

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



TESIS

**APLICACIÓN DE LAS BROCAS XIZUAN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD
EN PERFORACION DIAMANTINA-EMPRESA PMG SHOUKAN S.R.L. MINA
SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A. – ICA**

PRESENTADO POR:

Br: DARWIN VEGA CHURA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO DE MINAS**

ASESOR:

MGT. RAIMUNDO MOLINA DELGADO

CUSCO - PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor RAIMUNDO MOLINA DELGADO
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: APLICACIÓN DE LAS BROCAS XIZUAN
PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN PERFORACIÓN
DIAMANTINA - EMPRESA PMG SHOUKAN S.R.L. MINA
SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A. - ICA

Presentado por: DARWIN VEGA CHURA DNI N° 48768763;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO DE MINAS

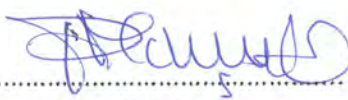
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de
Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto**
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 20 de OCTUBRE de 2025


Firma

Post firma Ing. RAIMUNDO MOLINA DELGADO

Nro. de DNI 23912083

ORCID del Asesor 0000-0003-0291-2700

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:514901214

Darwin Vega

“APLICACIÓN DE LAS BROCAS XIZUAN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN PERFORACION DIAMANTINA-EMPRESA...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::27259:514901214

Fecha de entrega

18 oct 2025, 11:39 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

18 oct 2025, 11:41 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

DARWIN VEGA CHURA.pdf

Tamaño del archivo

3.4 MB

114 páginas

16.056 palabras

94.042 caracteres

10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
32 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A mi querida madre, Senovia Chura Tapara por su sacrificio y amor incondicional en todo momento de mi formación personal y profesional.

A mi adorada hija Danna Georgeth Vega Pilco, quien es fuente de inspiración, motivación y sacrificio para lograr mis metas.

AGRADECIMIENTO

A dios, por guiarme y darme sabiduría para afrontar los obstáculos que se presentan en la vida, por ser mi fortaleza en momentos de debilidad y por darme salud que me permitirá seguir adelante en el camino que tiene preparado para mí.

A mis padres y hermanos que me acompañaron y aconsejaron en momentos de dificultad.

A mi querida casa de estudios Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco y a los docentes de la escuela profesional de ingeniería de minas, quienes me brindaron los conocimientos necesarios para desenvolverme profesionalmente.

A la empresa PMG Shoukan S.R.L. por brindarme el apoyo y la oportunidad laboral para profundizar mis conocimientos profesionales y poder realizar esta tesis.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis se realiza en base a la implementación de brocas de perforación diamantina de la marca Xizuan en reemplazo de las brocas Fordia, ya que esto implica una mejora en la productividad debido a la diferencia en los costos de adquisición y manteniendo los parámetros de perforación con los que trabajan las brocas Fordia.

El trabajo realizado tiene por objetivo demostrar que el uso de las brocas Xizuan son económica y técnicamente factibles dentro de la formación geológica Marcona, para ello se ha estructurado en cuatro capítulos, que son los siguientes:

Capítulo I: Planteamiento del problema con la formulación respectiva, seguido de los objetivos de la investigación, la justificación e importancia de la investigación, los alcances, el tipo y nivel de investigación, así como la determinación de la población y muestra para finalmente mencionar las técnicas y los instrumentos de recolección de datos.

Capítulo II: Referido al marco teórico, se abordan generalidades del ámbito de estudio, antecedentes, teorías, definiciones y finalmente se plantea una hipótesis identificando las variables de estudio.

Capítulo III: Referido la metodología de la investigación, se menciona la metodología y a los instrumentos empleados para la realización de la presente investigación.

Capítulo IV: Sobre la selección de las brocas Xizuan en el proceso de perforación diamantina donde se visualiza los parámetros de perforación.

Capítulo V: Referido al análisis de los datos numéricos encontrados haciendo una comparación minuciosa de los costos y los parámetros de perforación.

RESUMEN

La presente investigación se centra en la mejora de la productividad en perforación diamantina mediante la aplicación de brocas Xizuan, en comparación con las brocas Fordia, en la empresa PMG Shoukan S.R.L., ubicada en la Mina Shougang Hierro Perú S.A.A. – Ica. El objetivo fue implementar el uso de las brocas Xizuan para mejorar la productividad, evaluando sus parámetros técnicos operativos y costos, con respecto a las condiciones geológicas de la formación Marcona. Se trata de una investigación de tipo aplicada, con un nivel descriptivo-explicativo, y un diseño no experimental. La población estuvo constituida por las plataformas de perforación activas en la empresa, y la muestra seleccionada correspondió a los trabajos realizados con la máquina Core Tech CSD 1300L. Durante el estudio se realizó un análisis técnico económico entre las brocas Xizuan y Fordia, considerando los metros perforados, la vida útil de las brocas y el costo por metro. Los resultados demostraron que las brocas Xizuan, ofrecen una mejor rentabilidad por metro perforado debido a su menor costo de adquisición, cumpliendo así con los KPI establecidos sin comprometer la calidad ni la eficiencia operativa. Por lo tanto, se concluye que la implementación de las brocas Xizuan reduce los costos operativos en perforación diamantina. Los parámetros técnicos (rotación, presión y fluido) se mantienen en rangos óptimos, asegurando eficiencia. Se obtiene una rentabilidad promedio de 68.57 \$/m con Xizuan frente a 63.71 \$/m con Fordia, confirmando su viabilidad técnica y económica en contextos geológicos similares representando una alternativa para optimizar recursos.

Palabras clave: Perforación diamantina, Brocas Xizuan, Productividad, Parámetros técnicos.

ABSTRACT

This research focuses on improving productivity in diamond drilling through the use of Xizuan bits, compared with Fordia bits, in the company PMG Shoukan S.R.L., located at Shougang Hierro Perú S.A.A. – Ica. The objective was to implement the use of Xizuan bits to enhance productivity by evaluating their technical operating parameters and costs in relation to the geological conditions of the Marcona formation. The study is applied research, with a descriptive–explanatory scope and a non-experimental design. The population consisted of the company’s active drilling platforms, and the selected sample corresponded to the work carried out with the Core Tech CSD 1300L drill rig. A technical and economic analysis was conducted between Xizuan and Fordia bits, considering drilled meters, bit life span, and cost per meter. The results showed that Xizuan bits provide greater profitability per drilled meter due to their lower acquisition cost, thus meeting the established KPIs without compromising quality or operational efficiency. Therefore, it is concluded that the implementation of Xizuan bits reduces operating costs in diamond drilling. The technical parameters (rotation, pressure, and fluid) remain within optimal ranges, ensuring efficiency. An average profitability of \$68.57/m was obtained with Xizuan compared to \$63.71/m with Fordia, confirming their technical and economic viability in similar geological contexts and representing an alternative to optimize resources.

Keywords: Diamond drilling, Xizuan drill bits, Productivity, Operating costs, Technical parameters, PMG Shoukan, Shougang Mine.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INTRODUCCIÓN	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INDICE GENERAL	vii
INDICE DE TABLAS	xiv
INDICE DE FIGURAS.....	xv
CAPITULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1 Problema General.....	2
1.2.2 Problemas Específicos.	2
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	3
1.3.1 Objetivo Principal	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION.	3
1.5 ALCANCES.	4

vii

1.6	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACION.....	4
1.6.1	Hipótesis general.....	4
1.6.2	Hipótesis específica	4
1.7	VARIABLES E INDICADORES.....	4
1.7.1	Variables dependientes	4
1.7.2	Variables independientes	4
CAPITULO II		6
MARCO TEÓRICO.....		6
2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2.1.1	Antecedentes Internacionales.....	6
2.1.2	Antecedentes Nacionales	7
2.2	BASES TEORICAS.....	8
2.2.1	Perforación Diamantina.	8
2.2.2	Elementos que Intervienen en la Perforación Diamantina.....	9
2.2.2.1	Máquina Perforadora	9
2.2.2.2	Columna de Perforación	10
2.2.2.3	Brocas de Perforación	11
2.2.2.4	Escariador (Reaming Shell)	12
2.2.2.5	Tubos de Revestimiento (Casing)	13
2.2.2.6	Estabilizador de Tubo Interior (Inner Tube Stabilizer)	13

2.2.2.7 Tubos de Perforación (outer tube)	13
2.2.2.8 Anillo de Aterrizaje (Landing Ring)	14
2.2.2.9 Candado (Locking Coupling)	14
2.2.2.10 Porta Resorte (Core Lifter Case)	15
2.2.2.11 Resorte (Core Lifter)	15
2.2.2.12 Anillo Tope (Stop Ring)	16
2.2.2.13 Tubo porta testigos (Corel barrel)	16
2.2.2.14 Cabezal (Head Assembly)	17
2.2.3 Procedimiento de pre Perforación Diamantina	17
2.2.3.1 Habilitación de Accesos	17
2.2.3.2 Preparación plataforma de perforación	17
2.2.3.3 Acondicionamiento de Pozas de Agua y Relave	18
2.2.3.4 Estandarización del Punto de Sondaje	19
2.2.3.5 Traslado de Punto de Sondaje	19
2.2.3.6 Charla de Seguridad	20
2.2.4 Procedimiento de Perforación Diamantina	21
2.2.4.1 Lodo de Perforación	21
2.2.4.2 Bomba de Lodos	22
2.2.4.3 Puesta en marcha de la Perforación diamantina	22
2.2.4.4 Torque o Atrapamiento	23

2.2.4.5 Extracción de Tubo Interior	23
2.2.5 Procedimiento De Post Perforación Diamantina	23
2.2.5.1 Extracción del testigo	23
2.2.5.2 Corrida	24
2.2.5.3 Caja de Muestra	24
2.2.5.4 Tacos de Perforación	25
2.2.5.5 Medición de Sondaje	25
2.2.5.6 Finalización de Sondaje	26
2.2.6 Productividad en perforación diamantina	26
CAPITULO III.....	28
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	28
3.1 METODOLOGIA	28
3.1.1 Tipo de investigación.....	28
3.1.2 Nivel de investigación.....	28
3.1.3 Diseño de investigación	28
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	29
3.2.1 Población.....	29
3.2.2 Muestra	29
3.3 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACION	29
3.3.1 Técnicas de recolección de datos	29

3.3.2 Técnicas de Procesamiento y análisis de datos.....	29
3.3.3 Instrumentos de investigación.....	30
CAPITULO IV.....	31
APLICACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS BROCAS XIZUAN.	31
4.1 DISEÑO Y SELECCIÓN DE BROCAS.....	31
4.1.1 Características y especificaciones técnicas de las brocas.	31
4.1.1.1 Brocas con diamantes insertados.	31
4.1.1.2 Brocas con diamantes impregnados.	32
4.1.2 Composición y propiedades del diamante.	36
4.1.3 Consideraciones en la selección de brocas.	36
4.1.3.1 Dureza	36
4.1.3.2 Escala de Mohs	37
4.1.3.3 Desgaste de brocas	38
4.1.4 Consideraciones en la selección de brocas.	44
4.1.4.1 El código DCDMA.	44
4.1.4.2 Velocidad de rotación y potencia.	46
4.1.4.3 Información geológica:	46
4.1.4.4 Grado penetración y avance	46
4.1.4.5 Modo general.	46
4.2 PARAMETROS DE PERFORACION.....	47

