
Normal	24.4754	Media= 48.8; Desv est= 4.6

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo el porcentaje de ocurrencias en los rangos de velocidades determinadas son:

Tabla 48

Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para el Martillo 506114

RANGO DE VELOCIDAD (m/hr)	PORCENTAJE DE OCURRENCIA %	CANTIDAD DE DATOS
[30 - 40]	2.0	17
[40 - 50]	52.5	445
[50 - 60]	45.5	386
TOTAL	100%	848

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

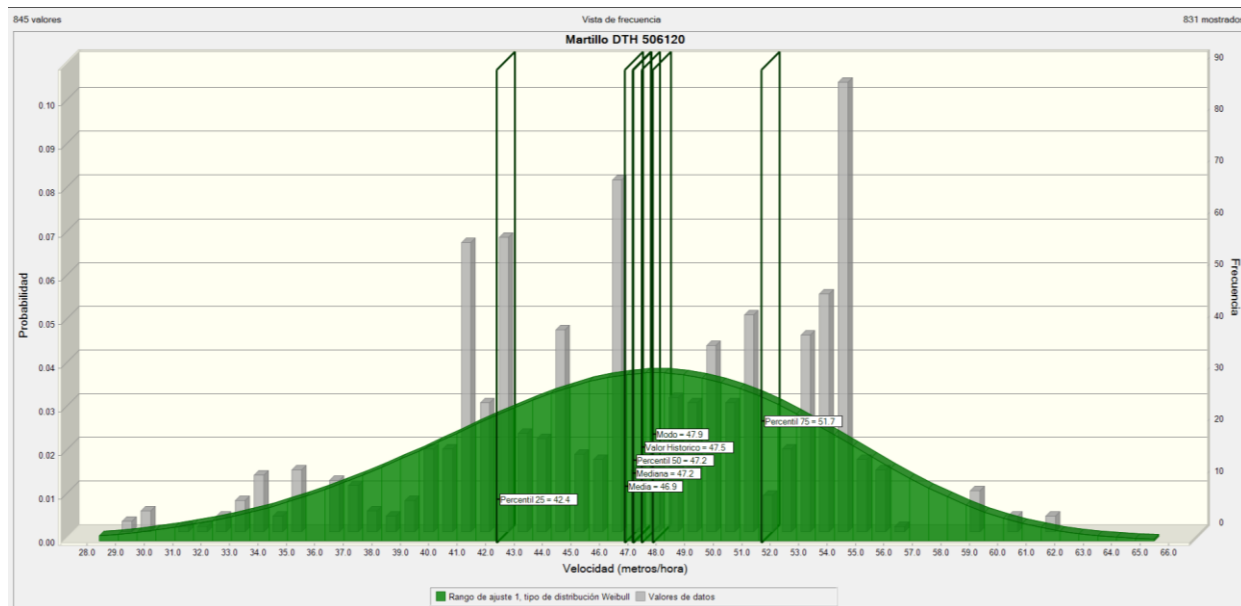
Mediante la evaluación por medio de crystall ball, tomando en cuenta los datos primordiales de velocidades del Martillo 506114, se estima que la mayor concentración de velocidades se encuentra entre 40 – 60 m/hr reflejándose un 98.0% del total de datos, con los cuales se alcanzó rendimientos promedio por encima del histórico de mina de 47.5 m/h.

Análisis estadístico del martillo DTH 506120 en una mina de oro diseminado

Para un mayor alcance y verificar las velocidades alcanzadas por el martillo DTH 506120 se determinó primero que nuestros valores de velocidad son una variable aleatoria continua, ya que resulta de una medición y se encuentra dentro de un intervalo de 19.3 hasta 76.6 m/hr. Mediante el simulador Crystal Ball se determinó que el tipo de distribución más adecuada es el Método de Distribución Weibull dando como resultado el siguiente histograma de evaluación (Fig.80), donde se puede observar que según el percentil 50, el 50% de datos se encuentran por debajo del valor histórico de 47.5 m/hr. Además, la gráfica nos muestra una media de 46.9 m/hr la cual está ligeramente debajo del valor requerido por mina, no habiendo cumplido con lo requerido, pero se ve sopesado con los buenos resultados en los otros martillos DTH. Por último, tenemos una distribución simétrica donde la media, la media y la moda tienen los mismos valores.

Figura 80

Histograma del Martillo DTH 506120 - Perforadora 16



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 49

Estadísticas de Muestra Única - Martillo 506120

Caso Base	---
Media	46.9
Mediana	47.2
Modo	47.9
Desviación Estándar	6.7
Varianza	45.4
Curtosis	2.81
Coefficiente de Variación	0.143
Mínimo	19.9
Máximo	∞
Error Estándar Medio	---

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 49, debido a la relativa proximidad de valores es que tenemos una desviación estándar moderada cuyo valor es de 6,7. Es decir, el 68% de datos se encuentran entre 40.2 y 53.6 m/hr. Adicionalmente, el coeficiente de variación de 0.143 indica que tiene una variabilidad baja

otorgándole una estabilidad alta al análisis. De igual forma, curtosis nos indica que es una distribución platicúrtica indicando que la concentración de los valores respecto a la moda es baja.

Aplicando la prueba de muestra única mediante el programa CRYSTALL BALL, se determina que:

Tabla 50

Prueba de Muestra Única - Martillo 506120

Clasificado por: Anderson Darling		
Distribución	A-D	Parámetros
Weibull	6.308	Ubicación= 19.9; Escala=29.5; Forma= 4.54
Beta	6.682	Mínimo= -48.6; Máximo= 142.4; Alfa= 100
Normal	6.685	Media= 46.9; Desv est= 6.7
Logarítmico n	6.686	Ubicación= 83411.9; Media= 46.9; Desv est= 6.7

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo el porcentaje de ocurrencias en los rangos de velocidades determinadas son:

Tabla 51

Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para el Martillo 506120

RANGO DE VELOCIDAD (m/hr)	PORCENTAJE DE OCURRENCIA %	CANTIDAD DE DATOS
[19 - 40]	11.4	96
[40 - 60]	86.9	734
[60 - 80]	1.8	15
TOTAL	100%	845

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Mediante la evaluación por medio de crystall ball, tomando en cuenta los datos primordiales de velocidades del Martillo 506120, se estima que la mayor concentración de velocidades se encuentra entre 40 – 60 m/hr reflejándose un 86.9% del total de datos, con los cuales se alcanzó rendimientos ligeramente por debajo del histórico de mina de 47.5 m/h.

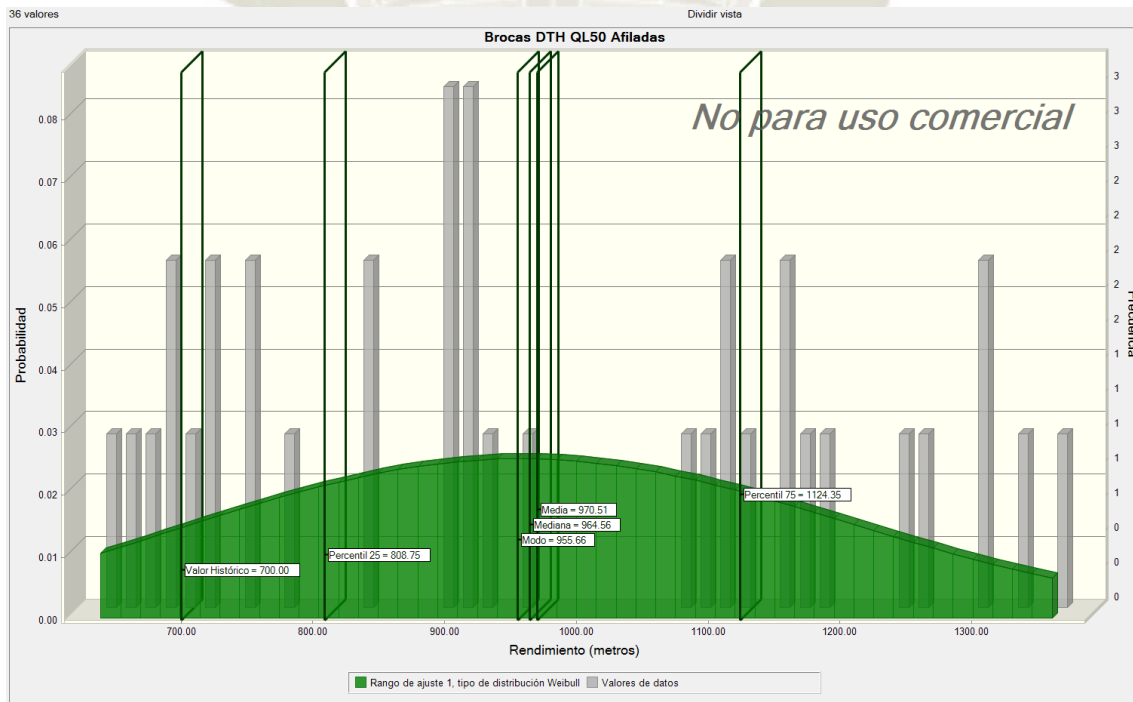
Reajuste de rangos de brocas DTH QL50 y martillos DTH en la mina de oro diseminado del norte del Perú

Reajuste de rangos de brocas DTH QL50

Mediante un reajuste de los rendimientos alcanzados por las Brocas DTH QL50 a un rango de 600 m y 1,370 m se logró reducir la desviación estándar de 291,8 hasta 225,1; valor que reduce la separación entre los rendimientos generando una gráfica de distribución Weibull, la cual está relativamente elevada en la parte central. Adicionalmente, mediante el reajuste la media incrementa de 928,3 m a 970,5 m. De igual forma, curtosis incrementa a 2.7 valor que nos indica que la concentración de los rendimientos respecto a la moda (955,6 m) se hace más alta. Este reajuste favoreció en el incremento del rendimiento de brocas DTH, por ende, se verá reflejado en la reducción del consumo de brocas DTH y reducción de TDC.

Figura 81

Histograma del reajuste de brocas DTH QL50 en una mina de oro diseminado



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 52*Estadísticas de Muestra Única – Brocas DTH QL50*

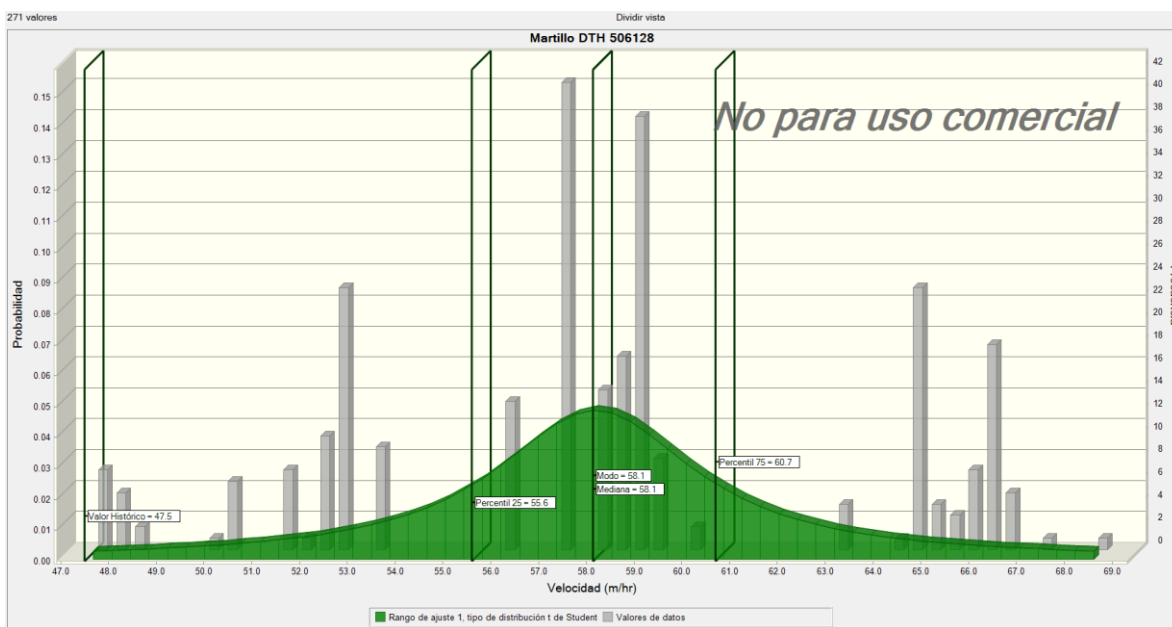
Media	970.5 m
Mediana	964.5 m
Modo	955.6 m
Desviación Estándar	225.1
Curtósis	2.73
Coefficiente de Variación	0.232

Fuente: Elaboración Propia***Reajuste de rangos de los Martillos DTH*****Reajuste de rangos del martillo DTH 506128 – Perforadora 09**

Mediante un reajuste de las velocidades alcanzadas por el martillo DTH 506128 a un rango de 47.5 m/h y 68.8 m/h se logró reducir la desviación estándar de 6,2 hasta 5,1; valor que reduce la separación entre las velocidades logradas generando una gráfica de distribución t de Student, la cual está altamente elevada en la parte central. Adicionalmente, mediante el reajuste la media incrementa de 57,7 m/h a 58,1 m/h. De igual forma, curtósis incrementa a 3.2 valor que nos indica que la concentración de los rendimientos respecto a la moda (57,1 m/h) es alta generando una gráfica leptocúrtica. Este reajuste favoreció en el incremento de la velocidad promedio del martillo 506128, por ende, se verá reflejado en la reducción del TDC.

Figura 82

Histograma del reajuste del martillo DTH 506128 en una mina de oro diseminado



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 53

Estadísticas de Muestra Única – Martillo DTH 506128

Media	58.1 m/h
Mediana	58.1 m/h
Modo	58.1 m/h
Desviación Estándar	5.1
Curtósis	3.2
Coefficiente de Variación	0.088

Fuente: Elaboración Propia

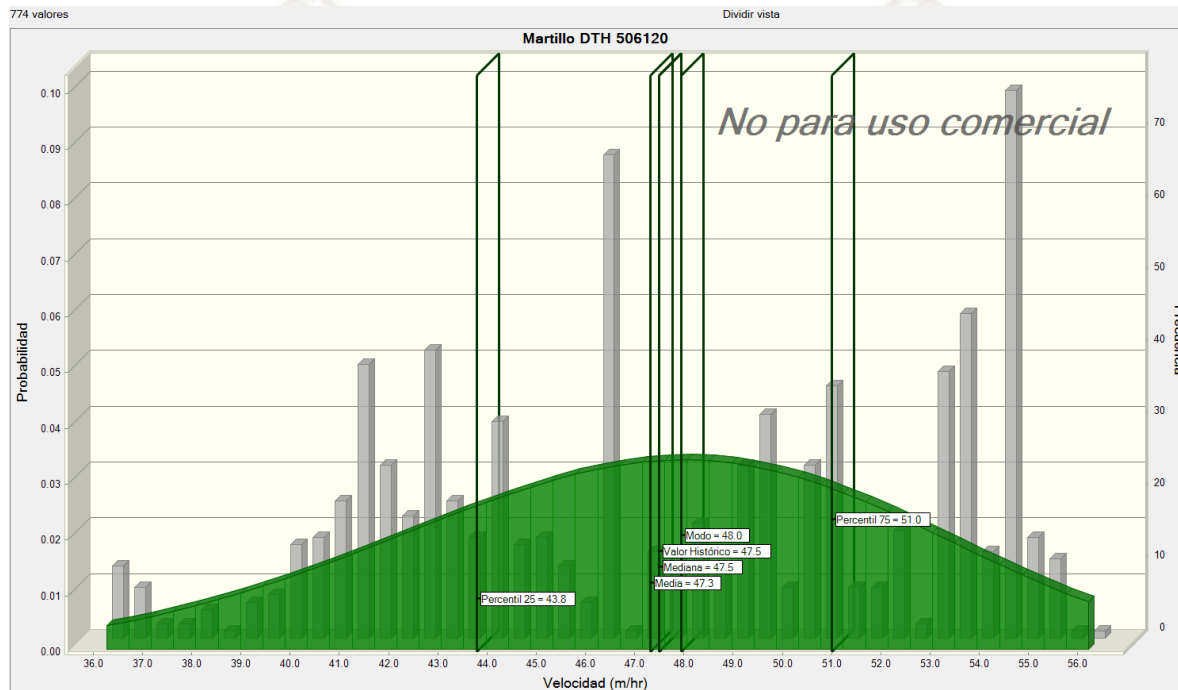
Reajuste de rangos del martillo DTH 506120 – Perforadora 16

Mediante un reajuste de las velocidades alcanzadas por el martillo DTH 506120 a un rango de 36 m/h y 56.4 m/h se logró reducir la desviación estándar de 6,7 hasta 5,2; valor que reduce la separación entre las velocidades logradas generando una gráfica de distribución de Weibull, la cual está relativamente elevada hacia la parte central. Adicionalmente, mediante el reajuste la media incrementa de 46,9 m/h a 47.3 m/h. De igual forma, curtósis reduce a 1.82 valor que nos indica

que la concentración de los rendimientos respecto a la moda (48 m/h) disminuye generando una gráfica ligeramente platicúrtica. Este reajuste favoreció en el incremento de la velocidad promedio del martillo 506120, por ende, se verá reflejado en la reducción del TDC.

Figura 83

Histograma del reajuste del martillo DTH 506120 en una mina de oro diseminado



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 54

Estadísticas de Muestra Única – Martillo DTH 506120

Media	47.3 m/h
Mediana	47.5 m/h
Modo	48 m/h
Desviación Estándar	5.2
Curtosis	1.82
Coefficiente de Variación	0.109

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. Afilado de brocas DTH en una mina de pórfido cuprífero en la afiladora BQ3-DTH

4.1.2.1. Optimización de rendimiento de brocas DTH afiladas.

En el siguiente cuadro, se puede observar que posterior al triple afilado de una broca DTH se incrementa el tiempo de vida a la broca hasta 1,083.83 metros promedio (Anexo 7), el cual se encuentra 44.5% por encima respecto a la vida útil histórica de la broca DTH dada por mina. Inicialmente, se recomienda afilar los insertos cada 264.61 metros perforados aproximadamente con el objetivo de alcanzar el rendimiento óptimo o se dé el caso del desgaste de 1/3 del diámetro del inserto, se consideraría lo que suceda primero.

Tabla 55

Aumento del Metraje Brocas Afiladas

Recorrido promedio por broca antes de afilado	290 m
Después del primer afilado	264.61 m
Después del segundo afilado	264.61 m
Después del tercer afilado	264.61 m
Vida Útil Total Por Broca	1083.83 m
Vida Útil Histórica otorgada por Mina	750.00 m
% Incremento de Rendimiento Broca	44.5 %

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 56 se observa el rendimiento en metros alcanzado por las brocas DTH luego de haber sido afilados tres veces, alcanzando un rendimiento promedio de 1083.83 m. Además, alcanzando un total 26,011.7 metros, respecto que, sin afilarse las brocas se alcanzaría un metraje de 18,000 metros con la misma cantidad de brocas usadas.

Tabla 56

Rendimiento Real de Brocas Afiladas

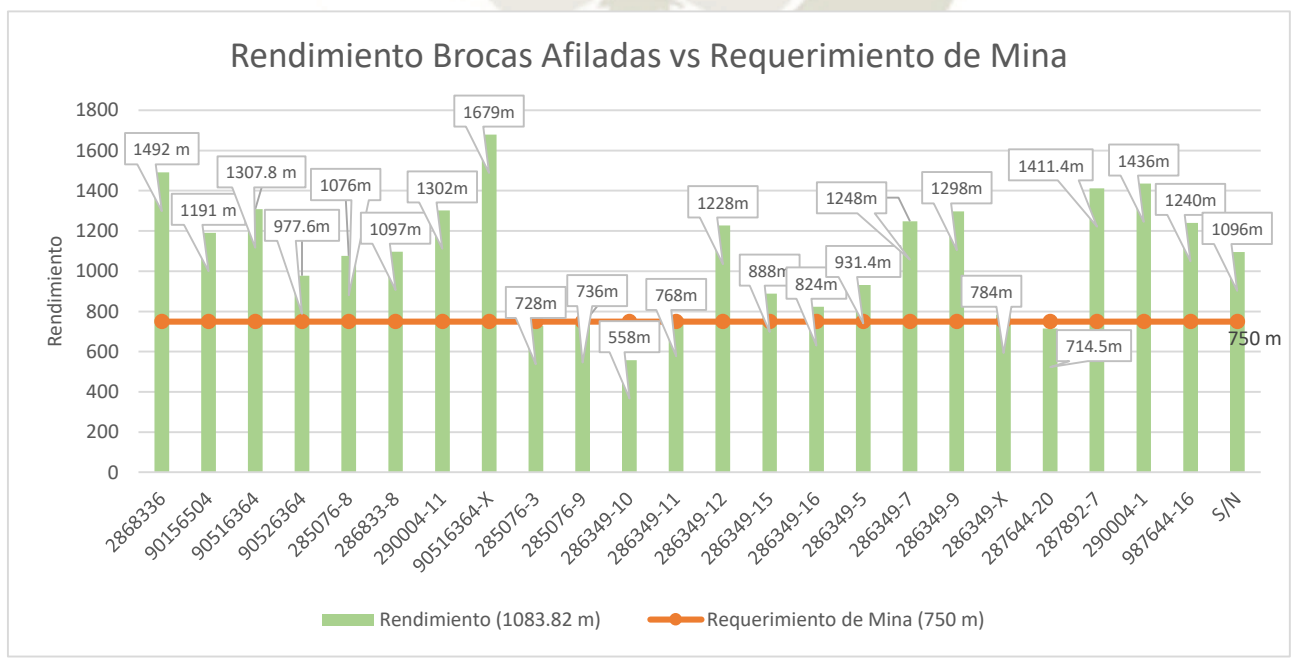
Perforadora	Serie Broca	Diámetro (in)	Metros	Condición	Fecha Ini.	Fecha Fin
TD-11	287644-20	4 ½	714.5	DE BAJA	6/11/2018	7/11/2018
TD-11	90516364	4 15/16	1307.8	DE BAJA	8/11/2018	11/11/2018
TD-11	287892-7	4 15/16	1411.4	DE BAJA	13/11/2018	16/11/2018
TD-11	290004-11	5 1/8	1302	DE BAJA	17/11/2018	19/11/2018

TD-11	90526364	5 1/8	977.6	DE BAJA	21/11/2018	27/11/2018
TD-11	90156504	5 1/8	1191	DE BAJA	1/12/2018	7/12/2018
TD-11	286349-X	4 1/2	784	DE BAJA	9/12/2018	11/12/2018
TD-11	285076-9	4 15/16	736	DE BAJA	11/12/2018	12/12/2018
TD-11	286349-5	4 15/16	931.4	DE BAJA	13/12/2018	21/12/2018
TD-11	286349-9	5 1/8	1298	DE BAJA	21/12/2018	24/12/2018
TD-11	286349-10	4 15/16	558	DE BAJA	29/12/2018	31/12/2018
TD-11	286349-11	5 1/8	768	DE BAJA	1/01/2019	2/01/2019
TD-11	286349-12	4 15/16	1228	DE BAJA	6/01/2019	9/01/2019
TD-11	285076-8	4 15/16	1076	DE BAJA	10/01/2019	14/01/2019
TD-11	286349-15	5 1/8	888	DE BAJA	22/01/2019	28/01/2019
TD-12	2868336	4 15/16	1492	DE BAJA	1/11/2018	4/11/2018
TD-12	290004-1	5 1/8	1436	DE BAJA	15/11/2018	16/11/2018
TD-12	90516364-X	4 15/16	1679	DE BAJA	17/11/2018	20/11/2018
TD-12	286833-8	5 1/8	1097	DE BAJA	21/11/2018	24/11/2018
TD-12	285076-3	4 15/16	728	DE BAJA	26/11/2018	30/11/2018
TD-12	S/N	5 1/8	1096	DE BAJA	4/12/2018	8/12/2018
TD-12	286349-7	5 1/8	1248	DE BAJA	9/12/2018	12/12/2018
TD-12	987644-16	5 1/8	1240	DE BAJA	13/12/2018	17/12/2018
TD-12	286349-16	5 1/8	824	DE BAJA	22/12/2018	24/12/2018
Rendimiento Promedio			1083.8 m			

Fuente: Elaboración Propia

Figura 84

Rendimiento de Brocas Afiladas vs Requerimiento de Mina



Fuente: Elaboración Propia

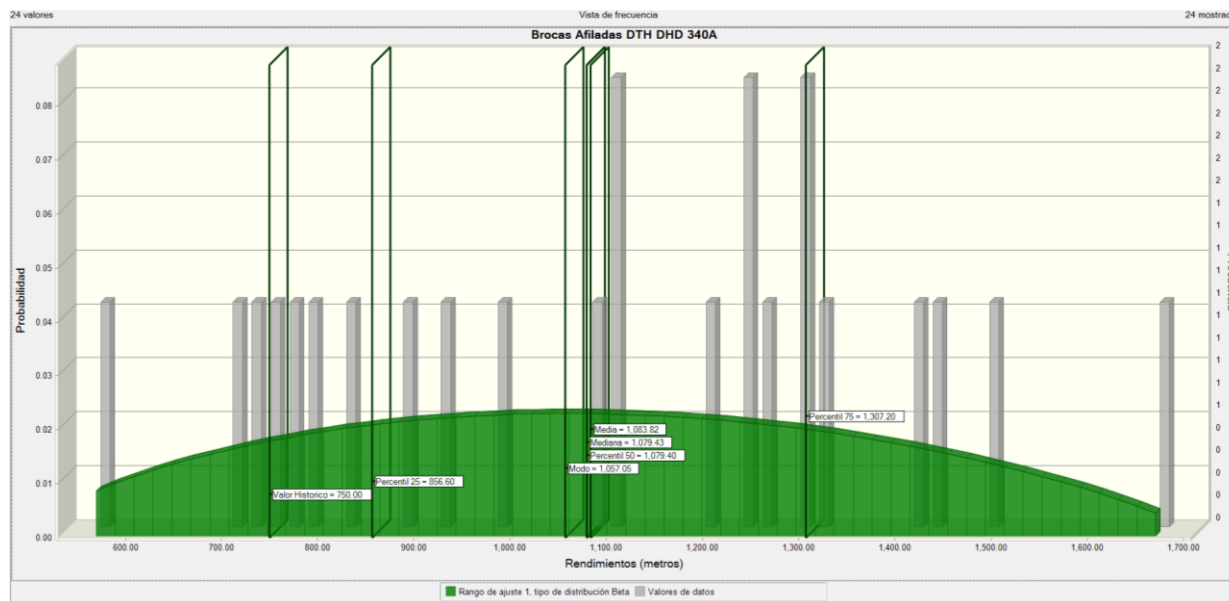
En la Figura 84, se puede observar que la broca de mayor rendimiento es la 9051364-x con 1,679 metros, respecto al rendimiento histórico de 750m; la cual se corrió en el martillo d00909 teniendo una velocidad de 34.6 m/h durante el tiempo de vida de la broca y por encima del histórico de mina (32.8 m/h), demostrando en este caso que mediante el triple afilado de insertos permite alcanzar rendimientos por encima de lo requerido. Además, el 87.5% de brocas utilizadas para la prueba alcanzaron un rendimiento superior a los 750 m de rendimiento histórico de mina.

Análisis estadístico de brocas DTH Afiladas en una mina de pórfido de cobre

Para un mayor alcance y verificar los rendimientos óptimos alcanzados por las brocas afiladas se determinó primero que nuestros valores de rendimiento(metros) son una variable aleatoria continua, ya que resulta de una medición de metrajes y se encuentra dentro de un intervalo entre 558.0 y 1,679.0 metros. Mediante el simulador Crystal Ball se determinó que el tipo de distribución más adecuada es el Método de Distribución Beta dando como resultado el siguiente histograma de evaluación (Fig.85), donde se puede observar que según el percentil 25, menos del 25% de datos se encuentran por debajo del valor histórico de mina (750 metros). Por otro lado, tenemos una gráfica con distribución simétrica donde la media, mediana y moda (1,083.8 metros) son iguales, generando una distribución del 50% por encima e inferior a la media.

Figura 85

Histograma Rendimiento de Brocas DTH Afiladas (mina cobre)



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

En la Tabla 57, debido a la separación de los valores de la muestra tenemos una desviación estándar alta de 286,5. Es decir, el 68% de datos se encuentra entre 797.3 y 1370.3 metros. Adicionalmente, el coeficiente de variación de 0.26 indica que tiene una variabilidad aceptable para el análisis. De igual forma, curtosis nos indica que es una distribución platicúrtica indicando que la concentración de los valores respecto a la moda es baja, por la cantidad de datos y por la separación de los rendimientos de cada broca.

Tabla 57

Estadísticas de Muestra Única de Brocas Afiladas (mina cobre)

Caso Base	558
Media	1,083.82
Mediana	1,079.43
Modo	1,057.05
Desviación Estándar	286.52
Varianza	82,096.2
Curtosis	2.10
Coefficiente de Variación	0.2644

Mínimo	489.03
Máximo	1722.09
Error Estándar Medio	---

Fuente: Elaboración Propia

Aplicando la prueba de muestra única mediante el programa CRYSTALL BALL, se determina que:

Tabla 58

Prueba de Muestra Única de Brocas Afiladas (mina cobre)

Clasificado por: Anderson Darling		
Distribución	A-D	Parámetros
Beta	.2612	Mínimo= 489.03; Máximo= 1,722.09; Alfa= 1.7482
Weibull	.2918	Ubicación= 188.6; Escala= 1,002.8; Forma= 3.39

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo el porcentaje de ocurrencias en los rangos de rendimientos (m) determinadas son:

Tabla 59

Rango de Metrajes y Porcentaje de Ocurrencias para Rendimiento de Brocas (mina cobre)

RANGO DE METRAJE (m)	PORCENTAJE DE OCURRENCIA %	CANTIDAD DE DATOS
[500 - 700]	4.2	1
[700 - 900]	29.2	7
[900 - 1100]	20.8	5
[1100 - 1300]	20.8	5
[1300 - 1500]	20.8	5
[1500 - 1700]	4.2	1
TOTAL	100%	24

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Mediante la evaluación por medio de crystall ball, tomando en cuenta los datos primordiales de rendimientos de brocas afiladas, se estima que la mayor concentración de rendimiento de brocas afiladas se encuentra entre 900 – 1500 m reflejándose un 62.4% del total de datos, con los cuales se alcanzó rendimientos promedio por encima de los 750 metros históricos de mina.

4.1.2.2. Reducción de Costos Anuales.

Previo a realizar el proyecto de afilado de brocas DTH se presentó a mina una propuesta técnico económica (Anexo 15) para poder llevar a cabo estas pruebas, donde se estimó la reducción de costo total anual de metros perforados. Por lo cual, antes de calcular la reducción de costos anuales, es necesario calcular el costo que va a tener el afilado de brocas sobre el TDC. Por lo cual, el costo beneficio es mínimo:

Tabla 60

Muelas de Afilado y Devastadora Usadas (mina Cobre)

	Cantidad	Nro de Veces Afilado por Broca	Total Brocas Afiladas	Total afilado	Brocas Afiladas por Muela de Afilado
Muela de afilado de 16 mm	4	3	16	48	4
Muela de afilado de 13 mm	2	3	24	72	12
Devastadora	3	3	24		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 61

Cálculo de Costo Beneficio

Cantidad brocas	24		
Metros por afilado	793.83		
Copas de Afilado	Costo (usd)	Cantidad	
Diamond grinding 16 mm	190	4	
Diamond grinding 13 mm	190	2	
Devastadora	100	3	

Costo Total de Diamond Grinding (Usd)	1440
Metros Obtenidos por Servicio Afilado (m)	19051.92
Costo Beneficio (Usd/m)	0.08

Fuente: Elaboración Propia

A partir del afilado de brocas DTH se logrará un ahorro de 50,031.67 dólares anuales en el costo total de metros perforados, así como la cantidad de brocas a consumir será de 54 brocas menor al consumo de brocas sin afilado.

Tabla 62

Ahorro Anual a partir de Afilado de Brocas DTH (mina cobre)

TDC Con Afilado de Brocas	
$TDC = \frac{(PRECIO\ MARTILLO)}{(REND.\ MARTILLO)} + \frac{(PRECIO\ BROCA)}{(RENDIMIENTO\ DE\ BROCA)} + \frac{COSTO\ EQUIPO}{VELOCIDAD}$	
Martillo B (USD)	\$4,350
Vida útil (mts)	4580.07 m
Costo Broca B (USD)	\$850
Vida útil (mts)	1083.82 m
Costo Operativo	\$230
Velocidad de Penetración Mts Hora	33.11 m/h
TDC (TOTAL DRILLING COST)	8.68 \$/m
COSTO AFILADO	0.08 \$/m
TCD TOTAL	8.76 \$/m
Perforacion Mensual (mts)	11,025.9
Perforacion Anual (mts)	132,310.2
Costo Total de Metros Perforados	\$1,158,511.50
Brocas Requeridas (Año)	122
Ahorro Anual (Usd)	\$50,031.67

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 63

TDC sin Afilado de Brocas DTH (mina cobre)

TDC Sin Afilado de Brocas	
$TDC = \frac{(PRECIO\ MARTILLO)}{(REND.\ MARTILLO)} + \frac{(PRECIO\ BROCA)}{(RENDIMIENTO\ DE\ BROCA)} + \frac{COSTO\ EQUIPO}{VELOCIDAD}$	
Martillo B (USD)	\$4,350
Vida útil (mts)	4400.00 m
Costo Broca B (USD)	\$850
Vida útil (mts)	750.00 m

Costo Operativo	\$230
Velocidad de Penetración Mts Hora	32.80 m/h
TDC (TOTAL DRILLING COST)	9.13 \$/m
COSTO AFILADO	0.00 \$/m
TCD TOTAL	9.13 \$/m
Perforacion Mensual (mts)	11,025.9
Perforacion Anual (mts)	132,310.2
Costo Total de Metros Perforados	\$1,208,543.17
Brocas Requeridas (Año)	176

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.3. Optimización de la velocidad de los martillos DTH.

El afilado de brocas DTH permite que la velocidad promedio de cada martillo (Anexo 8) se mantenga en más de un 1% por encima de la velocidad histórica alcanzada en la mina.

Tabla 64

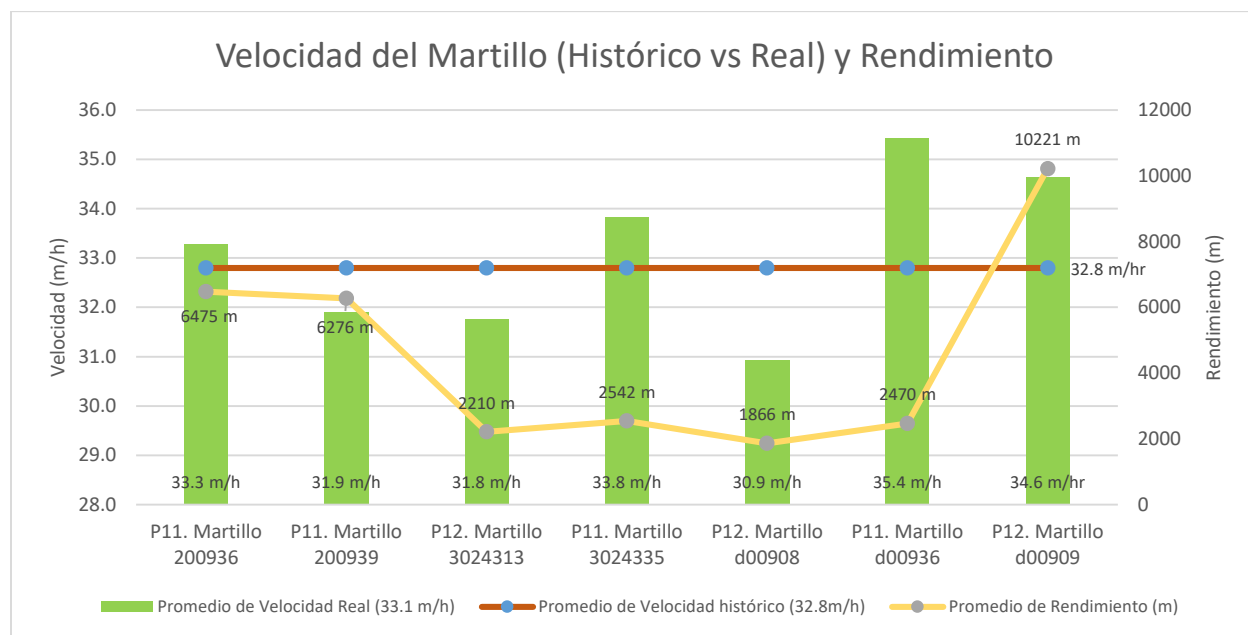
Velocidad y Rendimiento de Martillos

Martillo	Velocidad Tarjet (m/hr)	Velocidad Real (m/hr)	Rendimiento (m)
martillo 200939 (11)	32.8	31.91	6276.30
martillo 200936 (11)	32.8	33.28	6475.40
martillo 3024335 (11)	32.8	33.82	2542.00
martillo d00936 (11)	32.8	35.44	2470.00
martillo d00908 (12)	32.8	30.94	1866.00
martillo 3024313 (12)	32.8	31.77	2210.00
martillo D00909 (12)	32.8	34.63	10220.80
Promedio	32.8	33.11	4580.07

Fuente: Elaboración Propia

Figura 86

Velocidad y Rendimiento de Martillos DTH



Fuente: Elaboración Propia

La velocidad promedio real de los martillos de 33.11 m/h se encuentra 1% encima de la velocidad histórica (32.8 m/h). Demostrando que a partir de un triple afilado la velocidad del martillo se mantiene en una velocidad superior, favoreciendo la disminución del TDC de 9.13 USD/m a 8.76 USD/m. No obstante, algunos martillos no superaron el histórico de mina.