4.2.1 Velocidad de rotación.	47
4.2.2 Presión.....	48
4.2.3 Velocidad del fluido.....	49
4.3 SELECCIÓN DE BROCAS XIZUAN.....	49
4.4 PARAMETROS DE PERFORACION EMPLEANDO BROCAS XIZUAN.....	52
4.4.1. Velocidad de rotación.	52
4.4.2. Presión.....	52
4.4.3. Velocidad del fluido.....	53
4.5 DEFINICION DE TERMINOS BASICOS.	53
CAPITULO V.....	56
ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUSION.....	56
5.1 ANÁLISIS CON BROCAS XIZUAN.....	57
5.2 ANÁLISIS CON BROCAS FORDIA.	61
5.3 RESULTADOS.....	65
5.3.1 Comparación de resultados.	65
5.4 DISCUSION	63
CONCLUSIONES:	65
RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	67
ANEXO I	69

1	DESCRIPCIÓN DE LA MINA	69
1.1	DELIMITACION GEOGRAFICA.....	69
1.1.1	Ubicación.....	70
1.1.2	Accesibilidad.....	70
1.1.3	Relieve	71
1.1.4	Clima.....	71
1.1.5	Flora y fauna	72
1.2	ANÁLISIS DE GEOLÓGICO MINERALÓGICO	73
1.2.1	Geología regional.....	73
1.2.2	Geología estructural	74
1.2.3	Geología económica.....	75
1.2.4	Estratigrafía.....	76
1.2.5	Tipo de yacimiento	78
1.2.6	Mineralogía	78
	ANEXO 2.....	80
	BROCAS XIZUAN DE DIAMANTE IMPREGNADO	80
	ANEXO 3.....	81
	CAJAS DE ACUMULACION DE TESTIGOS.....	81
	ANEXO 4.....	82
	CABEZAL DE TUBO INTERIOR Y PESCADOR	82

ANEXO 5.....	82
ANEXO 6.....	83
ANEXO 7.....	85
ANEXO 8.....	87

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Operacionalización de variables</i>	5
Tabla 2 <i>Operacionalización de Variables</i>	11
Tabla 3 <i>Diámetros Interiores y Exteriores de las Brocas de Perforación.....</i>	11
Tabla 4 <i>Escala de Mohs</i>	37
Tabla 5 <i>Tabla de Valores Por Tipo de Terreno</i>	45
Tabla 6 <i>Comparación de brocas de perforación Xizuan y Fordia</i>	51
Tabla 7 <i>Análisis de Costos con Brocas Xizuan.....</i>	58
Tabla 8 <i>Costos de Mano de obra por Metro.....</i>	59
Tabla 9 <i>Costo de Maquina Perforadora por Metro.....</i>	59
Tabla 10 <i>Costo de Materiales por Metro.....</i>	60
Tabla 11 <i>Costo de Aditivos de Perforación por Metro.....</i>	60
Tabla 12 <i>Análisis de Costos con Brocas Fordia.....</i>	62
Tabla 13 <i>Costo de Mano de Obra por Metro.....</i>	63
Tabla 14 <i>Costo de Maquina Perforadora por Metro.....</i>	63
Tabla 15 <i>Costo de Materiales de Perforación por Metro.....</i>	64

Tabla 16 <i>Costos de Aditivos de Perforación por Metro.</i>	65
---	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Maquina perforadora CSD 1300L.</i>	9
Figura 2 <i>Columna de Perforación Básica).</i>	10
Figura 3 <i>Broca Impregnada con Diamante.</i>	12
Figura 5 <i>Estabilizador de tubo interior. .</i>	13
Figura 6 <i>Tubos de perforación.</i>	14
Figura 7 <i>Landind ring.</i>	14
Figura 8 <i>Core lifter case</i>	15
Figura 9 <i>Core lifter</i>	15
Figura 10 <i>Stop ring</i>	16
Figura 11 <i>Tubo interior.</i>	16
Figura 12 <i>Head assembly.</i>	17
Figura 13 <i>Head Pozos de agua y relave..</i>	18
Figura 14 <i>Estandarización de puntos de sondaje.</i>	19
Figura 15 <i>Desplazamiento de equipo de perforación.</i>	20
Figura 16 <i>Charlas de seguridad.</i>	20
Figura 17 <i>Lodo de Perforación.</i>	21
Figura 18 <i>Testigos Extraídos.</i>	24
Figura 19 <i>Cajas de muestra</i>	25
Figura 20 <i>Monumento Final de un Punto de Sondaje</i>	26
Figura 21 <i>Secciones de corona de inserción y concreción</i>	32

Figura 22 <i>Brocas con diamantes impregnadas</i>	32
Figura 23 <i>Vía de agua recta</i>	33
Figura 24 <i>Vía de agua inclinada</i>	34
Figura 25 <i>Vía de agua ancha</i>	34
Figura 26 <i>Vía de agua ancha</i>	34
Figura 27 <i>Vía de agua recta</i>	35
Figura 28 <i>Altura de impregnación</i>	35
Figura 29 <i>Corona con desgaste ideal.</i>	38
Figura 30 <i>Corona con desgaste interior.</i>	39
Figura 31 <i>Corona con desgaste Exterior.</i>	40
Figura 32 <i>Corona con Diamantes Sobrexpuestos</i>	41
Figura 33 <i>Corona con Cara Quemada..</i>	42
Figura 34 <i>Corona con Vía de Agua Fracturada</i>	43
Figura 35 <i>Corona con Desgaste Convexo</i>	44

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La perforación diamantina es una actividad clave en la exploración minera, pues proporciona información directa del subsuelo a través de testigos de roca, esenciales para la planificación, evaluación y expansión de proyectos mineros. En este contexto, la eficiencia técnica y económica del proceso depende, en gran medida, de la selección adecuada de herramientas, siendo la broca de perforación uno de los componentes más críticos.

En la empresa PMG Shoukan S.R.L., operadora en la Mina Shougang Hierro Perú S.A.A., se ha utilizado tradicionalmente brocas de la marca Fordia, reconocidas por su calidad y rendimiento. Sin embargo, su alto costo de adquisición constituye una limitación para la optimización de recursos, especialmente en perforaciones de largo alcance (hasta 800 metros) y bajo condiciones geológicas exigentes, como las presentes en la formación Marcona.

Ante esta problemática, surge la propuesta de implementar las brocas Xizuan, que presentan características técnicas comparables, pero con un costo significativamente menor. Su

aplicación permitiría reducir los costos operativos por metro perforado sin afectar los parámetros técnicos ni la calidad del testigo recuperado.

No obstante, al tratarse de una herramienta fundamental del proceso, es necesario realizar una evaluación técnica, económica y operativa que valide su efectividad en condiciones reales de trabajo. Esta necesidad cobra mayor relevancia debido a la escasez de investigaciones académicas que documenten la aplicación de estas brocas en contextos similares.

En consecuencia, el problema central consiste en determinar de qué manera la implementación de brocas Xizuan puede mejorar la productividad y rentabilidad de las operaciones de perforación diamantina, evaluando si esta nueva herramienta representa una solución viable, sostenible y eficiente frente a la alternativa tradicional.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema General.

- ¿Cómo implementar el uso de las brocas Xizuan para mejorar la productividad en perforación diamantina en la empresa PMG Shoukan S.R.L. mina Shougang hierro Perú?

1.2.2 Problemas Específicos.

- ¿Cuáles son los parámetros técnicos operativos aplicando las brocas Xizuan para mejorar la productividad en perforación diamantina en la empresa PMG Shoukan S.R.L. mina Shougang hierro Perú?
- ¿Qué costos generará con la aplicación de las brocas Xizuan para mejorar la productividad en la perforación diamantina en la empresa PMG Shoukan S.R.L. mina Shougang hierro Perú?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.3.1 Objetivo Principal

- Implementar el uso de las brocas Xizuan para mejorar la productividad en perforación diamantina en la empresa PMG Shoukan S.R.L mina Shougang hierro Perú.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros técnico operativos usando las brocas Xizuan para mejorar la productividad en perforación diamantina en la empresa PMG Shoukan S.R.L mina Shougang hierro Perú.
- Determinar los costos operativos usando las brocas Xizuan para mejorar la productividad en la perforación diamantina en la empresa PMG Shoukan S.R.L mina Shougang hierro Perú.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION.

La perforación diamantina ha venido implementado cada vez más equipos y materiales sofisticados para desarrollar una mejor producción. En este contexto, la elección de las brocas de perforación adecuadas es esencial para garantizar la eficiencia y rentabilidad de las operaciones. Con esta investigación pretendemos dar a conocer una evaluación detallada y exhaustiva de las brocas de perforación diamantina de la marca Xizuan utilizadas en la empresa PMG Shoukan S.R.L., desde una perspectiva técnica y económica.

1.5 ALCANCES.

El presente trabajo de investigación será aplicable netamente en la perforación diamantina con el método wireline en perforaciones verticales -90° y en zonas mineralógicas semejantes a la formación Marcona.

1.6 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACION.

1.6.1 Hipótesis general

- Con la aplicación de las brocas Xizuan mejora la productividad en perforación diamantina en la empresa PMG Shoukan S.R.L mina Shougang hierro Perú.

1.6.2 Hipótesis específica

- La determinación de los parámetros técnico operativos usando las brocas Xizuan mejora la productividad en perforación diamantina en la empresa PMG Shoukan S.R.L mina Shougang hierro Perú.
- La determinación de los costos operativos usando las brocas Xizuan mejora la productividad en la perforación diamantina en la empresa PMG Shoukan S.R.L mina Shougang hierro Perú.

1.7 VARIABLES E INDICADORES

1.7.1 Variables dependientes

Mejoramiento de la productividad:

1.7.2 Variables independientes

Aplicación de las brocas Xizuan:

Tabla 1 Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSION	INDICADORES
Variable Dependiente: Mejoramiento de la productividad	Vida útil de las brocas Xizuan.	-metros perforados -S /ml
Variable Independiente: Aplicación de las brocas Xizuan	-Parámetros técnicos operativos de perforación diamantina usando brocas Xizuan. -Costos de perforación diamantina.	- kpis. -\$/ml

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Vynohradova, O. P., Zakora, A. P., Shul’zhenko, A. A., Gargin, V. G., Sokolov, A. N., D. V. Efrosinin, I. A. Zakora (2022) “Comparative Evaluation of the Performance of Drill Bits with a Diamond-Containing Matrix and Inserts Made of Diamond-Containing Composites.”- Artículo científico - *Journal of Superhard Materials*, Springer-Rusia.

El objetivo de la investigación fue de comparar el desempeño de brocas con matriz diamantada equipadas con diferentes tipos de insertos compuestos: los tradicionales resistentes al calor (DCTM) y un nuevo material composite resistente al desgaste (DCWM). El estudio se

realizó utilizando granito de la categoría X de Korostyshevsky como material de prueba, en condiciones de laboratorio, evaluando parámetros como resistencia al desgaste, calidad de la superficie perforada y rugosidad del fondo de pozo.

Los autores concluyeron que las brocas con insertos fabricados con el nuevo material DCWM obtuvieron un desempeño superior frente a las de DCTM, mostrando mayor resistencia al desgaste, mejor acabado de la superficie perforada y menor rugosidad del fondo de pozo. Estos resultados evidencian que el uso de nuevos compuestos diamantados puede incrementar la productividad y la durabilidad de las brocas diamantinas en rocas duras, constituyendo una alternativa eficaz para la optimización de costos en operaciones de perforación.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Alaguien Uriel, A. J. (2019). “optimización de costos de perforación diamantina mediante las brocas hayden en la contrata minera Explomin Del Perú S.A. – Unidad Minera San Rafael – Puno” – Tesis. - Universidad nacional del altiplano-Perú.