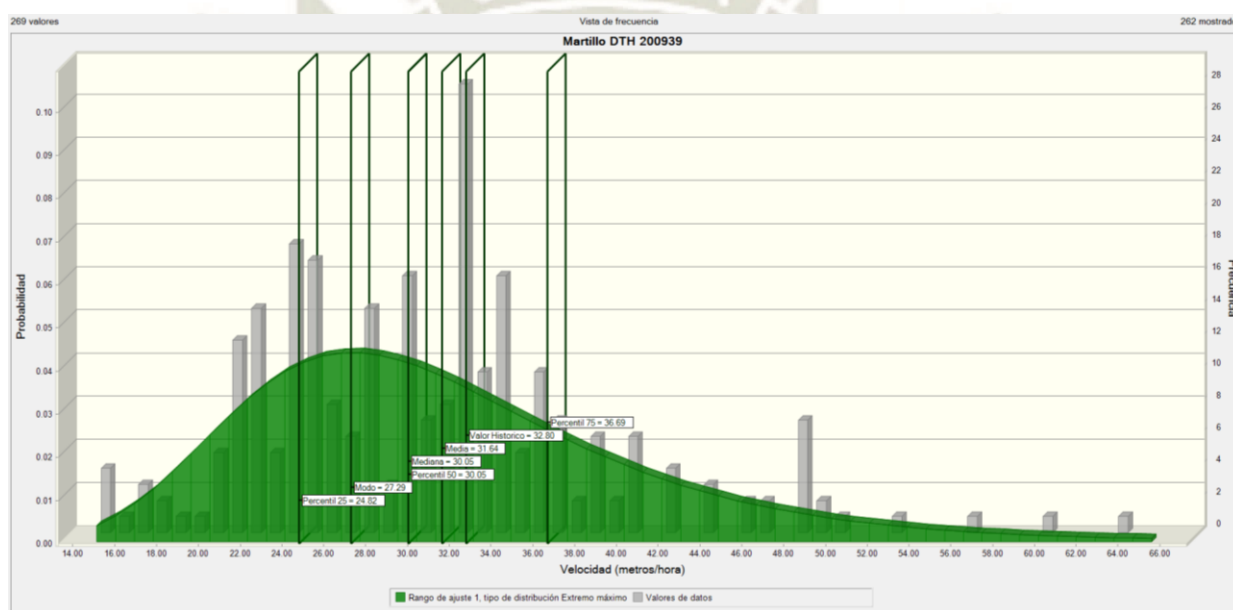
Análisis estadístico del Martillo DTH 200939 en una mina de pórfido de cobre

Para un mayor alcance y verificar las velocidades alcanzadas por el martillo DTH 200939 se determinó primero que nuestros valores de velocidad son una variable aleatoria continua, ya que resulta de una medición y se encuentra dentro de un intervalo de 14.6 hasta 116.5 m/hr. Mediante el simulador Crystal Ball se determinó que el tipo de distribución más adecuada es el Método de Distribución Extremo Máximo dando como resultado el siguiente histograma de evaluación (Fig.87), donde se puede observar que según el percentil 50, más del 50% de datos se

encuentran por debajo del valor histórico de 32.8 m/hr. Además, la gráfica nos muestra una media de 31.6 m/hr, la cual está ligeramente por debajo del valor requerido por mina. Por último, tenemos una distribución sesgada hacia la derecha significando que hay valores extremos muy altos, pero de baja frecuencia, siendo el mayor de 116.4 m/hr. Donde la media es mayor que la mediana y la moda, es por eso que la mayor concentración de datos se da por debajo de la media.

Figura 87

Histograma del Martillo DTH 200939 - Perforadora 11



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 65

Estadísticas de Muestra Única - Martillo 200939

Caso Base	14.6
Media	31.6
Mediana	30.1
Modo	27.3
Desviación Estándar	9.7
Varianza	93.8
Curtosis	5.40
Coefficiente de Variación	0.3060
Mínimo	-∞

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 65, debido a la relativa proximidad de valores tenemos una desviación estándar moderada cuyo valor es de 9,7. Es decir, el 68% de datos se encuentran entre 22.2 y 41.6 m/hr. Adicionalmente, el coeficiente de variación de 0.3 indica que tiene una variabilidad moderada otorgándole una estabilidad moderada al análisis. De igual forma curtosis nos indica que es una distribución leptocúrtica indicando que la concentración de los valores respecto a la moda es alta.

Aplicando la prueba de muestra única mediante el programa CRYSTALL BALL, se determina que:

Tabla 66

Prueba de Muestra Única - Martillo 200939

Clasificado por: Anderson Darling		
Distribución	A-D	Parámetros
Extremo máximo	1.5605	Más probable= 27.3; Escala= 7.5
Logarítmico normal	1.7486	Ubicación= 9.2; Media= 31.8
Gamma	2.7989	Ubicación= 13.2; Escala= 5.8; Forma= 3.22
Logística	4.2243	Media = 30.4; Escala= 5.6

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo el porcentaje de ocurrencias en los rangos de velocidades determinadas son:

Tabla 67

Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para el Martillo 200939

RANGO DE VELOCIDAD (m/hr)	PORCENTAJE DE OCURRENCIA %	CANTIDAD DE DATOS
[10 - 20]	4.5	12
[20 - 30]	43.9	118
[30 - 40]	37.5	101
[40 - 50]	9.7	26
[50 - 60]	1.1	3
[60 - 70]	1.5	4
[70 - 80]	1.1	3
[80 - mas]	0.7	2
TOTAL	100	269

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

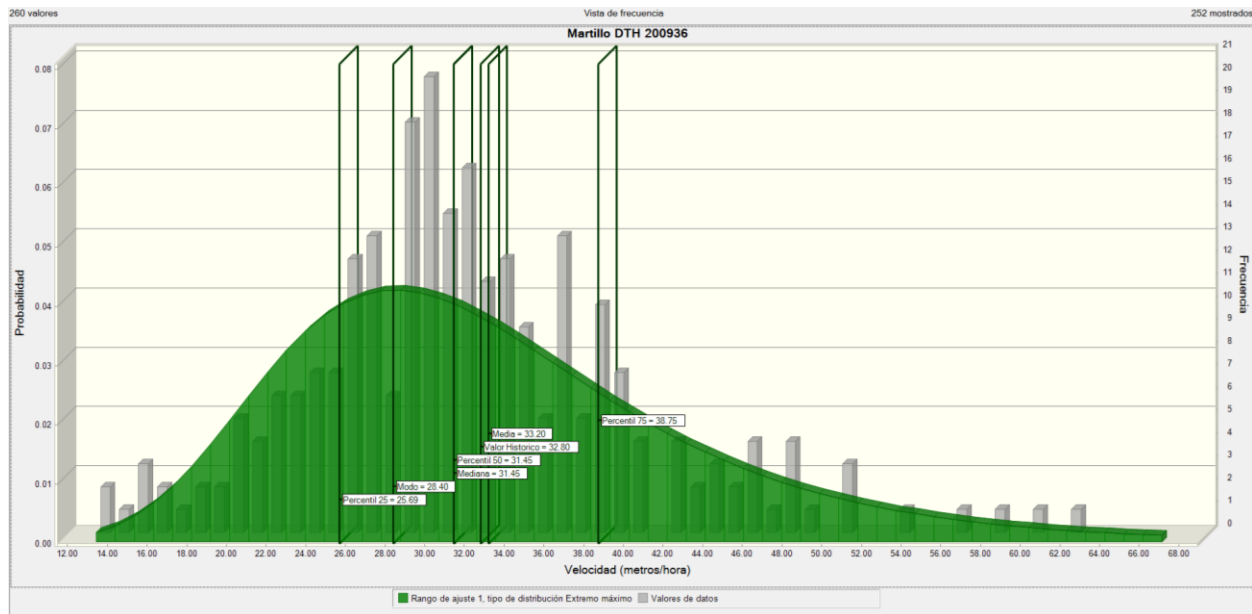
Mediante la evaluación por medio de crystall ball, tomando en cuenta los datos primordiales de velocidades del Martillo 200939, se estima que la mayor concentración de velocidades se encuentra entre 20 - 40 m/hr reflejándose un 81.4% del total de datos. No obstante, no se alcanzó el rendimiento histórico de mina de 32.8 m/h.

Análisis estadístico del Martillo DTH 200936 en una mina de pórfido de cobre

Para un mayor alcance y verificar las velocidades alcanzadas por el martillo DTH 200936 se determinó primero que nuestros valores de velocidad son una variable aleatoria continua, ya que resulta de una medición y se encuentra dentro de un intervalo de 12.8 hasta 96 m/hr. Mediante el simulador Crystal Ball se determinó que el tipo de distribución más adecuada es el Método de Distribución Extremo Máximo dando como resultado el siguiente histograma de evaluación (Fig.88), donde se puede observar que según el percentil 50, poco menos del 50% de datos se encuentran por debajo del valor histórico de 32.8 m/hr. Además, la gráfica nos muestra una media de 33.2 m/hr, la cual está por encima del valor requerido por mina. Por último, tenemos una distribución sesgada hacia la derecha significando que hay valores extremos muy altos, pero de baja frecuencia siendo el mayor rendimiento de 96 m/hr. De igual forma, la moda es menor que la mediana y la media, significando que la mayor concentración de datos está por debajo de la media.

Figura 88

Histograma del Martillo DTH 200936 - Perforadora 11



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 68

Estadísticas de Muestra Única – Martillo 200936

Caso Base	12.86
Media	33.20
Mediana	31.45
Modo	28.4
Desviación Estándar	10.65
Varianza	113.53
Curtosis	5.4
Coefficiente de Variación	0.3210
Mínimo	-∞
Máximo	∞
Error Estándar Medio	---

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 68, debido a la relativa proximidad de valores tenemos una desviación estándar moderada cuyo valor es de 10,6. Es decir, el 68% de datos se encuentra entre 22.7 y 43.8 m/hr. Adicionalmente, el coeficiente de variación de 0.32 indica que tiene una variabilidad moderada

otorgándole una estabilidad moderada al análisis, de igual forma curtosis nos indica que es una distribución leptocúrtica indicando que la concentración de los valores respecto a la moda es alta.

Aplicando la prueba de muestra única mediante el programa CRYSTALL BALL, se determina que:

Tabla 69

Prueba de Muestra Única - Martillo 200936

Clasificado por: Anderson Darling		
Distribución	A-D	Parámetros
Extremo máximo	2.5703	Más probable= 28.4; Escala= 8.31
Logarítmico normal	3.0758	Ubicación= 4.22; Media= 33.2
Gamma	4.0741	Ubicación= 9.84; Escala= 5.11; Forma= 4.58
Logística	4.0790	Media = 31.84; Escala= 5.77

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo el porcentaje de ocurrencias en los rangos de velocidades determinadas son:

Tabla 70

Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para el Martillo 200936

RANGO DE VELOCIDAD (m/hr)	PORCENTAJE DE OCURRENCIA %	CANTIDAD DE DATOS
[10 - 20]	5.0	13
[20 - 30]	36.5	95
[30 - 40]	42.7	111
[40 - 50]	9.6	25
[50 - 60]	2.3	6
[60 - 70]	0.8	2
[70 - 80]	1.2	3
[80 - 90]	0.8	2
[90 - 100]	1.2	3
TOTAL	100	260

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Mediante la evaluación por medio de crystall ball, tomando en cuenta los datos primordiales de velocidades del Martillo 200936, se estima que la mayor concentración de

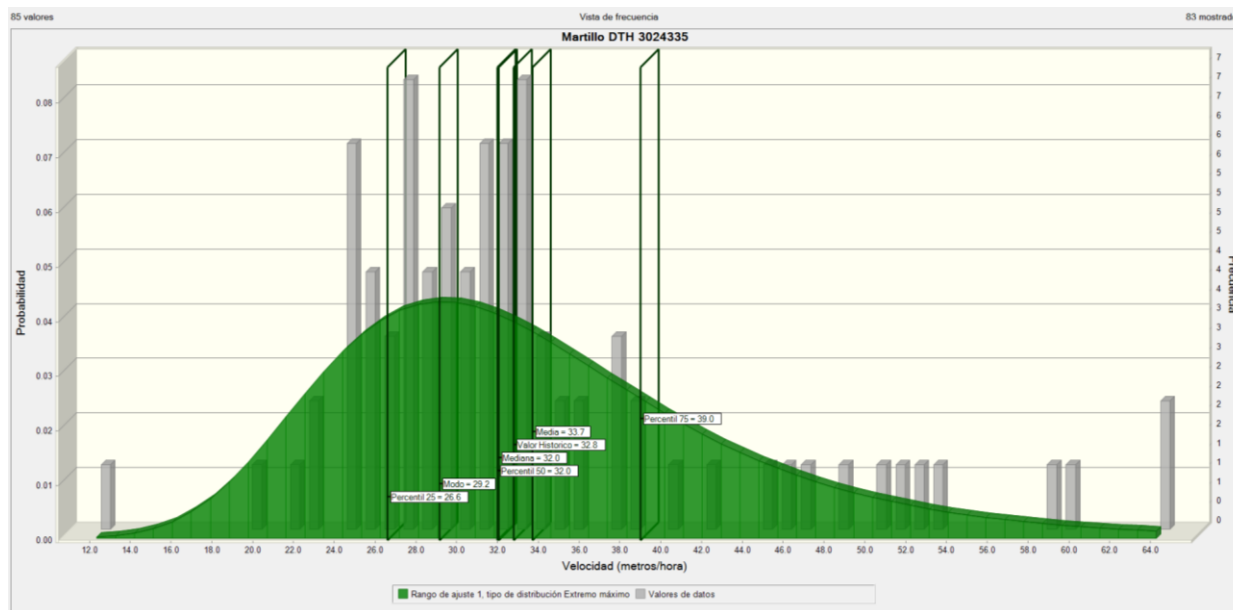
velocidades se encuentra entre 20 - 40 m/hr reflejándose un 79.2% del total de datos, con los cuales se alcanzó rendimientos promedio por encima del histórico de mina de 32.8 m/h.

Análisis estadístico del Martillo DTH 3024335 en una mina de pórfido de cobre

Para un mayor alcance y verificar las velocidades alcanzadas por el martillo DTH 3024335 se determinó primero que nuestros valores de velocidad de penetración son una variable aleatoria continua, ya que resulta de una medición y se encuentra dentro de un intervalo de 11.8 hasta 66.2 m/hr. Mediante el simulador Crystal Ball se determinó que el tipo de distribución más adecuada es el Método de Distribución Extremo Máximo dando como resultado el siguiente histograma de evaluación (Fig.89), donde se puede observar que según el percentil 50, poco más del 50% de los datos se encuentran por debajo del valor histórico de mina (32.8 m/hr). Además, la gráfica nos muestra una media de 33.7 m/hr la cual está por encima del valor requerido por mina. Por último, tenemos una distribución sesgada hacia la derecha significando que hay valores muy altos, pero de baja frecuencia siendo el mayor rendimiento de 66.2 m/hr. De igual forma, la moda es menor que la mediana y la media, significando que la mayor concentración de datos está por debajo de la media.

Figura 89

Histograma del Martillo DTH 3024335



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 71

Estadísticas de Muestra Única - Martillo 3024335

Caso Base	11.8
Media	33.7
Mediana	32.0
Modo	29.2
Desviación Estándar	10.1
Varianza	101.9
Curtosis	5.4
Coefficiente de Variación	0.2995
Mínimo	$-\infty$
Máximo	∞
Error Estándar Medio	---

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 71, debido a la relativa proximidad de valores tenemos una desviación estándar moderada cuyo valor es de 10,1. Es decir, el 68% de datos se encuentra entre 23.7 y 43.9 m/hr. Adicionalmente, el coeficiente de variación de 0.29 indica que tiene una variabilidad moderada

otorgándole una estabilidad moderada al análisis. De igual forma curtosis nos indica que es una distribución leptocúrtica indicando que la concentración de los valores respecto a la moda es alta.

Aplicando la prueba de muestra única mediante el programa CRYSTALL BALL, se determina que:

Tabla 72

Prueba de Muestra Unica - Martillo 3024335

Clasificado por: Anderson Darling		
Distribución	A-D	Parámetros
Extremo máximo	1.7178	Más probable= 29.2; Escala= 7.9
Logarítmico normal	2.0180	Ubicación= 2.9; Media= 33.8
Gamma	2.5137	Ubicación= 7.4; Escala= 4; Forma= 6.67
Logística	3.3169	Media = 32.2; Escala= 5.8

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo el porcentaje de ocurrencias en los rangos de velocidades determinadas son:

Tabla 73

Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para Martillo 3024335

RANGO DE VELOCIDAD (m/hr)	PORCENTAJE DE OCURRENCIA %	CANTIDAD DE DATOS
[10 - 20]	2.4	2
[20 - 30]	38.8	33
[30 - 40]	40.0	34
[40 - 50]	7.1	6
[50 - 60]	5.9	5
[60 - 70]	5.9	5
TOTAL	100	85

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Mediante la evaluación por medio de crystall ball, tomando en cuenta los datos primordiales de velocidades del Martillo 3024335, se estima que la mayor concentración de

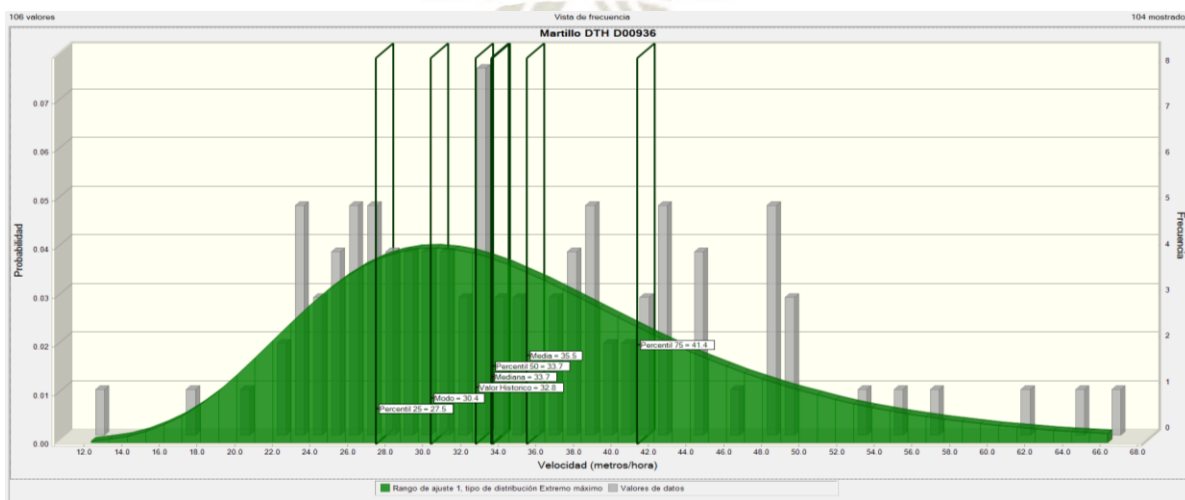
velocidades se encuentra entre 20 - 40 m/hr reflejándose un 78.8% del total de datos, con los cuales se alcanzó rendimientos promedio por encima del histórico de mina de 32.8 m/h.

Análisis estadístico del Martillo DTH D00936 en una mina de pórfido de cobre

Para un mayor alcance y verificar las velocidades alcanzadas por el martillo DTH D00936 se determinó primero que nuestros valores de velocidad son una variable aleatoria continua, ya que resulta de una medición y se encuentra dentro de un intervalo de 11.8 hasta 73.8 m/hr. Mediante el simulador Crystal Ball se determinó que el tipo de distribución más adecuada es el Método de Distribución Extremo Máximo dando como resultado el siguiente histograma de evaluación (Fig.90), donde se puede observar que según el percentil 50, menos del 50% de datos se encuentra por debajo del valor histórico de 32.8 m/hr. Además, la gráfica nos muestra una media de 35.5 m/hr, la cual está por encima del valor requerido por mina. Por último, tenemos una distribución sesgada hacia la derecha significando que hay valores extremos elevados, pero de baja frecuencia siendo el mayor rendimiento de 73.8 m/hr. De igual forma, la moda es menor que la mediana y la media, significando que la mayor concentración de datos está por debajo de la media.

Figura 90

Histograma del Martillo DTH D00936 - Perforadora 11



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 74

Estadísticas de Muestra Única - Martillo D00936

Caso Base	11.8
Media	35.5
Mediana	33.7
Modo	30.4
Desviación Estándar	11.4
Varianza	129
Curtosis	5.4
Coefficiente de Variación	0.3198
Mínimo	$-\infty$
Máximo	∞
Error Estándar Medio	---

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 74, debido a la relativa proximidad de valores tenemos una desviación estándar moderada cuyo valor es de 11,4. Es decir, el 68% de datos se encuentra entre 24.2 y 46.6 m/hora. Adicionalmente, el coeficiente de variación de 0.31 indica que tiene una variabilidad moderada otorgándole una estabilidad moderada al análisis. De igual forma, curtosis nos indica que es una distribución leptocúrtica indicando que la concentración de los valores respecto a la moda es alta.

Aplicando la prueba de muestra única mediante el programa CRYSTALL BALL, se determina que:

Tabla 75

Prueba de Muestra Única - Martillo D00936

<i>Clasificado por: Anderson Darling</i>		
Distribución	A-D	Parámetros
Extremo máximo	.2687	Más probable= 30.4; Escala= 8.9
Logarítmico normal	.3328	Ubicación= 0.0; Media= 35.4
Gamma	.4842	Ubicación= 5.4; Escala= 3.9; Forma= 7.6832
Beta	.6822	Mínimo= 16.7; Máximo= 214.4; Alfa= 2.46

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo el porcentaje de ocurrencias en los rangos de velocidades determinadas son:

Tabla 76

Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para Martillo D00936

RANGO DE VELOCIDAD (m/hr)	PORCENTAJE DE OCURRENCIA %	CANTIDAD DE DATOS
[10 - 20]	2.8	3
[20 - 30]	32.1	34
[30 - 40]	35.8	38
[40 - 50]	21.7	23
[50 - 60]	2.8	3
[60 - 70]	3.8	4
[70 - 75]	0.9	1
TOTAL	100	106

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Mediante la evaluación por medio de crystall ball, tomando en cuenta los datos primordiales de velocidades del Martillo D00936, se estima que la mayor concentración de velocidades se encuentra entre 20 - 50 m/hr reflejándose un 89.6% del total de datos, con los cuales se alcanzaron rendimientos promedio por encima del histórico de mina de 32.8 m/h.

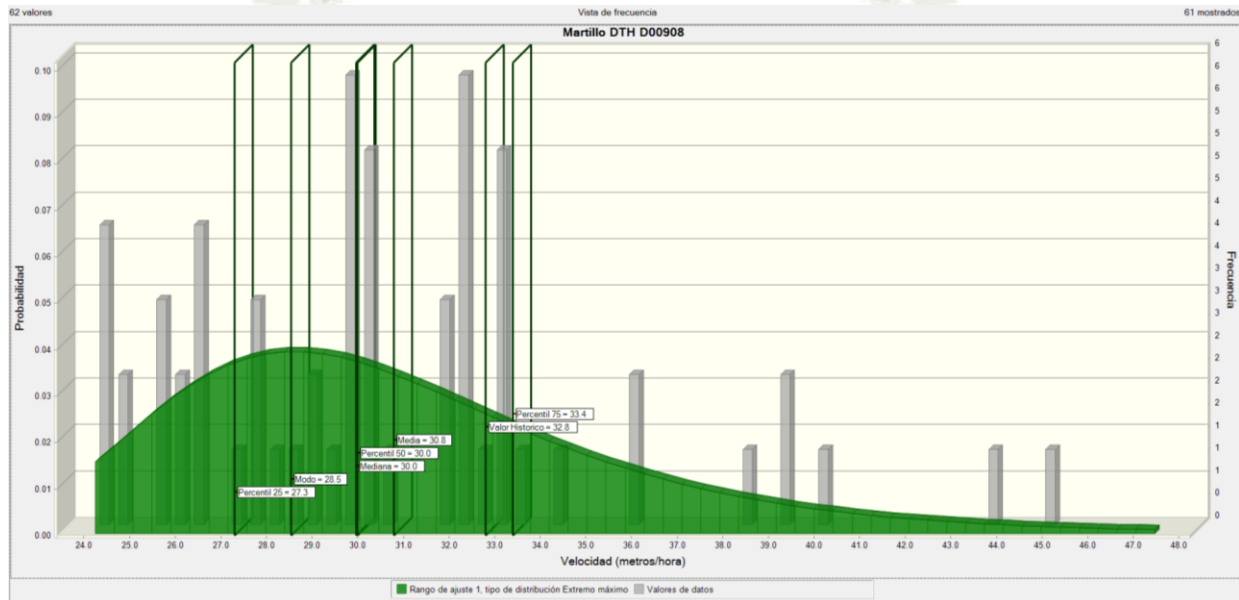
Análisis estadístico del martillo DTH D00908 en una mina de pórfido de cobre

Para un mayor alcance y verificar las velocidades alcanzadas por el martillo DTH D00908 se determinó primero que nuestros valores de velocidad son una variable aleatoria continua, ya que resulta de una medición y se encuentra dentro de un intervalo de 24.0 hasta 60.0 m/hr. Mediante el simulador Crystal Ball se determinó que el tipo de distribución más adecuada es el Método de Distribución Extremo Máximo dando como resultado el siguiente histograma de evaluación (Fig.91), donde se puede observar que según el percentil 75, poco menos del 75% de datos se encuentran por debajo del valor histórico de 32.8 m/hr. Además, la gráfica nos muestra una media de 30.8, la cual está por debajo del valor requerido por mina, significando que no tuvo un buen performance. Por último, tenemos una distribución sesgada hacia la derecha significando

que hay valores extremos altos, pero de baja frecuencia siendo el mayor rendimiento de 60m/hr. De igual forma, la moda es menor que la mediana y la media, significando que la mayor concentración de datos está por debajo de la media.

Figura 91

Histograma del Martillo DTH D00908 - Perforadora 12



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 77

Estadísticas de Muestra Única - Martillo D00908

Caso Base	25.7
Media	30.8
Mediana	30.0
Modo	28.5
Desviación Estándar	5.0
Varianza	24.9
Curtosis	5.4
Coefficiente de Variación	0.1620
Mínimo	$-\infty$
Máximo	∞
Error Estándar Medio	---

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 74, debido a la relativa proximidad de valores tenemos una desviación estándar moderada cuyo valor es de 5,0. Es decir, el 68% de datos se encuentra entre 25.9 y 35.9 m/hr. Adicionalmente, el coeficiente de variación de 0.16 indica que tiene una variabilidad baja otorgándole una estabilidad alta al análisis, de igual forma curtosis nos indica que es una distribución leptocúrtica indicando que la concentración de los valores respecto a la moda es alta.

Aplicando la prueba de muestra única mediante el programa CRYSTALL BALL, se determina que:

Tabla 78

Prueba de Muestra Única - Martillo D00908

Clasificado por: Anderson Darling		
Distribución	A-D	Parámetros
Extremo máximo	.4760	Más probable= 28.5; Escala= 3.9
Logarítmico normal	.5545	Ubicación= 21.2; Media= 31
Gamma	.9276	Ubicación= 23.7; Escala= 5; Forma= 1,433
Weibull	.9656	Ubicación= 23.9; Escala= 7.6; Forma= 1,209

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo el porcentaje de ocurrencias en los rangos de velocidades determinadas son:

Tabla 79

Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para Martillo D00908

RANGO DE VELOCIDAD (m/hr)	PORCENTAJE DE OCURRENCIA %	CANTIDAD DE DATOS
[20 - 30]	48.4	30
[30 - 40]	45.2	28
[40 - 50]	4.8	3
[50 - 60]	1.6	1
TOTAL	100	62

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Mediante la evaluación por medio de crystall ball, tomando en cuenta los datos primordiales de velocidades del Martillo D00908, se estima que la mayor concentración de

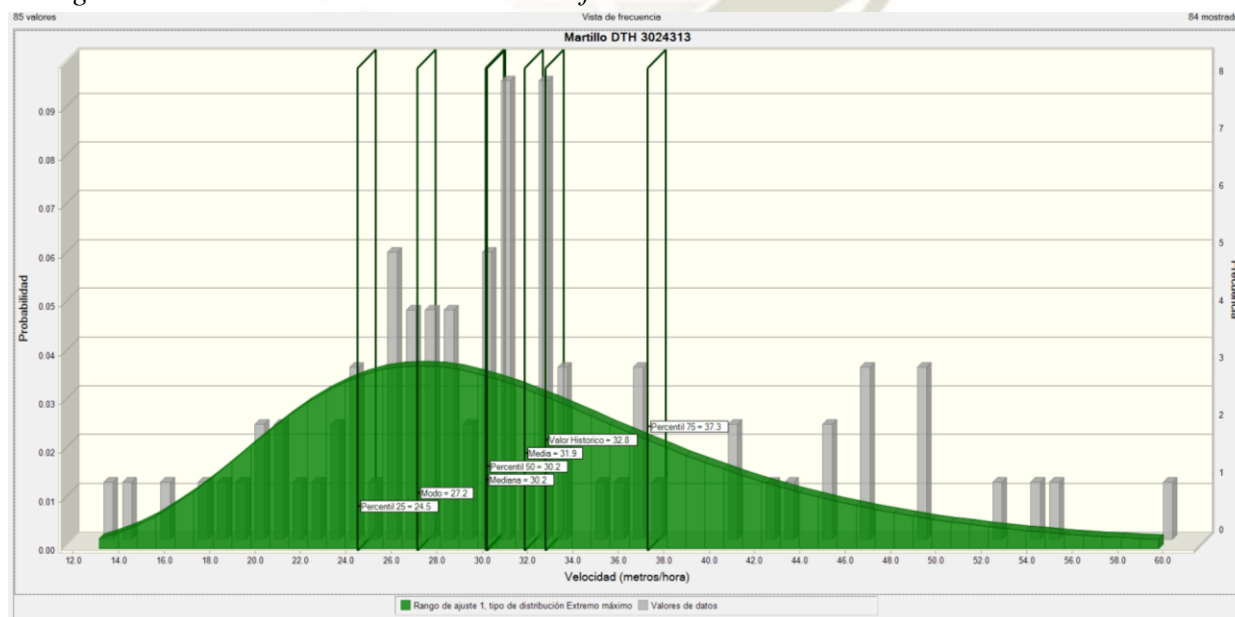
velocidades se encuentra entre 20 - 40 m/hr reflejándose un 93.6% del total de datos. No obstante, se obtuvo un promedio por debajo del histórico de mina.

Análisis estadístico del Martillo DTH 3024313 en una mina de pórfido de cobre

Para un mayor alcance y verificar las velocidades alcanzadas por el martillo DTH 3024313 se determinó primero que nuestros valores de velocidad son una variable aleatoria continua, ya que resulta de una medición y se encuentra dentro de un intervalo de 12.6 hasta 61.8 m/hr. Mediante el simulador Crystal Ball se determinó que el tipo de distribución más adecuada es el Método de Distribución Extremo Máximo dando como resultado el siguiente histograma de evaluación (Fig.92), donde se puede observar que según el percentil 50, más del 50% se encuentran por debajo del valor histórico de 32.8 m/hr. Además, la gráfica nos muestra que media de 31.9 m/hr se encuentra por debajo del valor requerido por mina. Por último, tenemos una gráfica sesgada hacia la derecha significando que hay valores extremos altos, pero de baja frecuencia, datos que no ayudaron a superar el valor histórico.

Figura 92

Histograma del Martillo DTH 3024313 - Perforadora 12



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 80

Estadísticas de Muestra Única - Martillo 3024313

Caso Base	12.6
Media	31.9
Mediana	30.2
Modo	27.2
Desviación Estándar	10.5
Varianza	109.8
Curtosis	5.4
Coefficiente de Variación	0.3287
Mínimo	$-\infty$
Máximo	∞
Error Estándar Medio	---

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 80, debido a la relativa proximidad de valores tenemos una desviación estándar moderada cuyo valor es de 10,5. Es decir, el 68% de datos se encuentran entre 21.6 y 41.9 m/hr. Adicionalmente, el coeficiente de variación de 0.32 indica que tiene una variabilidad moderada otorgándole una estabilidad moderada al análisis. De igual forma, curtosis nos indica que es una distribución leptocúrtica indicando que la concentración de los valores respecto a la moda es alta.

Aplicando la prueba de muestra única mediante el programa CRYSTALL BALL, se determina que:

Tabla 81

Prueba de Muestra Única - Martillo 3024313

<i>Clasificado por: Anderson Darling</i>		
Distribución	A-D	Parámetros
Extremo máximo	.7118	Más probable= 27.2; Escala= 8.2
Logarítmico normal	.7621	Ubicación= 0.0; Media= 31.8
Gamma	.8671	Ubicación= 5.6; Escala= 3.8; Forma= 6.9
Logística	1.4413	Media = 30.9; Escala= 5.6

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo el porcentaje de ocurrencias en los rangos de velocidades determinadas son:

Tabla 82

Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para Martillo 3024313

RANGO DE VELOCIDAD (m/hr)	PORCENTAJE DE OCURRENCIA %	CANTIDAD DE DATOS
[10 - 20]	8.2	7
[20 - 30]	36.5	31
[30 - 40]	35.3	30
[40 - 50]	14.1	12
[50 - 60]	3.5	3
[60 - 65]	2.4	2
TOTAL	100	85

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Mediante la evaluación por medio de crystall ball, tomando en cuenta los datos primordiales de velocidades del Martillo 3024313, se estima que la mayor concentración de velocidades se encuentra entre 20 - 40 m/hr reflejándose un 71.8% del total de datos. No obstante, no se alcanzaron rendimientos por encima del histórico de mina de 32.8 m/h.

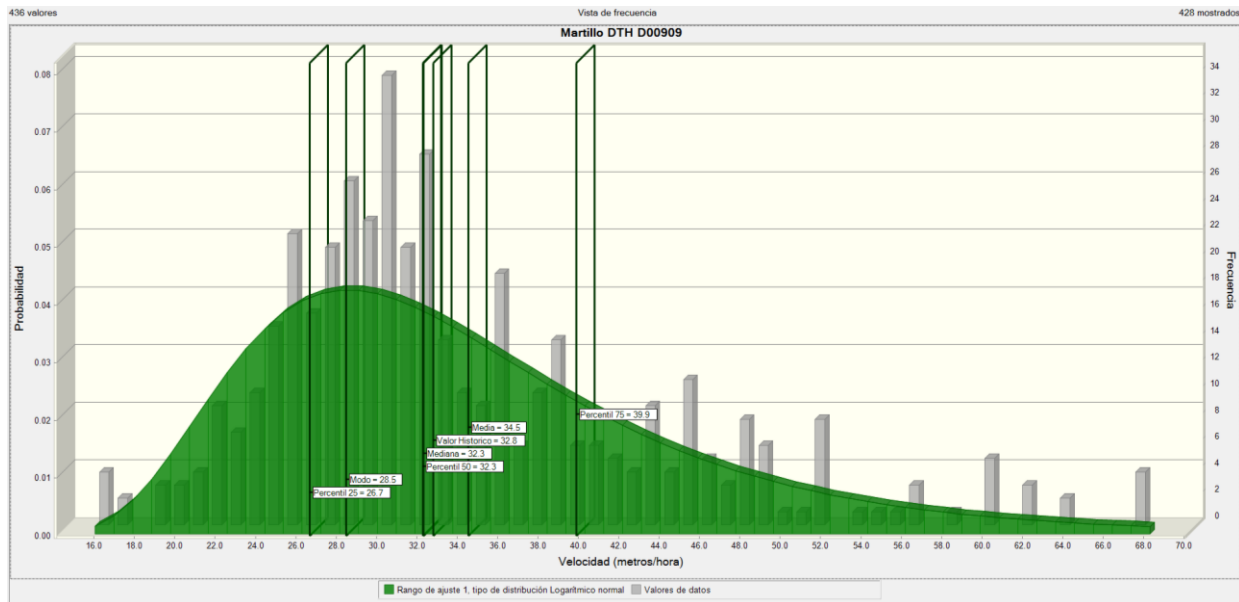
Análisis estadístico del martillo DTH D00909 en una mina de pórfido de cobre

Para un mayor alcance y verificar las velocidades alcanzadas por el martillo DTH D00909 se determinó primero que nuestros valores de velocidad son una variable aleatoria continua, ya que resulta de una medición y se encuentra dentro de un intervalo de 15.5 hasta 108 m/hr. Mediante el simulador Crystal Ball se determinó que el tipo de distribución más adecuada es el Método de Distribución Logístico Normal dando como resultado el siguiente histograma de evaluación (Fig.93), donde se puede observar que según el percentil 50, aproximadamente el 50% de datos se encuentran por debajo del valor histórico de 32.8 m/hr. Además, la gráfica nos muestra una media de 34.5 m/hr, la cual está por encima del valor requerido por mina. Por último, tenemos una

distribución sesgada hacia la derecha significando que hay valores extremos muy altos, pero de baja frecuencia, donde la mayor concentración de datos se encuentra por debajo de la media.