El objetivo de la investigación es optimizar los costos de perforación diamantina en la zona San Germán de la Contrata Minera Explomin del Perú S.A. – Unidad Minera San Rafael – Puno.

Como conclusión se tiene que mediante el uso de las brocas JC Portal, los costos de perforación diamantina ha sido de 11,44 US\$/m en la zona San Germán de la Contrata Minera Explomin del Perú S.A. – Unidad Minera San Rafael – Puno.

Los costos de perforación diamantina al utilizar las brocas Hayden ha sido de 10,50 US\$/m, en la zona San Germán de la Contrata Minera Explomin del Perú S.A. – Unidad Minera San Rafael – Puno.

El costo de perforación diamantina se ha optimizado de 11,44 US\$/m a 10,50 US\$/m mediante el uso de las brocas Hayden, haciendo una diferencia de 0,94 US\$/m, en la zona San Germán de la Contrata Minera Explomin del Perú S.A. – Unidad Minera San Rafael – Puno.

Chavez Quispe, W. (2019). “Incremento de la productividad en perforación diamantina mediante la aplicación de brocas impregnadas en la Unidad Minera Tintaya – Cusco” – Tesis – Universidad nacional de san Antonio Abad del Cusco-Perú.

El objetivo de la investigación fue evaluar el impacto del uso de brocas impregnadas de diamante en la productividad de la perforación diamantina en la Unidad Minera Tintaya – Cusco, mediante la comparación con brocas convencionales en términos de metros perforados, costo por metro, vida útil y velocidad de penetración.

Como conclusión se tiene que la aplicación de brocas impregnadas de diamante permitió incrementar la productividad en un 15 % y reducir el costo por metro perforado en un 10 % en comparación con el uso de brocas convencionales. Asimismo, se concluyó que la selección adecuada de la broca en función de la litología es un factor determinante para mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos en la perforación diamantina en minería subterránea.

2.2 BASES TEORICAS

2.2.1 Perforación Diamantina.

La perforación diamantina es un proceso que utiliza una broca con incrustaciones de diamante, junto con máquinas y accesorios, para cortar rocas en un área específica. Los fragmentos de roca y suelo obtenidos durante la perforación se conocen como testigos.

2.2.2 Elementos que Intervienen en la Perforación Diamantina

2.2.2.1 Máquina Perforadora

Es un equipo de sistema hidráulico que posee un chasis para su desplazamiento sobre orugas que transmite energía para rotar el cabezal que contiene la columna de perforación, sostiene y genera empuje sobre la columna de perforación cuando lo requiera.

Posee un castillo de perforación y tiene dos sistemas de izaje, uno principal que soporta toda la carga de la columna de perforación y otro secundario llamado también “wireline” que se encarga de introducir y retirar la porta testigo o tubo interior.

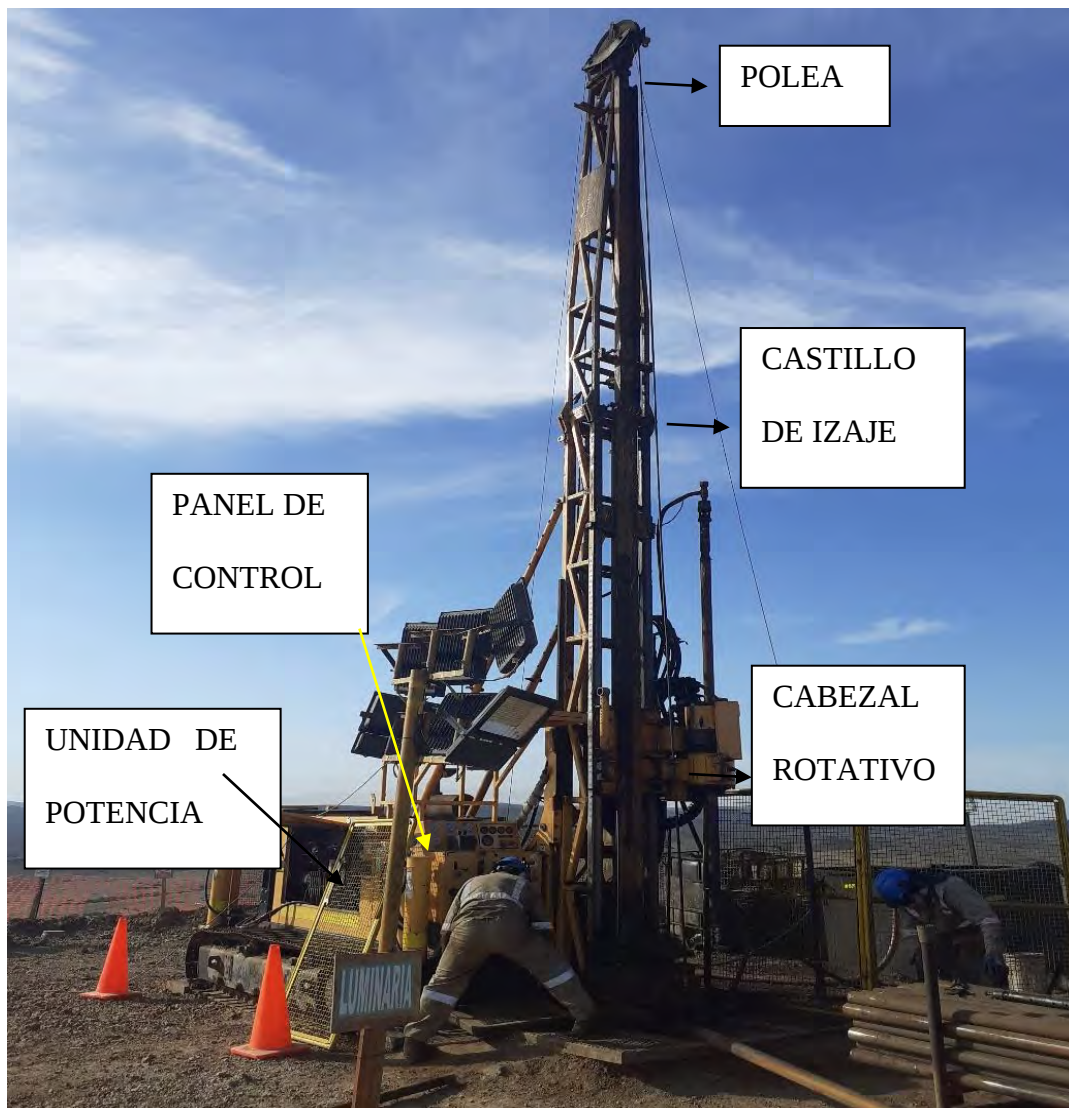


Figura 1 Máquina perforadora CSD 1300L (Fuente: propia).

2.2.2.2 Columna de Perforación

Es el conjunto de accesorios que transmite la energía generada por la maquina perforadora hacia el pozo, así mismo permite la circulación de los fluidos o lodo de perforación en la realización del pozo. La columna de perforación se muestra en la figura 2 con el detalle de sus partes.

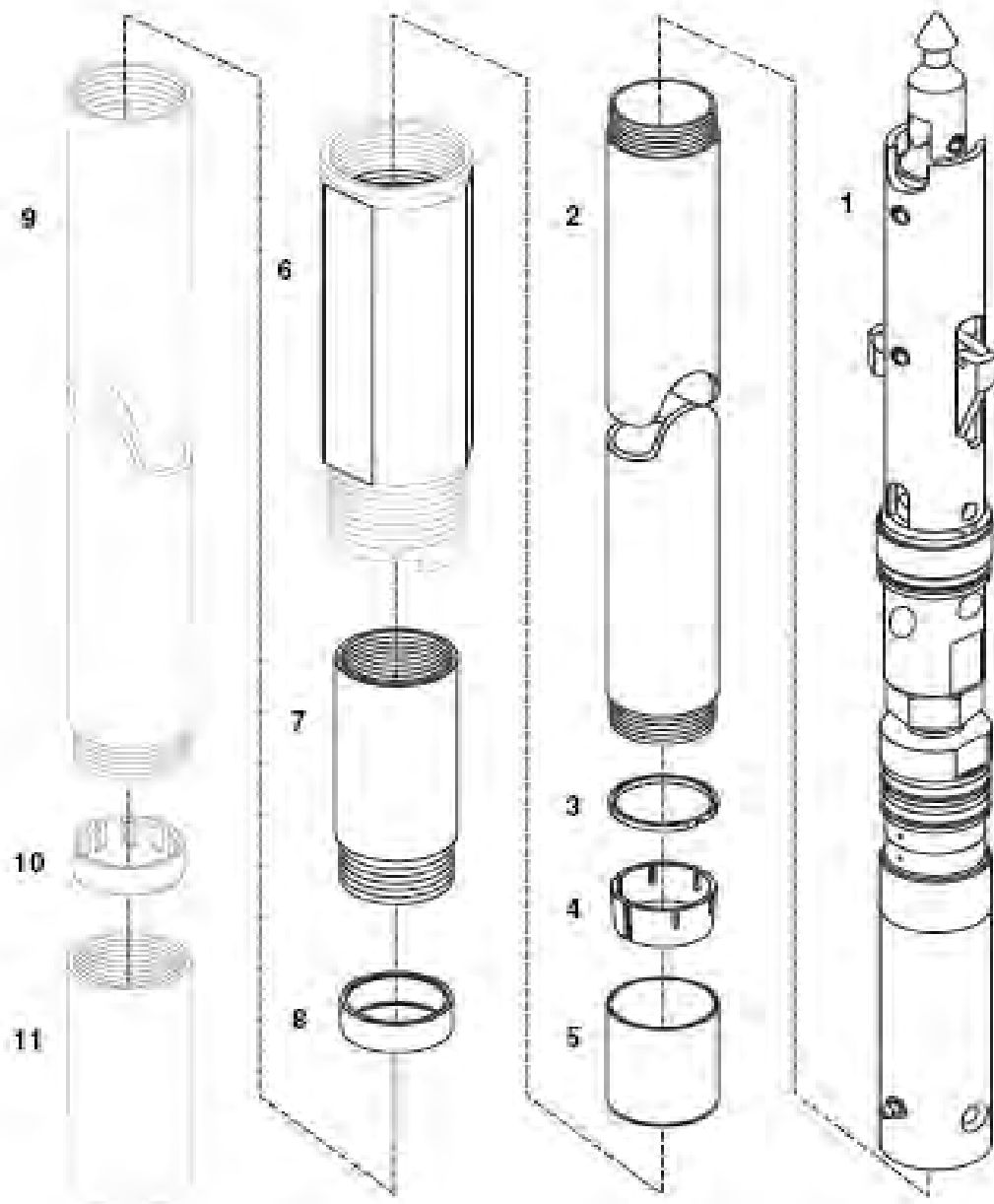


Figura 2 Columna de Perforación Básica (Fuente: Manuel Gaona – Accesorios de perforación).

Tabla 2 Partes de la columna de perforación

N°	NOMBRE
1	HEAD ASSEMBLY (CABEZAL)
2	INNER TUBE (TUBO INTERIOR)
3	STOP RING (SEGURO)
4	CORE LIFTER (RESORTE)
5	CORE LIFTER CASE (ZAPATA)
6	LOCKING COUPLING (CANDADO)
7	ADAPTER COUPLING (PORTA CANDADO)
8	LANDING RING (ANILLO DE ACERO)
9	OUTER TUBE (BARREL)
10	INNER TUBE STABILIZER (ANILLO DE BRONCE)
11	THREAD PROTECTOR

Fuente: *Elaboración Propia.*

2.2.2.3 Brocas de Perforación

Es la pieza que hace contacto con el macizo rocoso, determina el diámetro del pozo a perforar y se encarga de cortar la roca en forma cilíndrica para que esta pueda ingresar al tubo interior o porta testigo para obtener la muestra que es el objetivo de la perforación. Existen diferentes diámetros de brocas sin embargo los más convencionales son:

Tabla 3 Diámetros Interiores y Exteriores de las Brocas de Perforación.

Tamaño	Diámetro interior o del Testigo	Diámetro exterior o del pozo
PQ	85 mm	126,6 mm
HQ	63,5 mm	96 mm
NQ	47,6	75,7 mm

Fuente: *Elaboración Propia.*

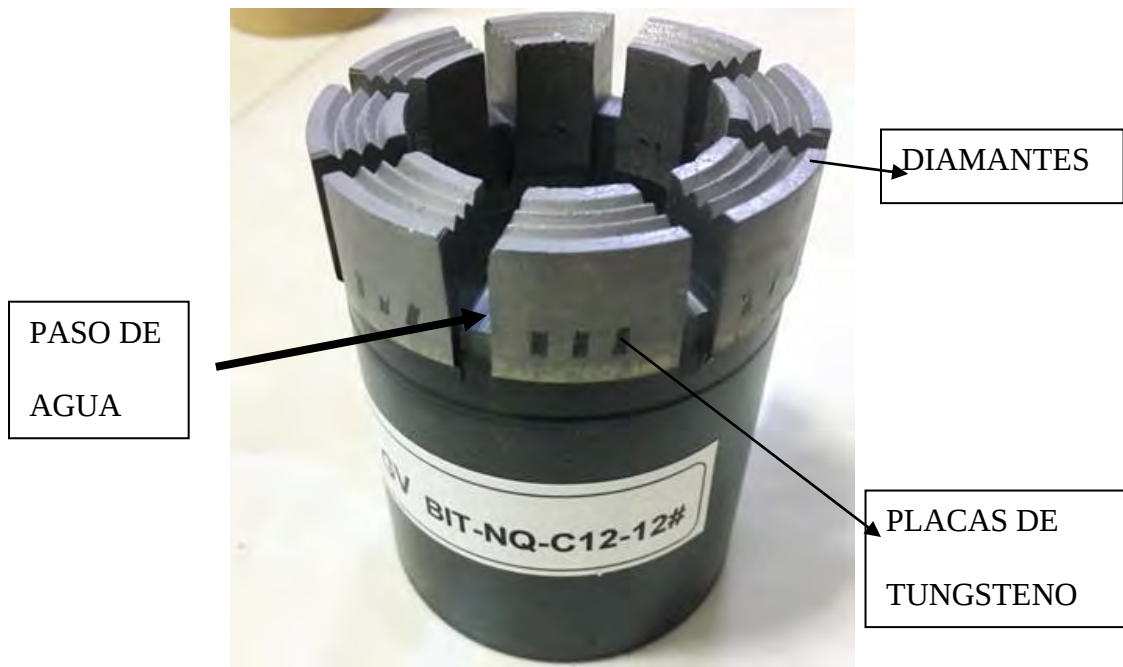


Figura 3 Broca Impregnada con Diamante. (Fuente: Guizhou Vilong Equipment Co., Ltd)

2.2.2.4 Escariador (Reaming Shell)

También denominado ensanchador, tiene como objetivo principal mantener el diámetro de la perforación realizada por la corona hasta el final del sondaje, eso hace que la nueva corona que se introduzca no sufrirá atascamiento y mantendrá el pozo libre de atascamiento sin problemas de desgaste para toda la columna de perforación. Los diámetros que existen, van de la mano con el diámetro de las coronas de perforación.



Figura 4 Reaming Shell Impregnada con Diamante (Fuente: Guizhou Vilong Equipment Co., Ltd).

2.2.2.5 Tubos de Revestimiento (Casing)

Son aquellos tubos metálicos que se encargan de estabilizar el pozo previniendo derrumbes en zonas críticas, protegen las paredes del pozo de un posible atascamiento. Poseen un diámetro mayor al de los tubos exteriores.

2.2.2.6 Estabilizador de Tubo Interior (Inner Tube Stabilizer)

Es un anillo de bronce que encaja en el escariador y como su nombre lo indica tiene la función de estabilizar el tubo interior durante el proceso de perforación, es decir mantenerlo alineado con el núcleo de la broca.



Figura 5 Estabilizador de tubo interior. (Fuente: Propia).

2.2.2.7 Tubos de Perforación (outer tube)

Son tubos de acero de 3 metros de longitud que son el contacto directo del equipo de perforación con la broca, transmite la rotación, el empuje, incrementa el avance, transporta los fluidos hacia la broca y contiene al tubo interior o porta testigo. Su diámetro varía en función de la broca y del pozo, por lo que existen los mismos diámetros que el de las brocas.



Figura 6 *Tubos de perforación (Fuente: Propia).*

2.2.2.8 Anillo de Aterrizaje (Landing Ring)

Es un anillo de acero que evita que el tubo interior pueda elevarse o bajar demasiado, es decir es un tope. Existen diferentes diámetros que van de la mano con el tubo exterior que lo contenga.

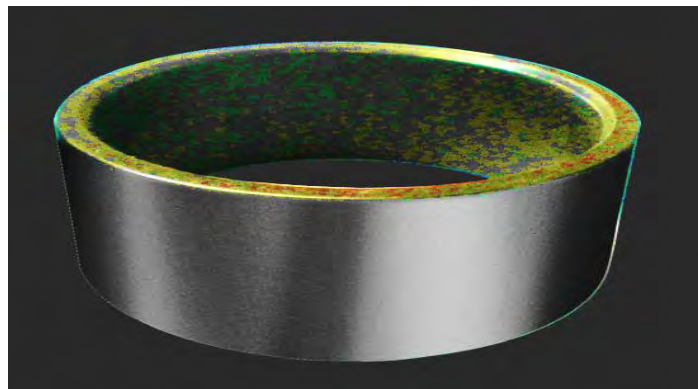


Figura 7 *Landind ring (Fuente: www.boyles.com).*

2.2.2.9 Candado (Locking Coupling)

Es un dispositivo metálico y cilíndrico que cumple varias funciones como asegurar el cabezal para que no se levante cuando ingrese al núcleo, permite que las aletas del cabezal del tubo interior giren a la misma velocidad de rotación y estabiliza la parte superior de la tubería evitando desviaciones del pozo.

2.2.2.10 Porta Resorte (Core Lifter Case)

Cumple la función de soportar a la saca testigo y que gracias a su conicidad interior permite la apertura de la saca testigo a recibir la muestra y el cierre o bloqueo del núcleo al extraer la muestra mediante el principio de acuñamiento. Es la pieza que contiene al core lifter.



Figura 8 Core lifter case (Fuente: Propia).

2.2.2.11 Resorte (Core Lifter)

El core lifter retiene la muestra al traccionar el testigo para ejecutar el corte. Se encarga de atrapar el testigo y así pueda extraerse al momento de retirar el tubo interior sin importar el terreno en el que se trabaje.



Figura 9 Core lifter (Fuente: Propia).

2.2.2.12 Anillo Tope (Stop Ring)

Este anillo asegura que se mantenga el porta testigo en el porta resorte. Se inserta fácilmente en una ranura interior prevista para tal efecto en el porta resorte.



Figura 10 Stop ring (Fuente: Propia).

2.2.2.13 Tubo porta testigos (Corel barrel)

También llamado tubo interior, son tubos acerados que son el corazón de la perforación ya que contiene el testigo, generalmente tienen una dimensión de 3 metros y su almacenamiento al cien por ciento representa altos índices de productividad por corrida. En ocasiones las corridas no representan la totalidad del tubo interior y en algunas ocasiones es nula dependiendo de grado crítico del terreno.



Figura 11 Tubo interior (Fuente: Propia).

2.2.2.14 Cabezal (Head Assembly)

Es la parte que ensambla al tubo interior y al mismo tiempo permite conectarse con el pescador con la intervención del wireline para extraer el porta testigo, así como para introducirlo nuevamente. Posee componentes diseñados para facilitar su extracción y asegurar posibles caídas accidentales.



Figura 12 Head assembly (Fuente: Propia).

2.2.3 Procedimiento de pre Perforación Diamantina

2.2.3.1 Habilitación de Accesos

Se requiere de maquinaria pesada para abrir paso por zonas estratégicas previamente evaluadas con equipo topográfico que servirán de vías de acceso para el traslado de maquinaria, camiones, cisternas y camionetas. Se evita mover demasiado material arenoso y con pendientes bajas con un ancho de vía de 5 metros longitudinal y 8 metros en las intersecciones.

2.2.3.2 Preparación plataforma de perforación

Previo a la instalación del equipo de perforación se requiere establecer un espacio lo suficientemente grande para acondicionar toda la logística necesaria para el sondaje, el área de la plataforma debe estar libre para el tránsito de personal y vehículos teniendo en cuenta que el

terreno tiene que estar completamente nivelado pues será efectuado con la ayuda de maquinaria pesada.

2.2.3.3 Acondicionamiento de Pozas de Agua y Relave

Se requiere la habilitación con maquinaria pesada de dos pozas de 3x4x2m que están interconectadas entre sí por medio de un canal y que están recubiertas con geomembrana. Una de las pozas será destinada a contener el recurso hídrico necesario para la preparación de los fluidos de perforación, succionada con un motor de bombeo directo a las tinas de lodo y posteriormente enviada a la columna de perforación.

La segunda poza sirve estrictamente para almacenar la recirculación de los fluidos de perforación, es decir, almacena el lodo de perforación que ingreso a la columna de perforación y se sale a la superficie junto con los detritus que se generan en la rotación.



Figura 13 Head Pozos de agua y relave. (Fuente: Propia).

2.2.3.4 Estandarización del Punto de Sondaje

Teniendo el terreno de la plataforma en condiciones favorables, se procede a instalar el equipo de perforación, este tiene que estar nivelado y direccionado con respecto a un ángulo pre establecido.

Se acondicionan las herramientas de trabajo y la logística necesaria (tubos de perforación, campamentos temporales, cajas de muestra, luminaria, depósitos de residuos, señalización) a una distancia prudente del punto de perforación.



Figura 14 Estandarización de puntos de sondaje. (Fuente: Propia).

2.2.3.5 Traslado de Punto de Sondaje

Se refiere a la maniobra que se realiza una vez finalizado la perforación de un pozo y que es necesario iniciar uno nuevo, para ello el equipo de perforación cuenta con un desplazamiento sobre orugas que tiene una velocidad de 2km/h llevando consigo el castillo de perforación ya que es parte del sistema. Todos los componentes ajenos a la máquina de perforación, así como la logística necesaria, serán trasladados por medio de una grúa hacia el nuevo punto de perforación.



Figura 15 *Desplazamiento de equipo de perforación. (Fuente: Propia).*

2.2.3.6 Charla de Seguridad

Es la charla que se realiza justo antes de encender la maquina perforadora e iniciar el proceso con temas netamente relacionados a la seguridad, salud ocupacional y medio ambiente que se presentan en el lugar de trabajo, se identifican los peligros y se evalúan los riesgos para luego plasmarlos en la documentación de los sistemas de gestión pertinentes.