Figura 93

Histograma del Martillo DTH D00909 - Perforadora 12



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 83

Estadísticas de Muestra Única - Martillo D00909

Caso Base	15.5
Media	34.5
Mediana	32.3
Modo	28.5
Desviación Estándar	11.2
Varianza	124.9
Curtosis	7.06
Coficiente de Variación	0.3235
Mínimo	10.1
Máximo	∞
Error Estándar Medio	---

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 83, debido a la relativa proximidad de valores tenemos una desviación estándar moderada cuyo valor es de 11,2. Es decir, el 68% de datos se encuentran entre 23.4 y 45.8 m/hr.

Adicionalmente, el coeficiente de variación de 0.32 indica que tiene una variabilidad moderada otorgándole una estabilidad moderada al análisis de este martillo. De igual forma, curtosis nos indica que es una distribución leptocúrtica indicando que la concentración de los valores respecto a la moda es alta.

Aplicando la prueba de muestra única mediante el programa CRYSTALL BALL, se determina que:

Tabla 84

Prueba de Muestra Única - Martillo D00909

Clasificado por: Anderson Darling		
Distribución	A-D	Parámetros
Logarítmico normal	2.6004	Ubicación= 10.1; Media= 34.5
Extremo máximo	3.1047	Más probable= 29.7; Escala= 8.0
Gamma	4.4469	Ubicación= 13.8; Escala= 5.7; Forma= 3.629
Weibull	9.6092	Ubicación= 15.2; Escala= 22.0; Forma= 1.658

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo el porcentaje de ocurrencias en los rangos de velocidades determinadas son:

Tabla 85

Rango de Velocidades y Porcentaje de Ocurrencias para Martillo D00909

RANGO DE VELOCIDAD (m/hr)	PORCENTAJE DE OCURRENCIA %	CANTIDAD DE DATOS
[10 - 20]	2.3	10
[20 - 30]	37.6	164
[30 - 40]	37.2	162
[40 - 50]	14.2	62
[50 - 60]	3.7	16
[60 - 70]	3.2	14
[70 - 80]	0.7	3
[80 - 90]	0.5	2
[90 - 100]	0.2	1
[100 - mas]	0.5	2
TOTAL	100	436

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

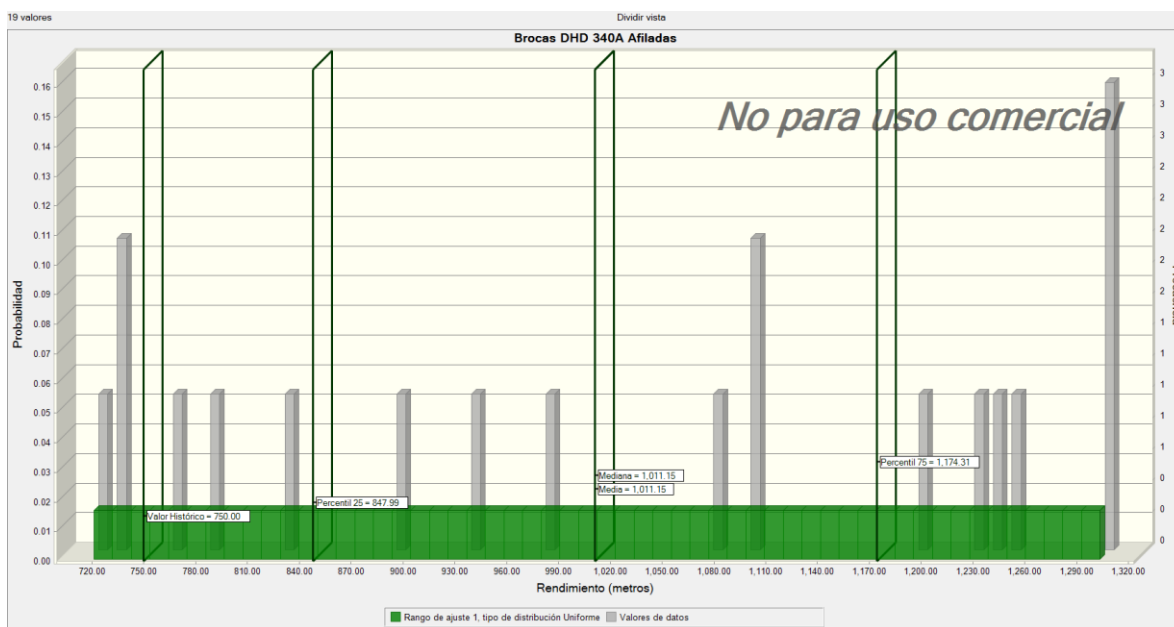
Mediante la evaluación por medio de crystall ball, tomando en cuenta los datos primordiales de velocidades del Martillo D00909, se estima que la mayor concentración de velocidades se encuentra entre 20 - 40 m/hr reflejándose un 74.8% del total de datos, con los cuales se alcanzó rendimientos promedio por encima del histórico de mina de 32.8 m/h.

Reajuste de rangos de brocas DTH DHD340A y martillos DTH en la mina de pórfido de cobre del sur del Perú***Reajuste de rangos de brocas DTH DHD340A***

Mediante un reajuste de los rendimientos alcanzados por las Brocas DTH DHD340A a un rango de 714,5 m y 1307,8 m se logró reducir la desviación estándar de 286,5 hasta 188,4; valor que reduce la separación entre los rendimientos generando una gráfica de distribución Uniforme, la cual está completamente plana. Adicionalmente, mediante el reajuste la media se reduce de 1083,8 m a 1011.1 m. De igual forma, curtósis reduce a 1.8 valor que nos indica que la concentración de los rendimientos respecto a la moda es nula. Este reajuste no favoreció en el incremento del rendimiento de brocas DTH, ya que la eliminación de rendimientos muy superiores disminuyó el rendimiento promedio, por ende, habrá un pequeño incremento en el consumo de brocas DTH. No obstante, si hubo una reducción de la dispersión de la desviación estándar.

Figura 94

Histograma del reajuste de brocas DTH DHD340A en una mina de pórfido de cobre



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 86

Estadísticas de Muestra Única – Brocas DTH DHD340A

Media	1011.1 m
Mediana	1011.1 m
Modo	-
Desviación Estándar	188.4
Curtósis	1.8
Coefficiente de Variación	0.18

Fuente: Elaboración Propia

Reajuste de rangos de los Martillos DTH en la mina de pórfido de cobre

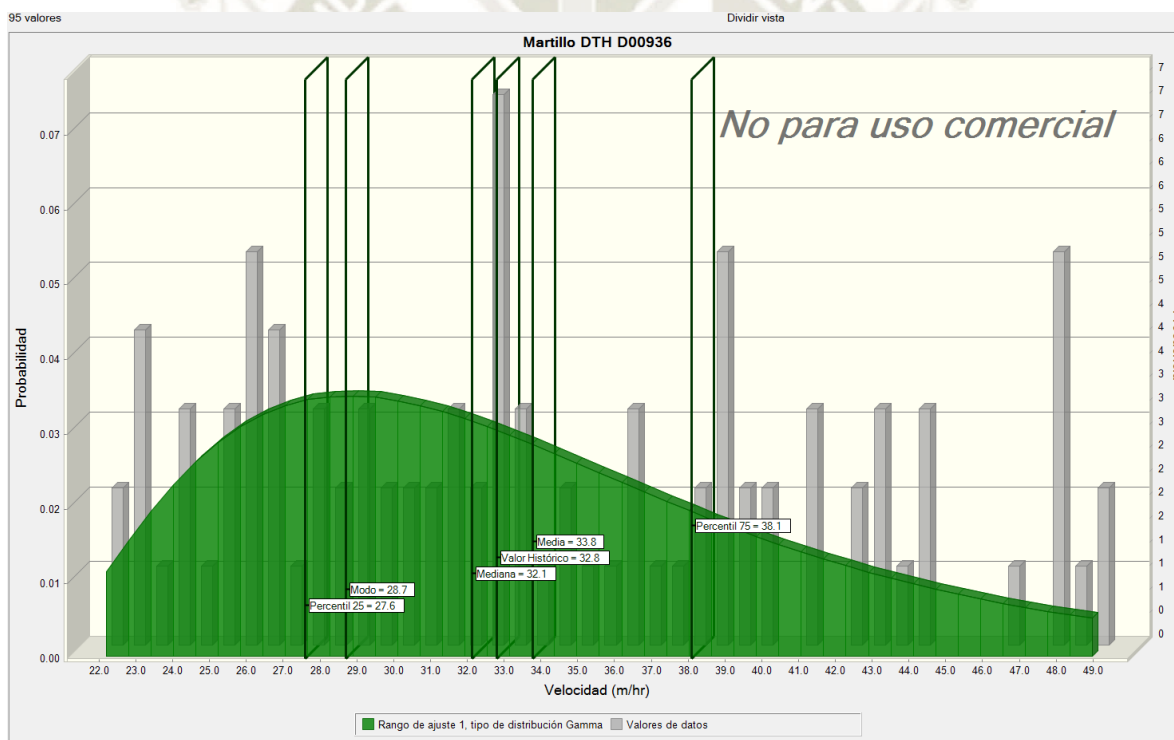
Reajuste de rangos del martillo DTH D00936 – Perforadora 11

Mediante un reajuste de las velocidades alcanzadas por el martillo DTH D00936 a un rango de 21.8 m/h y 49.2 m/h se logró reducir la desviación estándar de 11,4 hasta 7,7; valor que reduce la separación entre las velocidades del martillo generando una gráfica de distribución Gamma, la cual está relativamente elevada hacia la moda. Adicionalmente, mediante el reajuste la media

reduce de 35.5 m/h a 33.8 m/h. De igual forma, curtosis incrementa a 5.21 valor que nos indica que la concentración de los rendimientos respecto a la moda (28.7 m/h) es alta generando una gráfica leptocúrtica sesgada hacia la derecha. Este reajuste no favoreció en el incremento de la velocidad promedio del martillo 506120, ya que la eliminación de rangos superiores pesó más que los inferiores, por ende, se verá reflejado en el ligero incremento del TDC. No obstante, si hubo una reducción de la dispersión de la desviación estándar.

Figura 95

Histograma del reajuste del martillo DTH D00936 en una mina de pórfido de cobre



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 87

Estadísticas de Muestra Única – Martillo DTH D00936

Media	33.8 m/h
Mediana	32.1 m/h
Modo	28.7 m/h
Desviación Estándar	7.7

Curtósis	5.21
Coefficiente de Variación	0.22

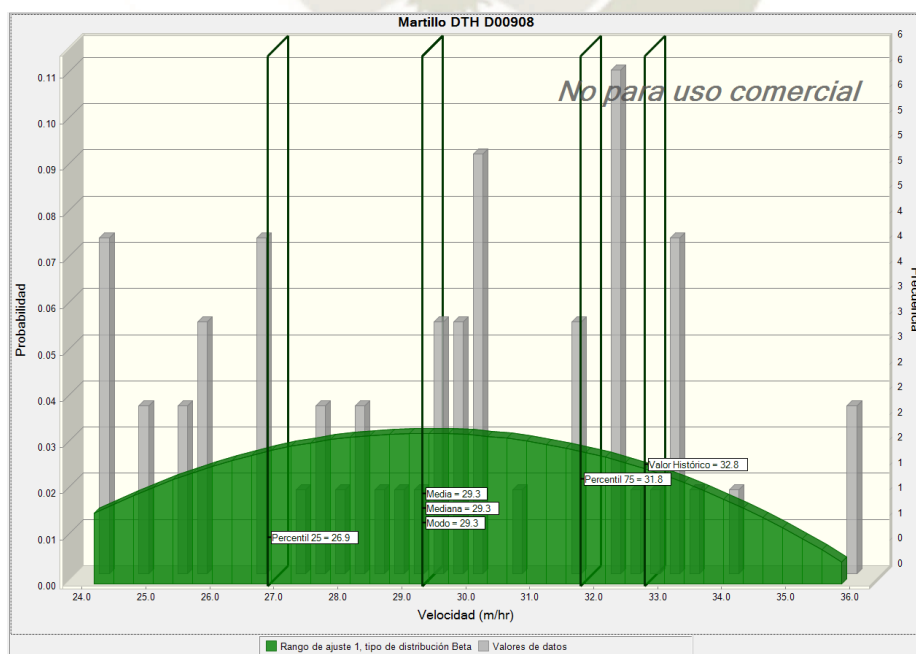
Fuente: Elaboración Propia

Reajuste de rangos del martillo DTH D00908 – Perforadora 12

Mediante un reajuste de las velocidades alcanzadas por el martillo DTH D00908 a un rango de 24 m/h y 40 m/h se logró reducir la desviación estándar de 5 hasta 3,2; valor que reduce la separación entre las velocidades del martillo generando una gráfica de distribución Beta, la cual está relativamente plana. Adicionalmente, mediante el reajuste la media reduce de 30.8 m/h a 29.3 m/h. De igual forma, curtósis disminuye a 2.4 valor que nos indica que la concentración de los rendimientos respecto a la moda (29.3 m/h) es baja generando una gráfica platicúrtica. Este reajuste no favoreció en el incremento de la velocidad promedio del martillo 506120, ya que la eliminación de rangos superiores pesó más que los inferiores, por ende, se verá reflejado en el ligero incremento del TDC. No obstante, si hubo una reducción de la dispersión de la desviación estándar.

Figura 96

Histograma del reajuste del martillo DTH D00908 en una mina de pórfido de cobre



Fuente: Elaboración Propia en Crystal Ball

Tabla 88

Estadísticas de Muestra Única – Martillo DTH D00908

Media	29.3 m/h
Mediana	29.3 m/h
Modo	29.3 m/h
Desviación Estándar	3.2
Curtósis	2.4
Coefficiente de Variación	0.107

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3. Ensayo de medición de dureza de inserto afilado de carburo de tungsteno

Tabla 89

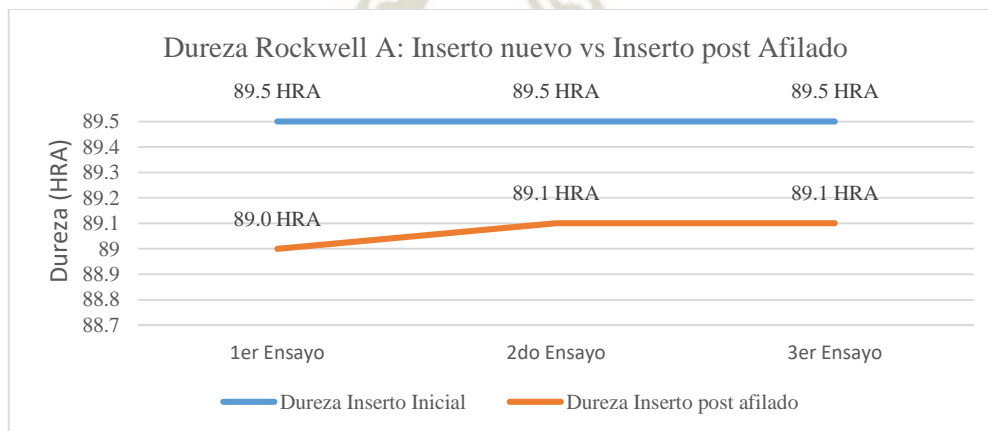
Resultados Medición de Dureza

	1er Ensayo (HRA)	2do Ensayo (HRA)	3er Ensayo (HRA)	Dureza Promedio (HRA)
Dureza Inicial HRA	89.5	89.5	89.5	89.5
Dureza con Pruebas de Dureza HRA	89.0	89.1	89.1	89.1

Fuente: Elaboración Propia

Figura 97

Comparación de Dureza Inserto Nuevo vs Afilado



Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos en laboratorio(Anexo 11) se puede observar que a pesar de haber realizado hasta 3 afilados de botones de brocas DTH, la microestructura interna del carburo de tungsteno no se ve alterada y la dureza se mantiene muy cercana a la inicial de 89.5 HRA, ya que la obtenida en las pruebas es de 89.1 HRA demostrando que el rendimiento y la resistencia que pueda tener el inserto de carburo de tungsteno al entrar en contacto con la roca seguirá siendo muy cercano al inicial y dar el máximo rendimiento posible para evitar que el inserto pueda fracturarse, ya sea por excesivo pulldown o por dureza de la roca.