Figura 16 *Charlas de seguridad. (Fuente: Propia).*

2.2.4 Procedimiento de Perforación Diamantina

2.2.4.1 Lodo de Perforación

El lodo es una suspensión acuosa que básicamente se forma por la combinación de aditivos de perforación y agua hasta tener una viscosidad intermedia, tiene un propósito fundamental de hacer rápida y segura la perforación y además cumplir con ciertas funciones como:

Facilitar la máxima obtención de información acerca de las formaciones a perforar.

Transportar los recortes del fondo a superficie.

Enfriar y lubricar la herramienta de perforación.

Cubrir la pared del pozo con un revoque estabilizador.

Controlar las sobre presiones de los posibles acuíferos.

Mantener en suspensión los recortes cuando se detiene la circulación del lodo.

Soportar por flotación parte del peso de la tubería.

Transmitir potencia hidráulica a la corona.

Los aditivos que se emplean para la preparación del lodo de perforación son diversos de acuerdo a las necesidades de producción y al tipo de terreno en que se trabaje, sin embargo, los más empleados son el polímero, bentonita y Black hole que trabajan en conjunto para otorgar un fluido que cumpla con las características mencionadas.



Figura 17 Lodo de Perforación. (Fuente: Propia).

2.2.4.2 Bomba de Lodos

Tiene como objetivo suministrar a la línea de perforación el lodo con la viscosidad correspondiente desde las tinas de lodo hasta el fondo del pozo, esto se realiza de manera constante durante toda la perforación.

2.2.4.3 Puesta en marcha de la Perforación diamantina

Una vez instalada la maquina se ensambla la tubería de mayor diámetro (PQ) al sistema de avance o Kelly y se sujeta con el sistema de rotación de la maquina (Chuck) para dar inicio a la perforación.

Se perfora hasta sobrepasar el material suelto que no ha sido consolidado y entrar en terreno compacto, es ahí que se extrae la tubería para retirar la broca e instalar la tubería de revestimiento o casing. Ya con el casing insertado se procede a inyectar lodo para limpiar el pozo e insertar una nueva línea de perforación de menor diámetro (HQ).

De acuerdo a la necesidad de análisis o el requerimiento del laboratorio se continua esta línea de perforación o se agrega una de menor diámetro (NQ) del mismo modo que se describió en el párrafo anterior. En ambos casos el tubo interior o porta testigos se coloca una vez insertada la línea de perforación, es decir va dentro del tubo exterior ya sea HQ o NQ.

Los tubos de perforación son por lo general de 10pies o 3.048metros de longitud, alcanzado esta longitud se procede a aumentar de tubería colocando un nuevo tubo sobre la rosca de la última tubería insertada rotando en el sentido de las agujas del reloj.

Para el cambio de broca cuando esta se desgasta, es necesario sacar toda la tubería al exterior, para optimizar el proceso se saca en pares, es decir de dos en dos hasta llegar al tubo que contiene la broca y cambiarla por una nueva. Del mismo modo serán insertados en pares.

2.2.4.4 Torque o Atrapamiento

Es la fricción que presentan la línea de perforación con las paredes del pozo y que necesita un adecuado tratamiento para evitar atrapamientos y pérdidas de sondaje, esto requiere mucho de la experiencia del maestro perforista para aplicar la rotación, el empuje y los aditivos necesarios.

2.2.4.5 Extracción de Tubo Interior

Una vez que el tubo interior está lleno, ejercerá una mayor lectura en los relojes de presión del tablero de control, con esto se detiene la rotación, se retira el chuck y se desune el Kelly del tubo de perforación quedando la línea de perforación sujeta por mordazas hidráulicas.

Se introduce el pescador que es un dispositivo metálico unido al cable wireline que tiene un agujero receptor para sujetar el cabezal del tubo interior, este desciende por gravedad hasta alcanzar la profundidad en la que se encuentra el tubo interior, finalmente alcanzado se procede a enrollar el cable wireline hasta llevar el pescador en conjunto con el tubo interior a la superficie, se coloca en un caballete y se desprende el pescador quedando solo el tubo interior listo para ser manipulado.

2.2.5 Procedimiento De Post Perforación Diamantina

2.2.5.1 Extracción del testigo

Con el tubo interior afuera se procede a desarmar el cabezal y el core lifter case con llaves media luna o en algunos casos con llaves stilson de acuerdo al diámetro del tubo interior, se levanta entre dos personas manualmente y coloca sobre una canaleta metálica con un ángulo de 45° para darle golpes con una comba de goma hasta retirar todo el testigo que contiene.

Una vez extraído el testigo se lava adecuadamente, se vuelve a ensamblar el cabezal y el core lifter case revisando que el core lifter se encuentre en buenas condiciones. Posteriormente se vuelve a introducir al pozo mediante el cable wireline.



Figura 18 Testigos Extraídos. (Fuente: Propia).

2.2.5.2 Corrida

Se denomina así a la dimensión que tiene el testigo por todas las veces en las que el tubo interior será extraído. Las corridas van hasta los 3m que es la capacidad máxima de almacenamiento del tubo interior.

2.2.5.3 Caja de Muestra

Consiste en un recipiente de polietileno con cinco canales de tres metros cada uno en los que se colocará el testigo extraído, el diámetro de los canales depende del diámetro del testigo y tiene una capacidad de quince metros como máximo.

En las cajas de perforación se anota el código del sondaje y el número de caja, también desde donde inicia y donde termina la medida de la muestra en la caja.



Figura 19 Cajas de muestra (Fuente: Propia).

2.2.5.4 Tacos de Perforación

Son elementos de polietileno que sirven para delimitar una corrida de otra, una vez colocado el testigo en la caja de muestra se procede a rotular el taco con la información del testigo. Dicha información contiene desde donde se inició la perforación y hasta donde, los metros perforados y los metros recuperados, la fecha de perforación, el código del sondaje, el nombre del maestro perforista y el número de corrida correspondiente.

2.2.5.5 Medición de Sondaje

Concluido el requerimiento del pozo y habiendo alcanzado la zona mineralizada, se efectúa la medición del pozo, en este punto se mide la profundidad real y la inclinación final del pozo. Se emplea un sistema giroscópico continuo de estado sólido denominado “Champ Pilot” que permite medir pozos perforados con rapidez y seguridad, para su lectura tiene incorporado un sistema de medición que envía señales bluetooth o wifi a un dispositivo móvil leyendo en cada metro el ángulo y la distancia a la que se encuentra.

2.2.5.6 Finalización de Sondaje

Se paralizan todas las operaciones y se procede a preparar toda la logística existente para ser trasladado a un nuevo punto de sondaje. El punto concluido será monumentado con la información que se muestra en la figura.



Figura 20 Monumento Final de un Punto de Sondaje (Fuente: Propia).

2.2.6 Productividad en perforación diamantina

La productividad se define como la relación entre los resultados obtenidos y los recursos empleados en un proceso productivo. En minería, este concepto está asociado al aprovechamiento eficiente de los insumos, el capital humano y los equipos, con el propósito de alcanzar mayores volúmenes de producción al menor costo posible. En la perforación diamantina, la productividad se mide a través de indicadores como los metros perforados por broca, el tiempo operativo efectivo y el costo por metro perforado.

Diversos autores señalan que la productividad en perforación diamantina depende de factores técnicos y operativos, entre ellos: la selección de la broca adecuada, la vida útil de la herramienta, la velocidad de penetración y la reducción de tiempos improductivos asociados a

recambios o fallas mecánicas. En este sentido, la elección de la broca incide directamente en la calidad del testigo, en la continuidad de la perforación y en el costo por metro, convirtiéndose en un factor crítico para la productividad. En la presente investigación, la productividad se entiende como la optimización de los costos y el incremento en el rendimiento operativo mediante el uso de brocas Xizuan frente a Fordia.

CAPITULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de investigación

Se considera que la investigación es de tipo aplicativo, por lo que inicialmente empezaremos analizando todo el proceso de perforación diamantina, luego se evaluarán los costos.

3.1.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo- explicativo.

3.1.3 Diseño de investigación

La investigación es de diseño no experimental, es decir se tiene variable dependiente e independiente, de variables cualitativas y cuantitativas.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 Población

La población de la investigación está definida por las plataformas de perforación existentes en la empresa PMG Shoukan S.R.L que se encuentran en operación realizando perforación diamantina.

3.2.2 Muestra

La muestra es una parte representativa de la población, para este estudio se tomará en cuenta los trabajos realizados con la máquina perforadora Core tech CSD 1300L y la utilización de las brocas Xizuan.

3.3 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACION

3.3.1 Técnicas de recolección de datos

Las principales técnicas que utilizaremos en la investigación son:

Trabajos de Campo y Gabinete

Observación directa

Recolección de datos existentes en la Empresa

3.3.2 Técnicas de Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de datos seguirá el siguiente orden:

Análisis técnico.

Análisis económico.

Evaluación técnico económico.

Evaluación de resultados.

3.3.3 Instrumentos de investigación

Procesamiento numérico: Análisis estadístico, evaluación numérica, tabular y descriptiva.
(Excel, Autocad).

CAPITULO IV

APLICACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS BROCAS XIZUAN.

4.1 DISEÑO Y SELECCIÓN DE BROCAS.

4.1.1 Características y especificaciones técnicas de las brocas.

Para que un sistema de perforación funcione correctamente, es indispensable el uso de herramientas diamantadas. Las brocas de perforación deben cumplir con tres criterios básicos: una calidad excepcional, una fabricación adecuada y un diseño moderno.

4.1.1.1 Brocas con diamantes insertados.

Las brocas con diamantes insertados suelen utilizar diamantes naturales. Estos diamantes se colocan en la matriz de la parte frontal de la broca, dejando expuesta una porción que varía entre un octavo y un tercio de su volumen. La cantidad de diamante expuesto se ajusta según la dureza de la formación rocosa: mayor exposición para rocas blandas o semiblandas, y menor exposición para formaciones duras, fracturadas o abrasivas. La distribución de los diamantes en la matriz debe ser uniforme para evitar el desgaste prematuro de la misma y la pérdida de los

diamantes. El desgaste de los diamantes se produce principalmente por pulido, fractura o quemado.

Estas brocas, con diamantes insertados en la superficie de la matriz, se utilizan principalmente en formaciones blandas y semiduras.

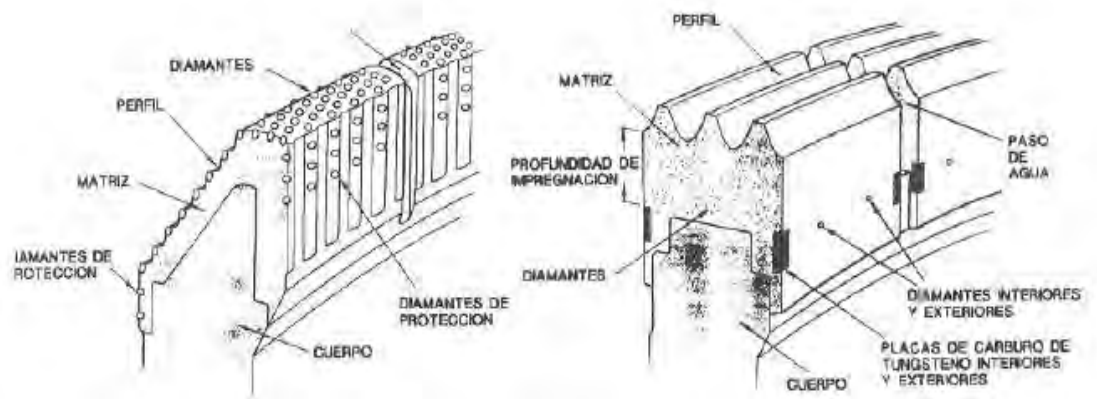


Figura 21 Secciones de corona de inserción y concreción. (Fuente: Manual de eval. Y diseño de explotación minera).