Conclusiones

- Mediante el triple afilado de insertos de brocas DTH en la afiladora BQ3-DTH permite incrementar el rendimiento de la broca en el caso de una mina de oro diseminado hasta 928.33m (32.6% por encima del histórico de mina) y en el caso de una mina de pórfido de cobre hasta 1083.8m (44.5% por encima del histórico de mina).
- Manteniendo los insertos afilados permite que la velocidad de los martillos sea la más óptima generando velocidades promedio de hasta 6.1% por encima de la velocidad histórica de mina en el caso del proyecto de la mina de oro diseminado y en el caso de la mina de pórfido de cobre se obtienen velocidades de martillo hasta 1% por encima del histórico de mina, repercutiendo de forma óptima en el TDC.
- Anualmente la empresa minera puede ahorrar en el caso de una mina de oro diseminado (taladros de producción de mineral) hasta 257,583.15 dólares anuales en el costo total de metros perforados, mientras que en una mina de pórfido de cobre (pre-corte) se puede ahorrar hasta 50,031.67 dólares anuales en el costo total de metros perforados. Generando así, que la cantidad de brocas a consumirse sea menor de las que se necesitarían, si es que no se realiza el afilado de insertos en las brocas.
- A pesar de realizar hasta un triple afilado de botones de brocas DTH, la dureza del inserto (89.1 HRA) se mantiene muy cercana a la inicial de 89.5 HRA, demostrando que los insertos pueden estar sometidos a intensas labores de perforación y afilado manteniendo el mismo rendimiento que una broca nueva.
- Mediante la implementación del procedimiento de afilado en la afiladora BQ3-DTH, se logró dar la forma adecuada al core de la broca, así como, dar mayor seguridad al operador de la afiladora, permitiendo que posteriormente estas brocas tengan el mejor desempeño en campo

Recomendaciones

- Realizar un mantenimiento preventivo de la compresora y al mismo tiempo de la afiladora BQ3 DTH para que el rendimiento durante el afilado sea el más adecuado.
- Realizar el afilado de brocas con insertos no muy gastados, ya que impide que la copa de afilado pueda dar la forma correcta al inserto, debido a que, entra en contacto constantemente con la matriz de la broca.
- Se recomienda la presencia constante de un ingeniero de campo que este monitoreando el correcto funcionamiento y estado tanto de brocas como martillos para llegado el momento adecuado proceder a extraer la broca para someterla a afilado.
- Monitoreo constante de la cantidad de agua que hay en la bomba de refrigerante, ya que si falta agua se calienta la rueda de afilado y la misma se puede llegar a atascar.
- Uso de una devastadora previo a la realización del afilado, ya que la devastadora al gastar la matriz permite que la rueda de afilado tenga un mejor resultado al dejar bien afilado el inserto.
- Se recomienda el análisis del rendimiento conjunto de la afiladora manual B-DTH en campo y la BQ3-DTH en taller, ya que al ser una afiladora movible permite reducir tiempos de traslado de brocas a taller permitiendo que el retorno de las brocas a operación sea más rápido, para afilado de insertos blandos.

Referencias Bibliográficas

- Abanto Cruz, J. O., & Vasquez Valverde, 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.* Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3249/ABANTO%20CRUZ%2C%20Juan%20Omar%2C%20VASQUEZ%20VALVERDE%2C%20Jeyner.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- AC. Rock Drills Tools AB. (2013). El caso económico para el afilado diario de insertos. (B. Pietsch, Orebro, & Sweden, Edits.) *Surface Drilling and Mobile Crushing*, V, 96-99.
- Atlas Copco. (Abril de 2012). *rock drill sales*. Obtenido de <https://www.rockdrillsales.com/fullpanel/uploads/files/dth%20equipment.pdf>
- Atlas Copco. (2015). *DTH Equipment - Secoroc Rock Drilling Tools*.
- Atlas Copco Peruana, E. L. (Abril de 2013). Capacitacion DTH Cerro Verde.
- Atlas Copco Rock Drills AB. (2012). Mexican masters of mining. (T. Greenwood, Ed.) *Mining and Construction*, 26-27. Obtenido de https://magazines.miningandconstruction.com/sites/magazines.miningandconstruction.com/files/magazine/2017-01/m_c12-3.pdf
- Atlas Copco Secoroc AB. (09 de 2015). *Secoroc BQ3, BQ3 DTH Grinding Machines*. Obtenido de http://narzedziawiertnicze.pl/wp-content/uploads/2016/11/Secoroc_BQ3.pdf

Atlas Copco, R. (2013). *Scribd*. Obtenido de Manual de Perforacion:
<https://es.scribd.com/document/234594825/Manual-de-Perforacion-Atlas-Copco>

Atlas Copco, R. (2015). *Martillo de Fondo DTH ; Seguridad y mantenimiento*. Atlas Copco Secoroc AB.

Epiroc. (10 de 2018). *narzedziawiertnicze*. Obtenido de http://narzedziawiertnicze.pl/wp-content/uploads/2018/03/GM_BQ3_DTH.pdf

Gamarra Caceres, A. R. (2011). *OPTIMIZACIÓN DE LAS BROCAS DE BOTÓN DE 45 MM* R32 PARA MINIMIZAR LOS COSTOS DE PERFORACIÓN EN LA COMPAÑÍA MINERA MILPO S.A.A. UEA EL PORVENIR*. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3163/Gamarra%20Caceres.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Grinding Equipment, E. P. (2019). *Epiroc*. Obtenido de Epiroc: <https://www.epiroc.com/es-pe/products/rock-drilling-tools/grinding-equipment>

Henry Escobar - Epiroc, P. (2018). Data Sheet Barras DTH.

Jorge Placencia, A. C. (2014). *Accesorios de Perforacion*. Obtenido de <https://es.scribd.com/presentation/325545233/Accesorios-de-Perforacion>

Jorge Placencia, A. C. (2015). Diagnostico de Fallas DTH. Lima, Lima, Peru.

Jorge Placencia, A. C. (Marzo de 2015). Seminario de Perforacion DTH. Arequipa, Arequipa, Peru.

Llaique Nuñoncca, Á. A., & Sánchez Guevara, W. O. (2015). Determinación del Costo Total de Perforación para Optimizar esta Operación Unitaria en Mina Modelo a Tajo Abierto, Cajamarca - Perú, 2015. Cajamarca, Perú.

Lopez Jimeno, C. (2003). *Manual de Perforacion y Voladura de Rocas*. Madrid.

PERALTA CASTELO , E. Y. (2019). *Repositorio institucional UNSA*. Obtenido de <http://bibliotecas.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10271/IMpecaey.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Perforacion Manual y Accesorios, A. C. (Setiembre de 2015). *Edipesa*. Obtenido de <https://www.edipesa.com.pe/images/PDF-productos/herramientas-neumaticas-para-perforacion-de-rocas.pdf>

Peruana, E. L.-A. (Abril de 2013). Capacitacion CV DTH. Arequipa, Arequipa, Peru.

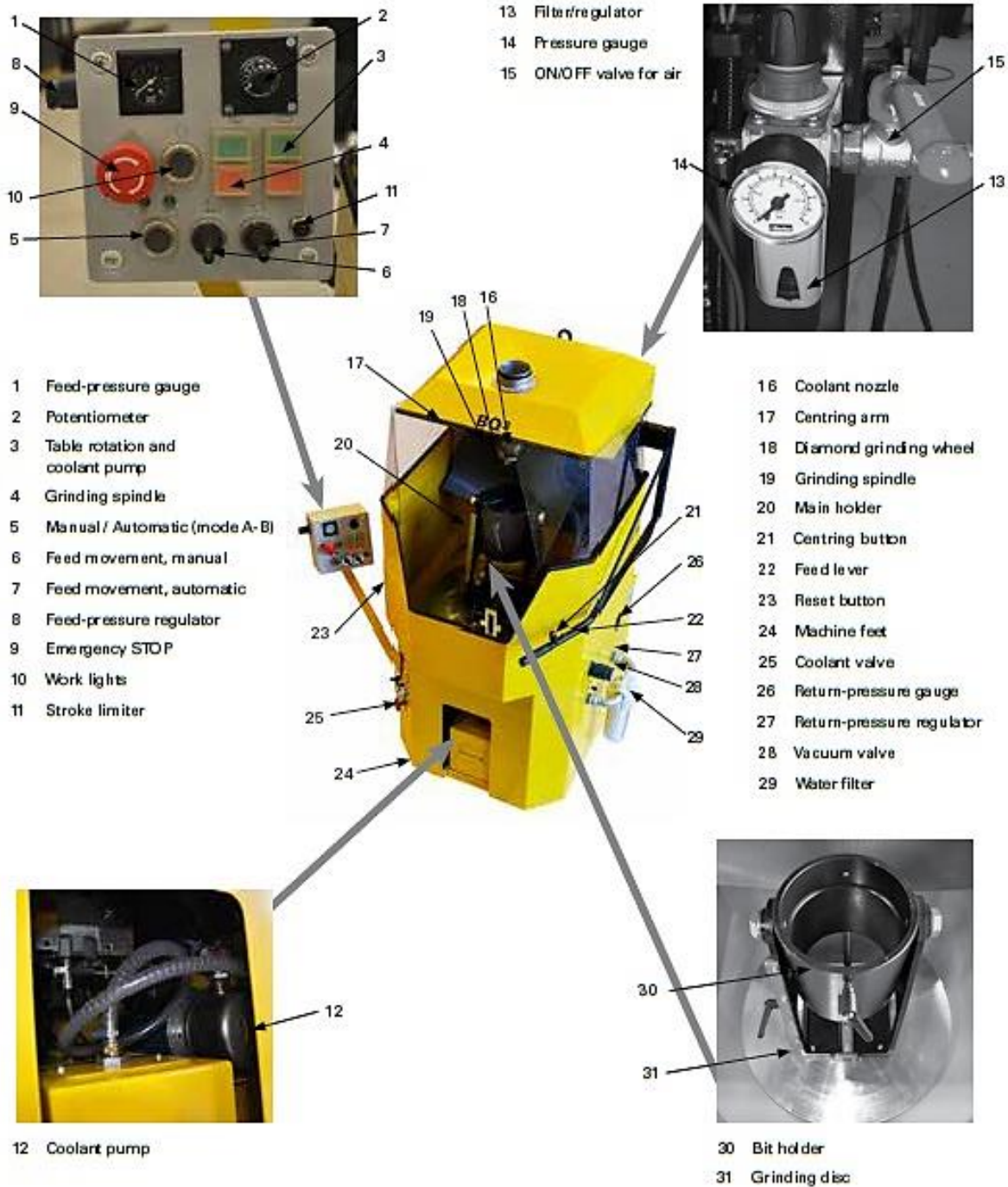
Richard, R. (Febrero de 2018). *Aplicacion de Perforacion DTH*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/368221655/8-Aplicacion-de-Perforacion-Dth-Ing-Richard-Ruiz>

Secoroc, A. C. (2013). Mejora de productividad usando martillos DTH Secoroc.

Yepes Piqueras, V. (18 de Enero de 2014). *Poli blogs - Universidad Politecnica de Valencia*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/01/18/perforacion-con-martillo-en-fondo/>

Anexos

Anexo 1 Partes Operativas y Controles de la Afiladora BQ3 DTH



Fuente: Adaptado de *Partes de Afiladora BQ3 DTH*, de Atlas Copco Secoroc AB, (2015),
Extraído de: https://narzedziawiertnicze.pl/wp-content/uploads/2016/11/Secoroc_BQ3.pdf

Anexo 2 Copas de Afilado y Soportes de Broca

Copas de Afilado

Spherical buttons	Product No.
7,0 mm	87004554
8,0 mm	87004555
9,0 mm	87003969
10,0 mm	87003970
11,0 mm	87003971
12,0 mm	87003972
13,0 mm	87003973
14,0 mm	87001025
15,0 mm	87001384
16,0 mm	87001027
18,0 mm	87003964
19,0 mm	87003966
Ballistic buttons	
7,0 mm	87004556
8,0 mm	87004557
9,0 mm	87003974
10,0 mm	87003975
11,0 mm	87003976
12,0 mm	87003977
13,0 mm	87003413
14,0 mm	87003414
15,0 mm	87003415
16,0 mm	87003416
18,0 mm	87003965
19,0 mm	87003967
Full ballistic buttons	
9,0 mm	87004359
14,5 mm	87004612



Soporte de Broca

3"	Product No.
COP 32	87002420
COP 34	87003691
DHD 3,5	87004514
4"	
DHD 340, COP 44	87002391
QL 40	87004515
TD 40	87004604
5"	
DHD 350, COP 54	87002390
QL 50, TD 50	87004033
RC 50	87004605
6"	
DHD 360, COP 64	87002389
QL 60	87004002
COP 66	87004784
COPROD	
COPROD 76	87004414
COPROD 89	87003155
COPROD 102	87004415
COPROD 127	87002396

Fuente: Adaptado de *Copas de Afilado y Soporte de Broca*, de Atlas Copco Secoroc AB, (2015),
Extraído de: https://narzedziawiertnicze.pl/wp-content/uploads/2016/11/Secoroc_BQ3.pdf

Anexo 3 Copas de Centrado y Devastadora

Copas de Centrado

Muela de Afilado para Eliminación de la Matriz (devastadora)

For button size	Product No.
7,0 mm	87001040
8,0 mm	87000942
9,0 mm	87001047
10,0 mm	87001041
11,0 mm	87000940
12,0 mm	87001042
12,7 mm	87000839
13,0 mm	87001385
14,0 mm	87001043
14,5 mm	87001443
15,0 mm	87001386
16,0 mm	87001387
18,0 mm	87003943
19,0 mm	87003944



Grinding wheels for removing body steel

Description	Product No.
Grinding wheel	87001530
Spacer 2,0 mm for 10 mm button	87001631
Spacer 2,5 mm for 11 mm button	87001632
Spacer 3,0 mm for 12 mm button	87001633
Spacer 3,5 mm for 13 mm button	87001634
Spacer 4,0 mm for 14 mm button	87001635



For 15 mm button combine 2,0 mm spacer and 2,5 mm spacer.
For 16 mm button combine two 2,5 mm spacers.

Fuente: Adaptado de *Copas de Centrado y Devastadora*, de Epiroc Drilling Tools AB, (2017),
Extraído de: https://narzedziawiertnicze.pl/wp-content/uploads/2018/03/GM_BQ3_DTH.pdf

Anexo 4 Check List de Afiladora BQ3 DTH



Lista de Verificación Pre – Operacional de Afiladora BQ3 DTH

Fecha: Hora: Lugar:

Nombre del Operador: Código del Trabajador:

N°	Afiladora	Bien N/A	Mal		Observaciones
01	Conexiones Eléctricas (trifásica 230 voltios)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
02	Regulador de Presión de Aire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
03	Regulador de Presión de Agua	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
04	Bomba Refrigerante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
05	Depósito de Agua (Cantidad)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
06	Bit Holder Asegurado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
07	Copa de Afilado Asegurada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
08	Lubricación de Tuercas del Bit Holder	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
09	Filtro de Agua	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	Aislamiento de Fluido Eléctrico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	Orden y Limpieza de Área de Trabajo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	Aislamiento y Cierre de Área	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

N°	Compresor	Bien	Mal	N/A	Observaciones
01	Conexiones Eléctricas (trifásica 230 voltios)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
02	Conexión de Mangueras de Salida de Aire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
03	Válvula Reguladora de Salida de Aire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
04	Derrame de Aceite	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
05	Limpieza del Compresor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

N°	Acción Correctiva

Firma Supervisor

Firma Operador

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 5 Data Rendimiento (m) de Brocas en una Mina de Oro

PERF.	# BROCA	FECHA DE INTALACIÓN	TURNO	METROS TOTALES	ESTADO BROCA
Perf - 009	2051026 - 008	2/02/2018	Noche	203.50 m	Muerta (rotura de matriz)
Perf - 009	2053652 - 014	2/02/2018	Noche	572.10 m	Muerta (desgaste de matriz y rotura de botones periféricos)
Perf - 009	2051026 - 014	3/02/2018	Día	100.00 m	Muerta (rotura de matriz)
Perf - 009	2053652 - 013	3/02/2018	Noche	655.30 m	Muerta (desgaste de matriz)
Perf - 009	2053652 - 006	4/02/2018	Día	441.10 m	Muerta (desgaste de matriz)
Perf - 009	2053652 - 001	5/02/2018	Día	414.30 m	Muerta (desgaste de matriz y rotura de botones periféricos)
Perf - 009	2053652 - 003	7/02/2018	Día	530.70 m	Muerta (desgaste de matriz y rotura de botones periféricos)
Perf - 015	2051026 - 003	3/02/2018	Día	551.10 m	Muerta (rotura del shank)
Perf - 015	2053652 - 007	3/02/2018	Dia	534.00 m	Muerta (rotura del shank)
Perf - 015	2053652 - 002	3/02/2018	Dia	694.40 m	Muerta (desgaste de matriz y rotura de botones perifericos)
Perf - 015	2053652 - 008	4/02/2018	Dia	630.00 m	Muerta (desgaste de matriz)
Perf - 015	2051026 - 006	4/02/2018	Noche	689.60 m	Muerta (desgaste de matriz y rotura de botones periféricos)
Perf - 015	2053652 - 015	5/02/2018	Dia	488.10 m	Muerta (desgaste de matriz y rotura de botones periféricos)
Perf - 015	2053652 - 009	5/02/2018	Dia	688.00 m	Muerta (desgaste de matriz y rotura de botones perifericos)
Perf - 016	2065060 - 025	12/02/2018	Noche	175.90 m	Trabajando
Perf - 016	2053652 - 004	3/02/2018	Dia	912.40 m	Muerta (desgaste de matriz y rotura de botones perifericos)
Perf - 016	2053652 - 005	3/02/2018	Dia	889.70 m	Muerta (desgaste de matriz y rotura de botones perifericos)
Perf - 016	2051026 - 009	3/02/2018	Dia	254.50 m	Muerta (rotura de matriz)
Perf - 016	2053652 - 012	3/02/2018	Noche	521.80 m	Muerta (desgaste de matriz y rotura de botones perifericos)
Perf - 016	2053652 - 011	5/02/2018	Dia	900.10 m	Muerta (desgaste de matriz)
Perf - 016	2053652 - 006	4/02/2018	Dia	335.60 m	Muerta (desgaste de matriz)
Perf - 016	2053652 - 010	11/02/2018	Noche	708.00 m	Muerta (desgaste de matriz y rotura de botones perifericos)
Perf - 016	2065060 - 025	12/02/2018	Noche	721.80 m	Trabajando
Perf - 016	2053652 - 002	3/02/2018	Dia	142.90 m	Muerta (desgaste de matriz y rotura de botones perifericos)
Perf - 016	2051026 - 006	4/02/2018	Noche	142.90 m	Muerta (desgaste de matriz y rotura de botones perifericos)
Perf - 016	2065060 - 001	14/02/2018	Dia	466.20 m	Muerta (Desgaste de matriz y rotura de insertos)
Perf - 016	2065060 - 012	14/02/2018	Noche	345.70 m	Muerta (Desgaste de matriz y rotura de insertos)
Perf - 016	2065060 - 010	15/02/2018	Dia	264.30 m	Muerta (Desgaste de matriz)