4.1.1.2 Brocas con diamantes impregnados.

La estructura de estas brocas se compone de una mezcla de diversos polvos metálicos y diamantes sintéticos de alta calidad. La variación en la cantidad y tipo de polvos metálicos, así como en el tamaño y cantidad de diamantes, determina las diferentes series de brocas recomendadas para los diversos tipos de formaciones rocosas a perforar.

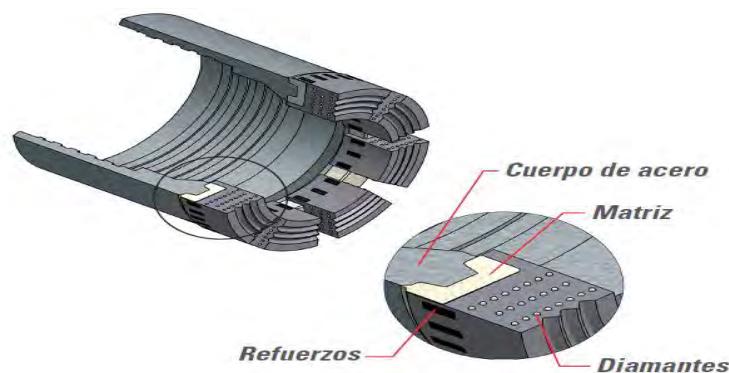


Figura 22 Brocas con diamantes impregnadas (Fuente: Manual técnico del perforista).

Componentes coronas impregnadas

A) Matriz: está elaborada con polvos metálicos de alta resistencia térmica y un material de soldadura a base de cobre. Cumple tres funciones principales:

- **Integración:** Conecta el cuerpo de acero de la broca con los diamantes, formando una unidad sólida.
- **Fijación:** Asegura los diamantes en su posición, permitiéndoles resistir la fuerza de corte durante la perforación.
- **Protección:** Proporciona resistencia al desgaste y a la erosión, adaptándose a las características de la formación rocosa y a las condiciones del pozo."

B) Las vías de agua: son canales que facilitan la refrigeración de la broca y el transporte del fluido de perforación, previniendo así su sobrecalentamiento o fusión. Además, desempeñan un papel fundamental en la eliminación eficiente de los recortes generados durante la perforación en el fondo del pozo. Los diseños más comunes son:

Recta: Este diseño se emplea comúnmente en brocas de pared delgada y dimensiones reducidas.



Figura 23 Vía de agua recta (Fuente: Manual técnico del perforista).

Inclinada: Facilita la expulsión de los residuos que obstruyen los canales de agua.

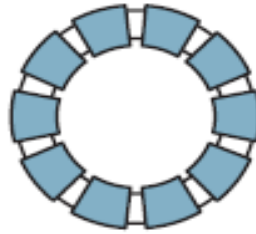


Figura 24 *Vía de agua inclinada (Fuente: Manual técnico del perforista).*

Ancha e inclinada: Este es el diseño estándar de BBD, que optimiza la circulación del fluido y la eliminación de residuos. Mejora la eficiencia de limpieza de los canales de agua.

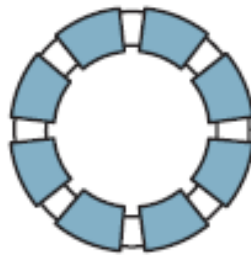


Figura 25 *Vía de agua ancha (Fuente: Manual técnico del perforista).*

Turbo ancha: Recomendada para formaciones rocosas duras y compactas. Reduce la presión requerida para la perforación. Asegura una buena evacuación del fluido y los residuos.

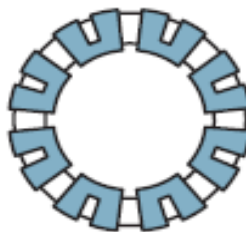


Figura 26 *Vía de agua ancha (Fuente: Manual técnico del perforista).*

Frontal con agujero redondo: Se utiliza en brocas con cuerpos delgados. Ideal para terrenos blandos y fracturados. Minimiza el contacto del fluido con la muestra (lavado). Apropriada para perforar con triple tubo."

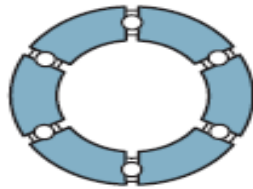


Figura 27 Vía de agua recta (Fuente: Manual técnico del perforista).

- C) Refuerzo de los diámetros:** Todas las brocas impregnadas se fabrican con refuerzos de carburo de tungsteno y diamantes sinterizados tanto en el diámetro interior como en el exterior, con el fin de mantener las dimensiones del testigo y del pozo a medida que la broca se desgasta.
- D) Altura de la capa de impregnación:** se refiere a la altura de la parte de la matriz que contiene la capa de trabajo de diamante en la cabeza de la broca. Las brocas Xizuan puede proporcionar brocas con varias alturas de capa de impregnación, desde 9 mm hasta 20 mm, siendo la altura estándar de la capa de impregnación de las brocas proporcionadas de 12 mm.

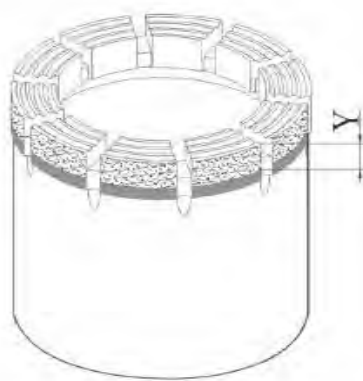


Figura 28 Altura de impregnación (Fuente: sinocoredrill drilling tools catalog).

"El uso de brocas de impregnación presenta varias ventajas significativas:

En comparación con las brocas de inserción, se requiere un número menor de brocas al perforar formaciones duras o fracturadas. A diferencia de las brocas insertadas, no es necesario recuperar las brocas, lo que simplifica considerablemente el manejo. Se mantiene un régimen de penetración constante con la misma fuerza de avance durante toda la vida útil de la broca.

En general, estas brocas facilitan la realización de sondajes más rectos en comparación con las brocas de diamantes insertados."

4.1.2 Composición y propiedades del diamante.

Los diamantes están formados por cristales de carbono y poseen dos atributos físicos esenciales que los hacen ideales para su uso en brocas de perforación. En primer lugar, son el material más duro y resistente al desgaste conocido. En segundo lugar, su capacidad para conducir el calor es significativamente alta, superando la de la plata o el cobre, lo cual es crucial para disipar el calor generado durante la perforación.

El tamaño de los diamantes se mide comúnmente mediante el sistema quilate.

El quilate, como unidad de medida, representa un peso específico: un quilate equivale a 0.200 gramos. Por ejemplo, las expresiones "1/20" y "1/50" indican que se necesitan 20 o 50 piedras para sumar un quilate, respectivamente, lo que se abrevia como p.p.q.

4.1.3 Consideraciones en la selección de brocas.

4.1.3.1 Dureza

La dureza en rocas es la resistencia que estas presentan frente a la abrasión, el rayado o la penetración de otro material. Es una propiedad fundamental en geología y perforación, ya que influye en la selección de herramientas adecuadas para la excavación o perforación. La dureza

depende de la composición mineralógica de la roca y puede variar dentro de una misma formación geológica.

4.1.3.2 Escala de Mohs

La escala de Mohs es un sistema de clasificación de la dureza de los minerales basado en su resistencia al rayado. Fue desarrollada en 1812 por el mineralogista Friedrich Mohs y establece un rango del 1 al 10, donde 1 representa el mineral más blando (talco) y 10 el más duro (diamante).

Tabla 4 *Escala de Mohs*

Dureza	Mineral	Ejemplo de material que puede rayarlo
1	Talco	Se raya con la uña
2	Yeso	Se raya fácilmente con la uña
3	Calcita	Se raya con una moneda de cobre
4	Fluorita	Se raya con un cuchillo de acero
5	Apatito	Se raya con dificultad con un cuchillo
6	Ortoclasa (feldespato)	Raya el vidrio común
7	Cuarzo	Raya el vidrio y el acero
8	Topacio	Raya el cuarzo
9	Corindón	Raya casi todos los materiales excepto el diamante
10	Diamante	Solo puede ser rayado por otro diamante

Fuente: Stockholm Precision Tools.

La forma más precisa de determinar la dureza de una roca es mediante la prueba de rayado, utilizando un juego de puntas y comparando los resultados con la escala de Mohs. Si no se dispone de estas herramientas, se puede usar una navaja de bolsillo o una sierra de metal, aunque la precisión puede variar. Una navaja tiene una dureza aproximada de 6.0 a 6.5 en la escala de Mohs, mientras que una sierra de metal se sitúa entre 6.5 y 7.0.

4.1.3.3 Desgaste de brocas

Corona con Desgaste Ideal: En una corona con desgaste ideal, la matriz de corte se desgasta de manera uniforme y completa, asegurando una exposición constante de los diamantes en la superficie de corte. El patrón de desgaste debe ser relativamente plano, lo que indica un uso eficiente de la herramienta y un rendimiento óptimo durante la perforación.

Este tipo de desgaste garantiza una mayor vida útil de la broca, una tasa de penetración estable y un menor riesgo de fallos prematuros. Para lograrlo, es fundamental seleccionar adecuadamente la matriz según el tipo de roca y aplicar los parámetros de perforación correctos, como velocidad de rotación y fuerza de empuje.

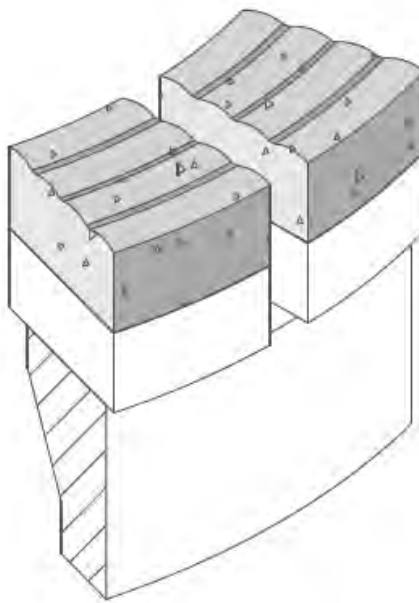


Figura 29 Corona con desgaste ideal. (Fuente: www.boyles.com).

Corona con Pérdida de Diámetro Interior: La pérdida de diámetro interior en una corona de perforación ocurre cuando el desgaste afecta principalmente la parte interna de la broca, reduciendo su diámetro y afectando su rendimiento. Este problema puede deberse a varios factores, entre ellos:

La velocidad de penetración excesiva provoca un desgaste irregular de la matriz. Terreno muy fracturado, que genera mayor abrasión en la zona interna de la corona. Perforación sobre testigo abandonado, lo que aumenta la fricción y acelera el desgaste. Caudal de agua insuficiente, reduciendo la refrigeración y la evacuación de detritos. Matriz demasiado blanda, que se desgasta rápidamente en condiciones adversas.

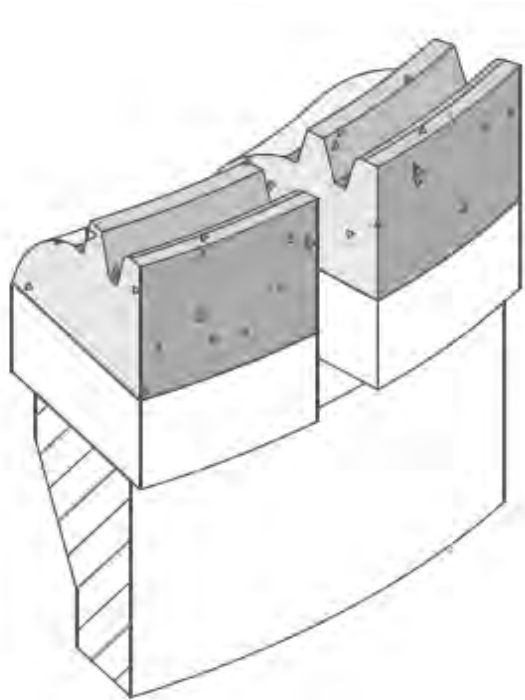


Figura 30 Corona con desgaste interior. (Fuente: www.boyles.com).

Corona con Pérdida de Diámetro Exterior: La pérdida de diámetro exterior en una corona de perforación ocurre cuando el desgaste se concentra en la parte externa de la broca, reduciendo su tamaño y afectando su estabilidad en el pozo. Algunas de las principales causas de este problema incluyen:

Vibraciones excesivas, que generan un desgaste irregular en los bordes de la corona. Velocidad de rotación demasiado alta, lo que provoca fricción excesiva y un desgaste acelerado. Caudal de agua insuficiente o con fugas, reduciendo la refrigeración y la limpieza del pozo.

Uso de la corona para escariar un pozo más pequeño, lo que incrementa la fricción en los bordes externos.

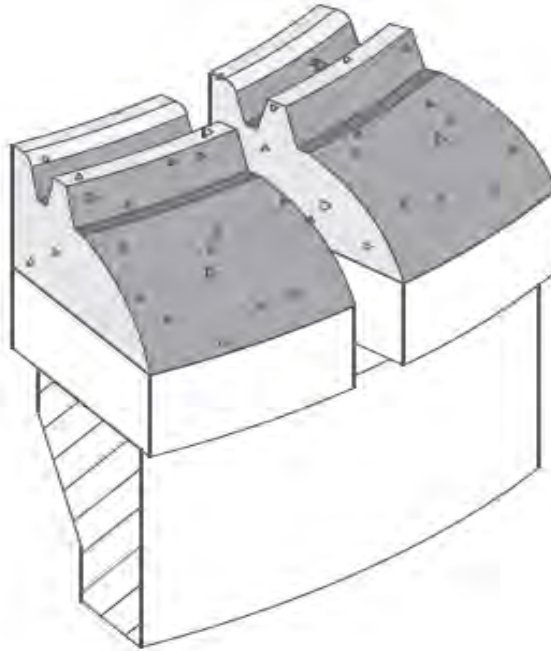


Figura 31 Corona con desgaste Exterior. (Fuente: www.boyles.com).

Corona con Diamante Sobreexpuesto: Cuando ocurre un desgaste prematuro de la matriz antes que los diamantes, estos quedan demasiado expuestos y pueden desprenderse rápidamente, reduciendo la vida útil de la corona y afectando su rendimiento en la perforación.

Causas principales:

Peso excesivo sobre la corona, demasiado alto en comparación con la velocidad de rotación.
Flujo de agua insuficiente, lo que genera sobrecalentamiento y desgaste acelerado.
Uso de coronas de serie alta (matriz muy suave), que se desgasta demasiado rápido en terrenos duros o abrasivos.

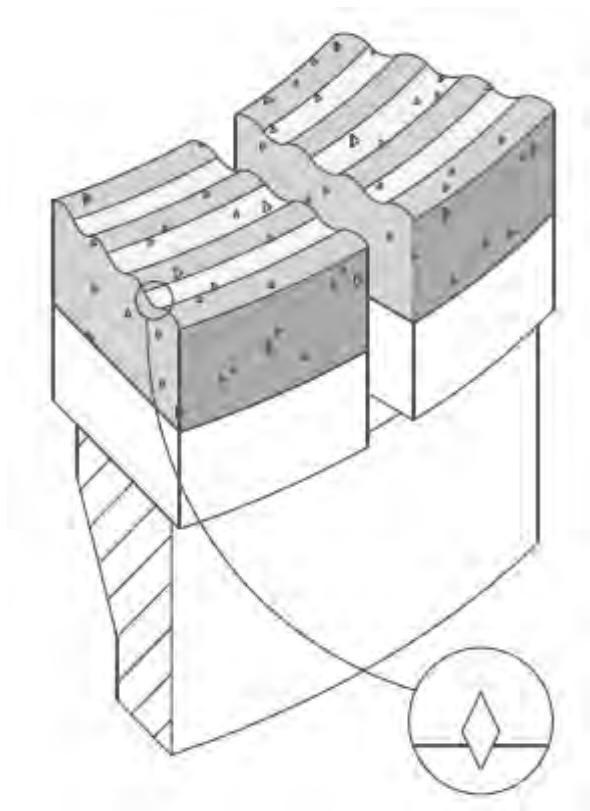


Figura 32 Corona con Diamantes Sobrepuestos. (Fuente: www.boyles.com).

Corona con Cara Quemada o Fundida: Este problema ocurre cuando la falta de refrigeración provoca un sobrecalentamiento extremo en la corona, lo que puede deteriorar la matriz y afectar la retención de los diamantes, reduciendo significativamente la vida útil de la herramienta.

Causas principales:

Corte de agua por restricciones en el sistema, fugas o fallas en la bomba. El operador olvidó abrir la válvula de agua, lo que impidió la refrigeración y eliminación de detritos.

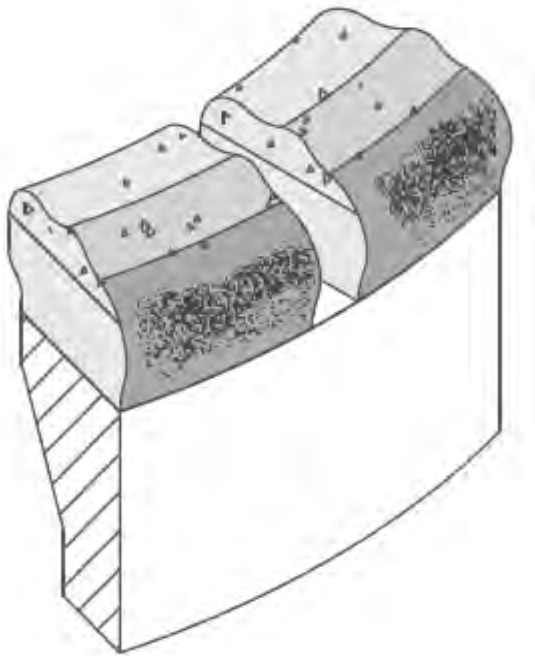


Figura 33 Corona con Cara Quemada. (Fuente: www.boyles.com).

Corona con Vías de Agua Fracturadas: Este problema ocurre cuando las vías de agua de la corona se dañan o fracturan, afectando el flujo de agua y la eficiencia en la perforación. Esto puede generar un sobrecalentamiento, desgaste irregular de la corona y una reducción en su vida útil.

Causas principales:

Exceso de peso sobre la corona, lo que puede generar una presión excesiva y fracturar las vías de agua.

Caída de barras en el pozo, causando impactos fuertes sobre la corona.

Caída libre del tubo interior en un pozo seco, provocando golpes que pueden dañar la corona.

Aplastamiento de la corona por la prensa de pie al sujetar las barras, afectando su estructura.

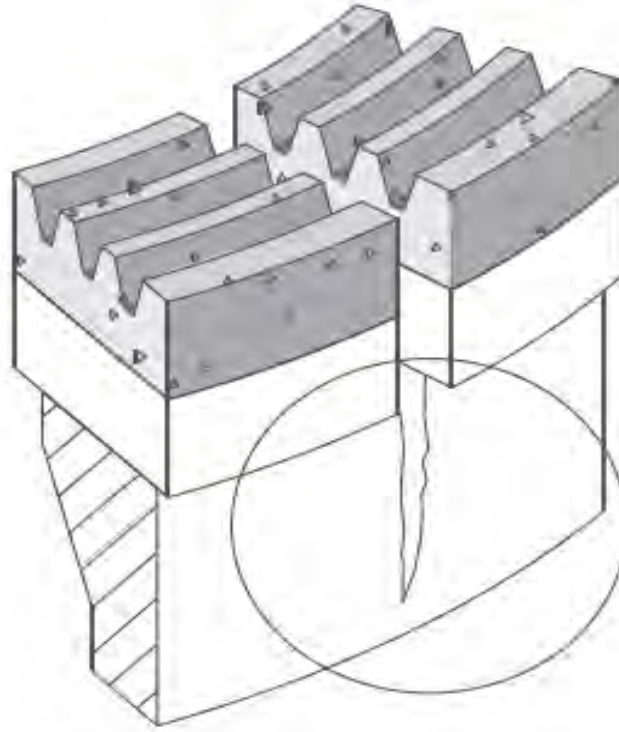


Figura 34 Corona con Vía de Agua Fracturada (Fuente: www.boyles.com).

Corona con Desgaste Convexo de la Cara: El desgaste convexo en la cara de la corona ocurre cuando la parte central de la matriz se desgasta más rápidamente que los bordes, generando una superficie en forma de domo. Esto puede afectar el rendimiento de corte y la eficiencia en la perforación.

Causas principales:

Caudal de agua insuficiente, lo que impide la correcta refrigeración y eliminación de detritos.
 Fugas de agua a través de las barras, reduciendo el flujo efectivo en la zona de corte.
 Acumulación de detritos en la parte externa de la cara, lo que genera un desgaste irregular y acelera el deterioro de la corona.

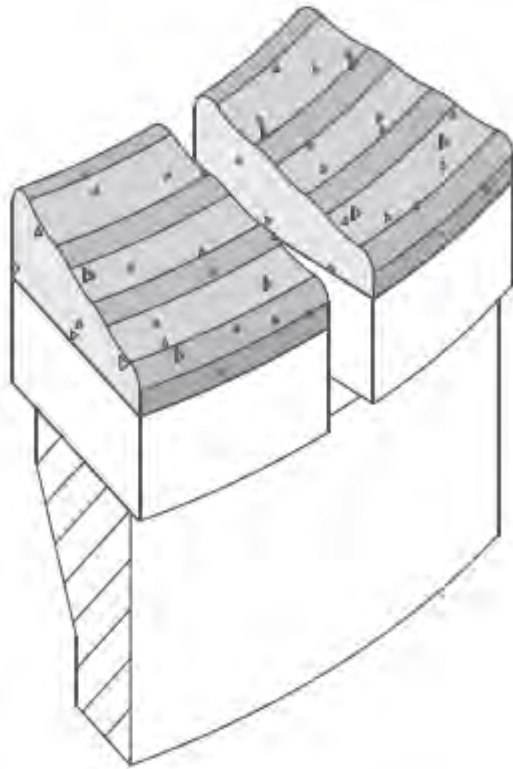


Figura 35 Corona con Desgaste Convexo (Fuente: www.boyles.com).