Perf - 009	2065060 - 011	12/02/2018	Día	677.70 m	Muerta (Desgaste de matriz y rotura de insertos)
Perf - 009	2065060 - 023	12/02/2018	Día	747.20 m	Muerta (Desgaste de matriz y rotura de insertos)
Perf - 009	2065060 - 008	12/02/2018	Día	667.30 m	Muerta (Desgaste de matriz y rotura de insertos)
Perf - 009	2065060 - 009	13/02/2018	Día	701.20 m	Trabajando
Perf - 009	2065060 - 005	14/02/2018	Día	710.80 m	Muerta (Desgaste de matriz y rotura de botones periféricos)
Perf - 009	2065060 - 007	15/02/2018	Día	745.10 m	Muerta (Desgaste de matriz y rotura de insertos)
Perf - 009	2065060 - 013	15/02/2018	Noche	683.70 m	Muerta (desgaste de matriz y rotura de botones periféricos)
Perf - 009	2065060 - 006	18/02/2018	Noche	30.60 m	Trabajando
Perf - 015	2065060 - 028	15/02/2018	Noche	1298.60 m	Muerta (desgaste de matriz y rotura de botones periféricos)
Perf - 015	2065060 - 022	16/02/2018	Día	1298.80 m	Muerta (Desgaste de matriz y rotura de botones periféricos)
Perf - 015	2065060 - 002	16/02/2018	Día	1256.90 m	Muerta (Desgaste de matriz y rotura de insertos)
Perf - 015	2065060 - 016	18/02/2018	Noche	1104.30 m	Trabajando
Perf - 015	2065060 - 024	20/02/2018	Noche	1109.90 m	Muerta (Desgaste de matriz y rotura de insertos)
Perf - 015	2065060 - 027	20/02/2018	Noche	1074.60 m	Muerta (rotura de matriz)
Perf - 015	2065060 - 014	22/02/2018	Día	1085.10 m	Trabajando
Perf - 016	2065060 - 012	14/02/2018	Noche	1021.10 m	Muerta (Desgaste de matriz y rotura de insertos)
Perf - 016	2065060 - 021	16/02/2018	Día	907.00 m	Muerta (Desgaste de matriz y rotura de insertos)
Perf - 016	2065060 - 010	15/02/2018	Día	1069.10 m	Muerta (Desgaste de matriz)
Perf - 016	2065060 - 001	14/02/2018	Día	440.30 m	Muerta (Desgaste de matriz y rotura de insertos)
Perf - 016	2065060 - 017	18/02/2018	Día	1150.90 m	Muerta (rotura del shank)
Perf - 016	2065060 - 020	23/02/2018	Día	1287.30 m	Trabajando
Perf - 016	2065060 - 004	23/02/2018	Día	952.70 m	Trabajando
Perf - 016	2065060 - 003	23/02/2018	Día	1574.40 m	Trabajando
Perf - 016	2065060 - 019	-	-	1181.60 m	Trabajando
Perf - 009	2065060 - 006	18/02/2018	Noche	831.50 m	Trabajando
Perf - 009	2065060 - 015	19/02/2018	Día	700.10 m	Trabajando
Perf - 009	2065060 - 018	19/02/2018	Noche	786.40 m	Muerta (Desgaste de matriz y rotura de insertos)
Perf - 009	2065060 - 026	24/02/2018	Día	385.00 m	Trabajando
Perf - 009	2065060 - 013	15/02/2018	Noche	100.00 m	Muerta (desgaste de matriz y rotura de botones periféricos)
perf - 016	2065060 - 026	24/02/2018	Día	763.70 m	Trabajando
perf - 016	2065060 - 015	19/02/2018	Día	226.90 m	Trabajando
perf - 016	2065060 - 013	15/02/2018	Noche	450.70 m	Trabajando

perf - 016	2065060 - 018	19/02/2018	Noche	383.80 m	Trabajando
perf - 016	2065060 - 006	18/02/2018	Noche	263.40 m	Trabajando
perf - 016	2065060 - 020	23/02/2018	Día	314.00 m	Trabajando

Fuente: Elaboración Propia



Anexo 6 Data Velocidad de Martillo DTH en una Mina de Oro

	MARTILLO # 509281				MARTILLO # 509268				MARTILLO # 506128			
	Perforadora 9				Perforadora 9				Perforadora 9			
	Hora Inicial	Hora Final	Metros	Velocidad	Hora Inicial	Hora Final	Metros	Velocidad	Hora Inicial	Hora Final	Metros	Velocidad
2/02/2018												
				2122.15	2126.35	215.4 m	51.29 m/h					
3/02/2018				2126.35	2139.68	655.1 m	49.14 m/h					
4/02/2018				2139.68	2153.81	711.2 m	50.33 m/h					
5/02/2018				2153.81	2167.94	637.1 m	45.09 m/h					
6/02/2018				2167.94	2168.3	17.8 m	49.44 m/h					
7/02/2018				2168.3	2176.27	364.6 m	45.75 m/h					
8/02/2018				2176.27	2183.37	316.1 m	44.52 m/h					
9/02/2018												
10/02/2018												
11/02/2018												
12/02/2018	2261	2277	640.4 m	40.03 m/h								
13/02/2018	2277	2286.35	366.5 m	39.20 m/h								

14/02/2018	2286.35	2304.7	902.9 m	49.2 m/h								
15/02/2018	2304.7	2323.12	893 m	48.48 m/h								
16/02/2018	2323.12	2342.59	999.5 m	51.34 m/h								
17/02/2018	2342.59	2359.16	713.3 m	43.05 m/h								
18/02/2018	2359.16	2368.91	489.8 m	50.24 m/h								
19/02/2018								2369.25	2376.85	445.9 m	58.67 m/h	
20/02/2018								2376.85	2394.73	1005.5 m	56.24 m/h	
21/02/2018								2394.73	2398.5	201 m	53.32 m/h	
22/02/2018												
23/02/2018												
24/02/2018												
25/02/2018												
26/02/2018												
27/02/2018												

	MARTILLO # 509255				MARTILLO # 509275				MARTILLO #506120			
	Perforadora 15				Perforadora 15				Perforadora 16			
	Hora Inicial	Hora Final	Metros	Velocidad	Hora Inicial	Hora Final	Metros	Velocidad	Hora Inicial	Hora Final	Metros	Velocidad
2/02/2018												
3/02/2018	10510.8	10530	1071.1 m	55.79 m/h					5501.7	5519.22	723.7 m	41.31 m/h
4/02/2018	10530	10550.43	1079.6 m	52.84 m/h					5519.22	5537.05	763.8 m	42.84 m/h
5/02/2018	10550.43	10561.05	520.3 m	48.99 m/h					5537.05	5543.95	294.5 m	42.68 m/h
6/02/2018	10561.05	10564.5	198 m	57.39 m/h					5543.95	5545.35	63.9 m	45.64 m/h
7/02/2018									5545.35	5548.58	146.7 m	45.42 m/h
8/02/2018	10564.5	10573.77	478 m	51.56 m/h					5548.58	5550.86	103.4 m	45.35 m/h
9/02/2018	10573.77	10586.82	714.07 m	54.72 m/h					5550.86	5574.81	1005.7 m	41.99 m/h
10/02/2018	10586.82	10595.37	468.1 m	54.75 m/h					5574.81	5588.68	674.1 m	48.60 m/h
11/02/2018									5588.68	5606.45	864.6 m	48.66 m/h
12/02/2018									5606.45	5628.75	1114.6 m	49.98 m/h
13/02/2018									5628.75	5641.35	526.1 m	41.75 m/h

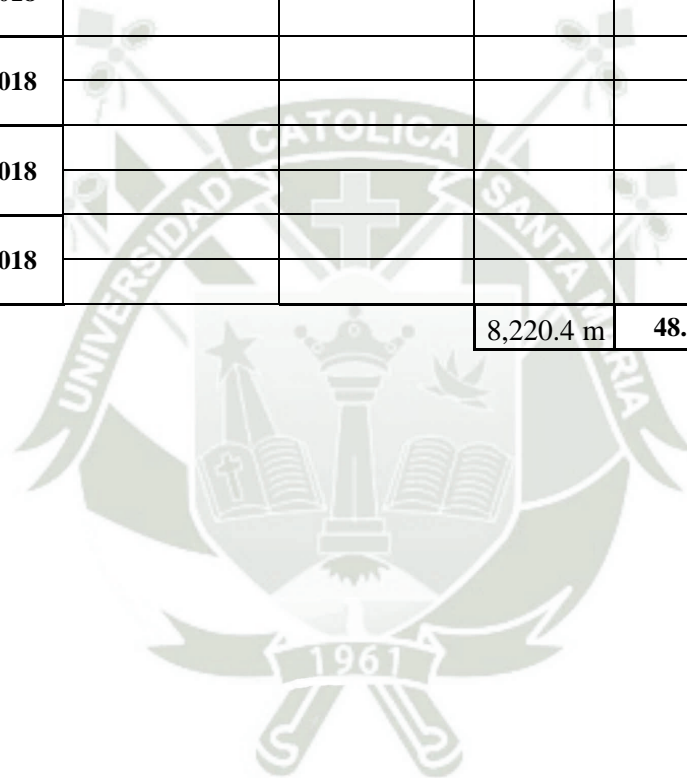
14/02/2018									5641.35	5655.1	705.4 m	51.30 m/h
15/02/2018									5655.1	5663.73	470 m	54.46 m/h
16/02/2018					10694.9	10698.13	151.2 m	46.81 m/h				
17/02/2018					10698.13	10723.73	1459.2 m	57.00 m/h				
18/02/2018					10723.73	10743	901.4 m	46.78 m/h				
19/02/2018					10743	10772.05	1432.7 m	49.32 m/h				
20/02/2018					10772.05	10778.2	322.79 m	52.49 m/h				
21/02/2018					10778.2	10805.25	1354.2 m	50.06 m/h				
22/02/2018					10805.25	10833.02	1079.4 m	38.87 m/h				
23/02/2018					10833.02	10841.82	409.7 m	46.56 m/h				
24/02/2018					10841.82	10857.09	675.4 m	44.23 m/h				
25/02/2018					10857.09	10866.29	416.8 m	45.30 m/h				
26/02/2018												
27/02/2018												

MARTILLO #506114				
Perforadora 16				
	Hora Inicial	Hora Final	Metros	Velocidad
2/02/2018				
3/02/2018				
4/02/2018				
5/02/2018				
6/02/2018				
7/02/2018				
8/02/2018				
9/02/2018				
10/02/2018				
11/02/2018				
12/02/2018				
13/02/2018				
14/02/2018				

15/02/2018				
16/02/2018	5666.3	5674.53	379.1 m	46.06 m/h
17/02/2018	5674.53	5681.35	333 m	48.83 m/h
18/02/2018	5681.35	5690.78	480.5 m	50.95 m/h
19/02/2018	5690.78	5713.45	1136 m	50.11 m/h
20/02/2018	5713.45	5720.35	334.8 m	48.52 m/h
21/02/2018	5720.35	5721.83	71.2 m	48.11 m/h
22/02/2018	5721.83	5732.66	525.3 m	48.50 m/h
23/02/2018	5732.66	5759.68	1282.7 m	47.47 m/h
24/02/2018	5759.68	5782.33	1074.9 m	47.46 m/h
25/02/2018	5782.33	5805.28	1134.9 m	49.45 m/h
26/02/2018	5805.28	5821.61	800.8 m	49.04 m/h
27/02/2018	5821.61	5825.38	183 m	48.54 m/h
28/02/2018	5825.38	5835.91	484.2 m	45.98 m/h

1/03/2018				
2/03/2018				
3/03/2018				
4/03/2018				
5/03/2018				
			8,220.4 m	48.85 m/h

Fuente: Elaboración Propia



Anexo 7 Data Rendimiento (m) de Brocas Afiladas en una Mina de Cobre

PERFORADORA	EQUIPO	SERIE	MARCA	DIAMETRO	HORAS ACUMULADAS	METROS	CONDICION	VELOCIDAD(M/HR)	PRECIO	FECHA INI.	FECHA FIN	RENDIMIENTO REQUERIDO
TD-11	Diesel – DR 560	287644-20	EPIROC	4 1/2 in	1523	714.5	DE BAJA	32.5	600	6/11/2018	7/11/2018	750
TD-11	Diesel – DR 560	90516364	EPIROC	4 15/16 in	2777	1307.8	DE BAJA	31.7	600	8/11/2018	11/11/2018	750
TD-11	Diesel – DR 560	287892-7	EPIROC	4 15/16 in	2562	1411.4	DE BAJA	35.0	600	13/11/2018	16/11/2018	750
TD-11	Diesel – DR 560	290004-11	EPIROC	5 1/8 in	2533	1302	DE BAJA	32.4	600	17/11/2018	19/11/2018	750
TD-11	Diesel – DR 560	90526364	EPIROC	5 1/8 in	1900	977.6	DE BAJA	30.9	600	21/11/2018	27/11/2018	750
TD-11	Diesel – DR 560	90156504	EPIROC	5 1/8 in	2074	1191	DE BAJA	34.5	600	1/12/2018	7/12/2018	750
TD-11	Diesel – DR 560	286349-X	EPIROC	4 1/2 in	1490	784	DE BAJA	36.4	600	9/12/2018	11/12/2018	750
TD-11	Diesel – DR 560	285076-9	EPIROC	4 15/16 in	1563	736	DE BAJA	30.9	600	11/12/2018	12/12/2018	750
TD-11	Diesel – DR 560	286349-5	EPIROC	4 15/16 in	1718	931.4	DE BAJA	32.5	600	13/12/2018	21/12/2018	750
TD-11	Diesel – DR 560	286349-9	EPIROC	5 1/8 in	2187	1298	DE BAJA	35.6	600	21/12/2018	24/12/2018	750
TD-11	Diesel – DR 560	286349-10	EPIROC	4 15/16 in	1151	558	DE BAJA	29.6	600	29/12/2018	31/12/2018	750
TD-11	Diesel – DR 560	286349-11	EPIROC	5 1/8 in	1500	768	DE BAJA	30.7	600	1/01/2019	2/01/2019	750
TD-11	Diesel – DR 560	286349-12	EPIROC	4 15/16 in	2213	1228	DE BAJA	37.6	600	6/01/2019	9/01/2019	750
TD-11	Diesel – DR 560	285076-8	EPIROC	4 15/16 in	1713	1076	DE BAJA	40.2	600	10/01/2019	14/01/2019	750
TD-11	Diesel – DR 560	286349-15	EPIROC	5 1/8 in	1676	888	DE BAJA	35.3	600	22/01/2019	28/01/2019	750
TD-12	Diesel – DR 560	2868336	EPIROC	4 15/16 in	2601	1492	DE BAJA	34.4	600	1/11/2018	4/11/2018	750
TD-12	Diesel – DR 560	290004-1	EPIROC	5 1/8 in	1864	1436	DE BAJA	46.2	600	15/11/2018	16/11/2018	750
TD-12	Diesel – DR 560	90516364-X	EPIROC	4 15/16 in	2881	1679	DE BAJA	35.0	600	17/11/2018	20/11/2018	750
TD-12	Diesel – DR 560	286833-8	EPIROC	5 1/8 in	2272	1097	DE BAJA	29.0	600	21/11/2018	24/11/2018	750
TD-12	Diesel – DR 560	285076-3	EPIROC	4 15/16 in	1400	728	DE BAJA	31.2	600	26/11/2018	30/11/2018	750
TD-12	Diesel – DR 560	S/N	EPIROC	5 1/8 in	2137	1096	DE BAJA	30.8	600	4/12/2018	8/12/2018	750
TD-12	Diesel – DR 560	286349-7	EPIROC	5 1/8 in	2297	1248	DE BAJA	33.9	600	9/12/2018	12/12/2018	750
TD-12	Diesel – DR 560	987644-16	EPIROC	5 1/8 in	2383	1240	DE BAJA	33.9	600	13/12/2018	17/12/2018	750
TD-12	Diesel – DR 560	286349-16	EPIROC	5 1/8 in	1307	824	DE BAJA	43.3	600	22/12/2018	24/12/2018	750

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 8 Data Velocidad de Martillo DTH en una Mina de Cobre

Martillo 200939			
Perforadora 11	Rendimiento (m)	Tiempo (min)	Velocidad (m/hr)
6-Nov	129	318	25.0
7-Nov	585.6	1153	34.3
8-Nov	451	943	30.5
9-Nov	518.3	1125	28.8
10-Nov	246	638	24.1
7-Dic	256	557	28.1
8-Dic	261	542	29.6
9-Dic	304	675	29.4
10-Dic	396	577	50.3
11-Dic	448	856	31.7
12-Dic	448	985	29.4
13-Dic	336	848	25.2
15-Dic	122	315	23.3
19-Dic	47.4	147	23.0
21-Dic	400	683	37.8
22-Dic	480	834	37.3
23-Dic	134	296	28.2
24-Dic	400	681	37.4
25-Dic	192	411	28.4
27-Dic	122	295	24.9
TOTAL	6276.3	12879	31.9
Martillo 200936			
Perforadora 11	Rendimiento (m)	Tiempo (min)	Velocidad (m/hr)
11-Nov	96	198	31.7
12-Nov	136.5	297	28.4
13-Nov	489.5	756	44.1
14-Nov	448.4	897	30.6
15-Nov	456.4	841	32.9
16-Nov	584	913	42.0
17-Nov	522	861	42.4
18-Nov	618	1044	36.6
19-Nov	357	623	36.2
20-Nov	448	686	40.3
21-Nov	370	718	31.7
22-Nov	256	563	28.1

23-Nov	304	602	30.9
25-Nov	30	123	14.7
26-Nov	118	266	31.0
27-Nov	59.6	140	29.2
29-Nov	162	380	26.4
30-Nov	225	537	26.9
1-Dic	180	462	24.3
2-Dic	127	273	30.6
3-Dic	160	341	28.8
6-Dic	208	467	28.8
7-Dic	120	345	22.8
TOTAL	6475.4	12333	33.3

Martillo 3024335

Perforadora 11	Rendimiento (m)	Tiempo (min)	Velocidad (m/hr)
1-Ene	320	651	30.6
2-Ene	448	882	32.2
6-Ene	448	802	36.8
7-Ene	96	204	28.4
8-Ene	384	689	36.6
9-Ene	288	472	40.5
29-Dic	120	294	24.6
31-Dic	438	856	31.0
TOTAL	2542	4850	33.8

Martillo d00936

Perforadora 11	Rendimiento (m)	Tiempo (min)	Velocidad (m/hr)
10-Ene	224	422	32.3
12-Ene	626	905	43.7
14-Ene	258	475	35.3
15-Ene	204	316	39.8
18-Ene	270	620	26.3
22-Ene	12	32	22.5
23-Ene	204	367	35.3
26-Ene	320	554	36.7
27-Ene	128	288	27.1
28-Ene	224	455	32.4
TOTAL	2470	4434	35.4

Martillo d00908

Perforadora 12	Rendimiento (m)	Tiempo (min)	Velocidad (m/hr)
1-Nov	480	902	33.4
2-Nov	248	477	31.4
3-Nov	154	299	32.3
4-Nov	340	703	30.1
5-Nov	480	1007	28.9
6-Nov	96	216	27.1
7-Nov	68	135	30.6
TOTAL	1866	3739	30.9
Martillo 3024313			
Perforadora 12	Rendimiento (m)	Tiempo (min)	Velocidad (m/hr)
7-Nov	320	613	32.1
8-Nov	210	420	30.1
9-Nov	418	856	30.9
10-Nov	80	178	27.3
11-Nov	144	446	20.8
12-Nov	238	586	25.5
13-Nov	530	763	43.2
14-Nov	270	467	36.8
TOTAL	2210	4329	31.8
Martillo D00909			
Perforadora 12	Rendimiento (m)	Tiempo (min)	Velocidad (m/hr)
14-Nov	224	350	42.5
15-Nov	466	699	43.2
16-Nov	270	534	30.9
17-Nov	160	286	34.4
18-Nov	558	987	34.7
19-Nov	306	594	31.5
20-Nov	455	837	33.5
21-Nov	427	902	28.9
23-Nov	256	683	25.1
24-Nov	499	1075	28.1
25-Nov	288	489	39.9
26-Nov	297	642	30.1
27-Nov	248.8	489	31.2
30-Nov	192	469	26.4
1-Dic	16	38	25.3
2-Dic	184	387	31.6
3-Dic	165	339	30.5
4-Dic	162	330	31.7

7-Dic	314	632	31.6
8-Dic	460	954	29.6
9-Dic	90	195	27.8
10-Dic	390	780	31.5
11-Dic	618	1107	34.7
12-Dic	150	246	37.2
13-Dic	120	220	33.4
14-Dic	284	503	38.0
15-Dic	128	269	28.9
16-Dic	420	814	32.2
17-Dic	304	574	34.3
18-Dic	426	479	59.0
21-Dic	513	804	43.4
23-Dic	392	637	37.8
24-Dic	438	770	37.5
TOTAL	10220.8	19114	34.6
TOTAL GENERAL	32060.5	61678	33.4

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 9 Data Sheet de Broca DTH DHD 340A



Epiroc Drilling Tools

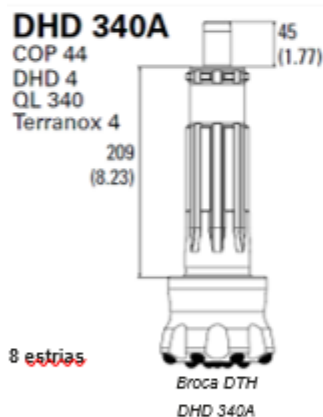
United in performance.
Inspired by innovation.

PRODUCTOS DTH

Broca de Botones DTH – DHD 340A

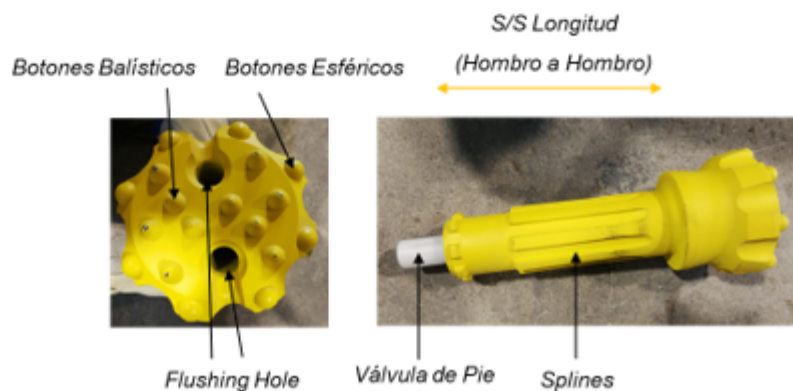
La broca DTH DHD 340A con NP:90513721, 90513720 y 90513722 pertenecen al rango de las brocas de botones – SpeedBit, la cual se caracteriza por lo siguiente:

- **Características de Diseño:** Tiene grandes botones esféricos en la periferie y balísticos en el frente. Además, tiene un excelente ángulo de luz para la eliminación del detritus. Cuenta con 8 estrías.
- **Aplicaciones:** Para formaciones medianamente duras a duras y abrasivas.
- Tiene válvula de pie reusable y reemplazable.
- Se puede realizar un fácil aguzado de los botones a través de un afilado de las mismas.



Diámetro	Product No	Nro Botón x diámetro (mm)		Angulo de Botón	Hoyos de flujo	Peso Kg
		Periferie	Frontales			
4 15/16"	90513721	8 x 14.5mm	10 x 12.7 mm	35°	2	9.7
4 3/4"	90513720	8 x 14.5mm	8 x 12.7 mm	35°	2	9
5 1/8"	90513722	8 x 14.5mm	10 x 12.7 mm	35°	2	9.7

Partes de una Broca DTH – DHD 340A



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 10 Data Sheet de Broca DTH QL50



Epiroc Drilling Tools

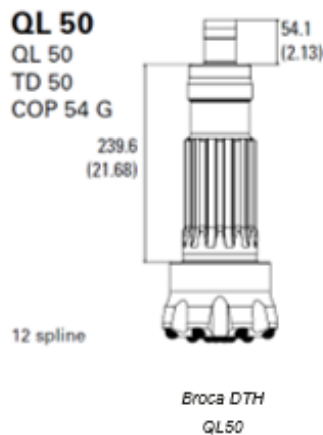
United in performance.
Inspired by innovation.

DTH Products

Broca de Botones DTH – QL50

La broca DTH QL50 pertenece al rango de las brocas de botones SpeedBit, la cual se caracteriza por lo siguiente:

- **Características de Diseño:** Tiene botones esféricos en la periferie y en la cara plana. Además, tiene un excelente ángulo de luz para la eliminación del detritus. Cuenta con 12 Splines.
- **Aplicaciones:** Para formaciones medianamente duras a duras y abrasiva.
- Tiene válvula de pie reusable y reemplazable.
- Se puede realizar un fácil aguzado de los botones a través de un afilado de las mismas.



Diámetro	No. Botón x diámetro (mm)		Angulo de Botón	Hoyos de flujo	Peso Kg
	Periferia	Frontales			
6 1/8"	8 x 19 mm Botones Esféricos	10 x 16 mm Botones Esféricos	35°	2	17.5

Partes de una Broca DTH – QL50



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 11 Prueba de Dureza Inserto Carburo de Tungsteno



Universidad Católica de Santa María

(51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado: 1350
AREQUIPA - PERÚ

**CENTRO DE PRODUCCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS DE ENSAYOS DE
MATERIALES DE LA EPIMMEM – UCSM**

REPORTE DE ANÁLISIS

Código: DP-024

Fecha de ejecución de ensayo: 06/05/2019

DATOS DEL CLIENTE

CLIENTE: Sr. Rodrigo Torres Cuadros

MATERIAL A ENSAYAR: Inserto de Carburo de Tungsteno

RESUMEN DE RESULTADOS

A continuación se detalla los resultados de acuerdo al código designado por el cliente:

Cód. Muestra	Ensayo/Propiedad	Resultado	Observaciones
DP-024	Dureza Rockwell A	89.10 HRA	Temperatura de trabajo: 21°C El material ensayo es una muestra de un inserto afilado de Carburo de Tungsteno de una broca que ha estado sometida a impacto y desgaste. Se realizaron 3 indentaciones.

NOTA:

- Las probetas fueron preparadas por el cliente.

Arequipa, 06 de mayo del 2019

BOLETA N° B005-00000273
Ensayo ejecutado por: Ing. Emilio Chire R.



ING. EMILIO CHIRE RAMIREZ
COORDINADOR DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
N° REG. CIP 23235



Universidad Católica de Santa María

(51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado: 1350

AREQUIPA - PERU

**CENTRO DE PRODUCCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS DE ENSAYOS DE
MATERIALES DE LA EPIMMEM – UCSM**

CONSTANCIA

El suscrito, Ing. Emilio Chire Ramírez, Coordinador del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la EPIMMEM, hace constar que:

El señor **TORRES CUADROS, Rodrigo**; ha efectuado 1 ensayo de dureza en escala Rockwell A, a un inserto afilado de Carburo de Tungsteno, cuyo resultado fue entregado en forma digital al interesado.

Se expide la presente solicitud al interesado.

Arequipa, 06 de mayo del 2019.

BOLETA N° B005-00000273

Ensayo ejecutado por: Ing. Emilio Chire R.



ING. EMILIO CHIRE RAMIREZ
COORDINADOR DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
N°REG. CIP 23235

Anexo 12 Registro de Brocas Afiladas y Desechadas

REGISTRO DE BROCAS AFILADAS Y DESECHADAS

FECHA:		CALIFICACIÓN (CAL)															
TÉCNICO RDT:		DESGASTE DE BOTONES		DB	FISURA												F
		DESGASTE DEL CUERPO		DC	PERDIDA DE BOTONES												PB
		REPERFORADA		R	OTRA												O
		ROTURA DE BOTÓN		RB													
FECHA																	
EQUIPO		CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.
TURNO A	AFILADA																
	DESECHADA																
TURNO B	AFILADA																
	DESECHADA																
OBSERVACIONES: _____																	
FECHA																	
EQUIPO		CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.
TURNO A	AFILADA																
	DESECHADA																
TURNO B	AFILADA																
	DESECHADA																
OBSERVACIONES: _____																	
FECHA																	
EQUIPO		CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.
TURNO A	AFILADA																
	DESECHADA																
TURNO B	AFILADA																
	DESECHADA																
OBSERVACIONES: _____																	
FECHA																	
EQUIPO		CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.	CÓD.	CAL.
TURNO A	AFILADA																
	DESECHADA																
TURNO B	AFILADA																
	DESECHADA																
OBSERVACIONES: _____																	

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 14 Propuesta Económica Pruebas Mina de Oro Diseminado-Taladros de Producción

PROPUESTA ECONÓMICA ETAPA DE PRUEBA: (Afilado de Brocas DTH)

Costo por metro perforado para el sistema DTH con Afilado de Brocas DTH.

Total Drilling Cost (TDC):

$$TDC = \frac{(PRECIO\ MARTILLO)}{(REND.\ MARTILLO)} + \frac{(PRECIO\ BROCA)}{(RENDIMIENTO\ DE\ BROCA)} + \frac{COSTO\ EQUIPO}{VELOCIDAD}$$

Ejemplo:

$$1. \quad TDC = \frac{4350 \$}{5000} / mt + \frac{790 \$}{900} / mt + \left(\frac{155 \$/hr}{50 mt/hr} \right) = 4.83 \$/mt$$

$$2. \quad TDC = \frac{4350 \$}{4700} / mt + \frac{790 \$}{700} / mt + \left(\frac{155 \$/hr}{47.5 mt/hr} \right) = 5.32 \$/mt$$

Nota:

1. Los 47.5 m/hr es un dato fijo extraído de la base de datos que la Mina de Yacimiento de oro diseminado nos envía, que es la velocidad de penetración promedio de los martillos en los últimos seis meses (julio a diciembre del 2017), valor que aumentara mientras los insertos de las brocas DTH se mantengan afiladas.
2. Los 700 mt de rendimiento de broca, es también un dato fijo en función al rendimiento histórico de sus brocas en fase de producción, el cual variará en función al triple afilado de insertos que se le haga alcanzando valores superiores.

En los ejemplos podemos observar lo siguiente teniendo en cuenta que se perforara en zona dura:

El ejemplo 1: se calculó con la velocidad garantizada con un incremento de 6% (47.5 mt/hr +6%). De igual forma, el rendimiento de las brocas con un incremento de 32% (700m + 32%)

El ejemplo 2: se tomó en cuenta la velocidad garantizada en función al histórico de la mina de (47.5 m/h). Podemos observar como varía el TDC final de 5.32 \$/mt a 4.83 \$/mt.

Por consiguiente, entendiendo que el objetivo de la prueba es el incremento del rendimiento de Brocas DTH a partir del afilado de insertos y de la velocidad, con lo cual ayudara a disminuir costos anuales en el área de perforación.

CONSIDERACIONES:

TDC : \$/metro perforado (según formula)

Incluye :

- ✓ Suministro de martillo y repuestos necesarios durante la prueba, se mantendrá un martillo en stand by, para evitar demoras en el momento de la reparación del martillo en prueba.
- ✓ Broca DTH con servicio de Afilado de Brocas de hasta 3 veces de acuerdo a como se encuentre en ese momento la broca DTH.
- ✓ Suministro de aceite de lubricación para el sistema DTH
- ✓ Soporte técnico para la instalación, reparación y seguimiento del martillo
- ✓ Un técnico especialista en DTH a tiempo completo para el seguimiento y reparación del martillo
- ✓ Soporte a tiempo parcial del especialista del producto.
- ✓ Brindar afilado de insertos de brocas DTH, por ende, copas de afilado y devastadora, así como el equipo BQ3 DTH.

Garantía : Incremento del rendimiento (metros) de las brocas DTH, así como, incremento de la velocidad promedio de martillos en 6%.

Tiempo de prueba ciclo de vida de 64 brocas DTH (incluidas las descartadas por falla de producto).

Inicio de prueba 03 de febrero 2018 al 28 de febrero 2018

SOPORTE TÉCNICO:

Durante la prueba, personal especialista estará presente para verificar el correcto funcionamiento del sistema DTH, así como la asistencia en el afilado de los insertos y brindar el soporte necesario.

Pre inicio de prueba

- ✓ Entrenamiento y evaluación de operadores en el manejo de la Afiladora BQ3 DTH (2 HRS)
- ✓ Check list de los puntos necesarios para el inicio de la prueba tanto en la perforadora como en la Afiladora
- ✓ Pruebas de pull down y aire al equipo donde se realizará la prueba

Requerimientos a la Minera

- ✓ Facilitar la información de TDC en la zona a probar, incluido los parámetros en el cálculo (vida útil & velocidad de perforación)
- ✓ Apoyo en los tramites de obtención de pases anuales al personal involucrado en la prueba
- ✓ Apoyo en la accesibilidad al equipo en prueba, durante todo el periodo de la misma (24 Horas)

Aprovechamos la ocasión para enviarles nuestro más cordial saludo.

Anexo 15 Propuesta Económica Pruebas Mina de Pórfido Cobre (Taladros de Pre-corte)

PROPUESTA ECONÓMICA ETAPA DE PRUEBA: (Afilado de Brocas DTH)

Costo por metro perforado para el sistema DTH con Afilado de Brocas DTH.

Total Drilling Cost (TDC):

$$TDC = \frac{(PRECIO MARTILLO)}{(REND. MARTILLO)} + \frac{(PRECIO BROCA)}{(RENDIMIENTO DE BROCA)} + \frac{COSTO EQUIPO}{VELOCIDAD}$$

Ejemplo:

$$1. \quad TDC = \frac{4350 \text{ \$/mt}}{4500} + \frac{850 \text{ \$/mt}}{1000} + \left(\frac{230 \text{ \$/hr}}{33.11 \text{ mt/hr}} \right) = 8.76 \text{ \$/mt}$$

$$2. \quad TDC = \frac{4350 \text{ \$/mt}}{4400} + \frac{850 \text{ \$/mt}}{750} + \left(\frac{230 \text{ \$/hr}}{32.8 \text{ mt/hr}} \right) = 9.13 \text{ \$/mt}$$

Nota:

1. Los 32.8 m/hr es un dato fijo extraído de la base de datos que la Mina de Pórfido de Cobre (taladros Precorte) nos envía, que es la velocidad promedio de los martillos DTH en los últimos seis meses (mayo a octubre del 2018), valor que aumentará mientras los insertos de las brocas DTH se mantengan afiladas.
2. Los 750 mt de rendimiento de broca, es también un dato fijo en función al rendimiento histórico de sus brocas en fase de pre-corte, el cual variará en función al triple afilado de insertos que se le haga alcanzando valores superiores.

En los ejemplos podemos observar lo siguiente teniendo en cuenta que se perforara en zona dura:

El ejemplo 1: se calculó con la velocidad garantizada con un incremento de 1.1% (32.8 ~~mt/hr~~ + 1.1%). De igual forma, el rendimiento de las brocas con un incremento de 43% (750m + 43%)

El ejemplo 2: se tomó en cuenta la velocidad garantizada en función al histórico de la mina de (32.8 m/h). Podemos observar como varía el TDC final de 9.13 \\$/mt a 8.76 \\$/mt.

Por consiguiente, entendiendo que el objetivo de la prueba es el incremento del rendimiento de Brocas DTH a partir del afilado de insertos y de la velocidad de los martillos, con lo cual ayudará a disminuir costos anuales en el área de perforación (taladros pre corte).

CONSIDERACIONES:

TDC : \$/metro perforado (según fórmula)

Incluye :

- ✓ Suministro de martillo y repuestos necesarios durante la prueba, se mantendrá un martillo en stand by, para evitar demoras en el momento de la reparación del martillo en prueba.
- ✓ Broca DTH con servicio de Afilado de Brocas de hasta 3 veces de acuerdo a como se encuentre en ese momento la broca DTH.
- ✓ Suministro de aceite de lubricación para el sistema DTH
- ✓ Soporte técnico para la instalación, reparación y seguimiento del martillo
- ✓ Un técnico especialista en DTH a tiempo completo para el seguimiento y reparación del martillo
- ✓ Soporte a tiempo parcial del especialista del producto.
- ✓ Brindar afilado de insertos de brocas DTH, por ende, copas de afilado y devastadora, así como el equipo BQ3 DTH.

Garantía : Incremento del rendimiento (metros) de las brocas DTH, así como, incremento de la velocidad de penetración actual en 1.1%.

Tiempo de prueba ciclo de vida de 46 brocas DTH (incluidas las descartadas por falla de producto).

Inicio de prueba noviembre 2018 a diciembre del 2018

SOPORTE TÉCNICO:

Durante la prueba, personal especialista estará presente para verificar el correcto funcionamiento del sistema DTH, así como la asistencia en el afilado de los insertos y brindar el soporte necesario.

Pre inicio de prueba

- ✓ Entrenamiento y evaluación de operadores en el manejo de la Afiladora BQ3 DTH (2 HRS)
- ✓ Check list de los puntos necesarios para el inicio de la prueba tanto en la perforadora como en la Afiladora.
- ✓ Pruebas de pull down y aire al equipo donde se realizará la prueba

Requerimientos a la Minera|

- ✓ Facilitar la información de TDC en la zona a probar, incluido los parámetros en el cálculo (vida útil & velocidad de perforación)
- ✓ Apoyo en los tramites de obtención de pases anuales al personal involucrado en la prueba
- ✓ Apoyo en la accesibilidad al equipo en prueba, durante todo el periodo de la misma (24 horas)

Aprovechamos la ocasión para enviarles nuestro más cordial saludo.