4.1.4 Consideraciones en la selección de brocas.

4.1.4.1 El código DCDMA.

Es una tabla comparativa que permite a los fabricantes estandarizar la relación entre el terreno a perforar y la serie de la corona adecuada.

Facilita la selección de la corona ideal en función de la dureza y características del suelo, garantizando un mejor rendimiento en la perforación.

Las coronas de perforación se clasifican por número de serie, siguiendo la norma DCDMA. Esta clasificación se basa en la relación entre la dureza del terreno y la resistencia de la matriz de la corona, permitiendo seleccionar la herramienta más adecuada para cada tipo de formación rocosa.

La DCDMA (Diamond Code Drill Manufacturies Association) es una normativa que clasifica las coronas de perforación diamantina según el tipo de terreno y la numeración de serie correspondiente.

Tabla 5 *Tabla de Valores Por Tipo de Terreno*

DCDMA	Característica de la roca	Tipos de roca	Corona
7	Extremadamente dura y compacta, de grano fino y no abrasiva. La potencia de la sonda debe ser limitada.	Cuarzo, calcedonia, jaspe, riolitas, taconitas, chert, rocas con mineral de hierro.	Serie # 10
6	Muy dura y compacta, de grano fino y moderadamente abrasiva. Es una corona de corte muy rápido y capaz de perforar a altas velocidades de penetración.	Dioritas, cuarcitas, taconitas, riolitas.	Serie # 9
5	Dura, de grano fino a medio grueso. Formaciones sólidas a suavemente fracturadas	Andesita, granito, gneiss, esquisto, basalto, gabro, diorita, hematita, pórfido silificado	Serie # 8
4	Moderadamente abrasiva, grano fino a grueso. Formaciones sólidas a suavemente fracturadas.	Pegmatitas, gabro, monzonitas, dolomita, serpentina, pizarra	Serie # 7
3	Abrasiva, de grano medio a grueso. Formación medianamente fracturada. Se comporta bien en formaciones sujetas a cambios en la dureza y abrasividad de la roca	Calcita, conglomerados, areniscas, riolita, talco, pizarra	Serie # 6
2	Abrasiva, grano grueso. Formación fracturada y quebrada.	Arenisca, pegmatitas, taconitas, cuarcitas.	Serie # 4
1	Extremadamente abrasiva, grano medio a grueso. De blanda a muy dura, altamente fracturada, fallas y derrumbes.	Areniscas, granitos, piedras calizas, cuarcitas	Serie # 2

Fuente: www.dcdma.com

4.1.4.2 Velocidad de rotación y potencia.

Sonda baja potencia ----- corona de serie alta

Sonda alta potencia ----- Corona de serie baja

4.1.4.3 Información geológica:

Roca dureza baja, grano grueso, fracturado.....Use número de serie baja

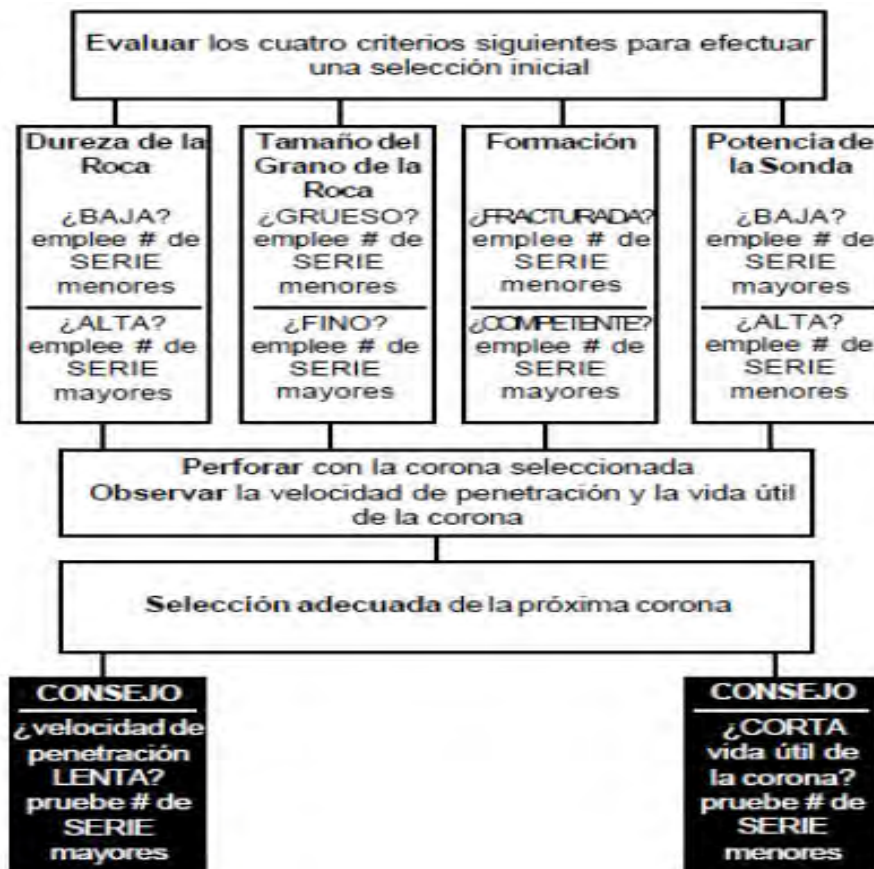
Roca dureza alta, grano no competenteUse número de serie alta

4.1.4.4 Grado penetración y avance

Penetración bajaUse serie más alta

Vida corta de la coronaUse serie más baja

4.1.4.5 Modo general.



4.2 PARAMETROS DE PERFORACION.

4.2.1 Velocidad de rotación.

Generalmente, las brocas diamantadas impregnadas requieren velocidades de rotación más elevadas para alcanzar velocidades de penetración comparables a las de las brocas incrustadas. Esto se debe a que la exposición del diamante (la cantidad de diamante que sobresale de la matriz) es menor en las brocas impregnadas, lo que resulta en una menor penetración por cada revolución.

Para maximizar la eficiencia de las brocas, es fundamental considerar la relación entre la velocidad de penetración y la velocidad de rotación (RPM). Para un control adecuado, se utilizan los índices RPI (revoluciones por pulgada) o RPC (revoluciones por centímetro), estableciendo un rango óptimo entre 200 y 250 RPI (80 y 100 RPC).

RPI: Número de revoluciones de la broca por cada pulgada de avance en la perforación.

RPC: Número de revoluciones de la broca por cada centímetro de avance en la perforación.

Si el RPI es inferior a 200 (80 RPC), la broca experimentará un desgaste excesivo. En este caso, se recomienda aumentar las RPM o disminuir la velocidad de avance, reduciendo la presión sobre la broca. Si estos ajustes no son posibles debido a las condiciones del terreno o limitaciones de la sonda, se sugiere cambiar a una broca de una serie inferior. Por ejemplo, pasar de una broca de serie 9 a una de serie 7.

Por el contrario, si el RPI es superior a 250 (100 RPC), la broca puede pulirse. En esta situación, se debe disminuir las RPM o aumentar la presión sobre la broca para incrementar la

velocidad de penetración. Si los cambios propuestos no son viables, se recomienda cambiar a una broca de una serie superior. Por ejemplo, pasar de una broca de serie 2 a una de serie 4.

Cálculo de RPI y RPC:

Valores recomendados: RPI: 200 a 250 ; RPC: 80 a 100

Fórmulas:

$$RPI = \frac{\text{Velocidad de rotación (RPM)}}{\text{Velocidad de avance (pulgadas/minuto)}} \quad \boxed{\dots \text{Form. 1}}$$
$$RPC = \frac{\text{Velocidad de rotación (RPM)}}{\text{Velocidad de avance (centímetros/minuto)}} \quad \boxed{\dots \text{Form. 2}}$$

Si la velocidad de rotación es de 1000 RPM y la velocidad de avance es de 4 pulgadas/minuto: $RPI = 1000 / 4 = 250$ RPI.

Si la velocidad de rotación es de 1000 RPM y la velocidad de avance es de 10 centímetros/minuto: $RPC = 1000 / 10 = 100$ RPC.

4.2.2 Presión.

Reconocemos que la presión aplicada durante la perforación puede ser un factor crítico en ciertas situaciones, especialmente cuando las herramientas en el pozo están cerca de su límite de resistencia a fuerzas elevadas, o cuando el control de la desviación es primordial.

El peso aplicado sobre la broca es un factor crucial para optimizar los índices RPI o RPC, como se mencionó anteriormente. Una presión excesiva puede provocar desgaste prematuro o incluso fallas mecánicas en la broca. Además, el peso sobre la broca es esencial para controlar las desviaciones del pozo.

En situaciones donde se requiere un control estricto de la desviación, se recomienda utilizar una broca de una serie superior a la que se está utilizando actualmente, prestando atención a la velocidad de penetración para minimizar los problemas de desviación.

Si se necesita aplicar una presión muy alta para que la broca corte la roca, se sugiere cambiar a una broca de una serie superior. Esto permitirá reducir la presión necesaria sobre la broca, manteniendo al mismo tiempo una velocidad de penetración adecuada.

4.2.3 Velocidad del fluido.

La velocidad del fluido es un factor crítico para optimizar la eficiencia de la perforación. El fluido debe enfriar eficazmente la broca y eliminar los detritos generados durante la perforación, transportándolos desde la superficie de la broca hasta la superficie del pozo a través del espacio anular de la manera más eficiente posible.

El volumen del fluido debe aumentar proporcionalmente a la tasa de penetración. La velocidad del fluido y su capacidad de transporte dependen de su viscosidad.

Generalmente, los detritos deben ascender a una velocidad de 4 pulgadas por segundo (aproximadamente 10 centímetros cada 7 segundos). Un volumen de fluido excesivo puede provocar el levantamiento hidráulico de la sarta de perforación, lo que afectaría significativamente la carga real sobre la broca y, en consecuencia, el rendimiento de la perforación. Por otro lado, un flujo de fluido insuficiente puede causar un desgaste prematuro de la broca debido a la acción abrasiva de los detritos.

En formaciones muy duras y de grano fino, la velocidad del fluido puede reducirse intencionalmente para aumentar la erosión de la matriz y exponer nuevos diamantes.

4.3 SELECCIÓN DE BROCAS XIZUAN

La selección de las brocas Xizuan para ser empleadas en los trabajos de perforación diamantina en la empresa PMG Shoukan S.R.L. responde a una evaluación integral de los

criterios técnicos, operativos y económicos, alineados con las características del terreno de la formación Marcona y las condiciones propias de la maquinaria utilizada.

Las brocas seleccionadas son del tipo impregnado con diamantes sintéticos, cuya configuración permite un desgaste controlado y progresivo de la matriz metálica. Este tipo de brocas es especialmente adecuado para formaciones de rocas duras, compactas y con presencia de fracturas, condiciones comunes en el ámbito geológico de estudio. La impregnación continua de diamantes asegura una exposición constante de material cortante, lo que favorece una velocidad de penetración estable y reduce la necesidad de reemplazo frecuente.

La altura de la matriz de las brocas Xizuan es de 12 mm, una medida estándar en la industria, que representa un equilibrio adecuado entre resistencia al desgaste y vida útil de la herramienta. Esta característica permite conservar la eficiencia del corte sin incrementar excesivamente el costo de fabricación ni comprometer el desempeño operativo durante largos metros de perforación.

En cuanto al diseño hidráulico, las brocas Xizuan cuentan con vías de agua anchas e inclinadas, lo cual facilita una adecuada circulación del fluido de perforación y una eficiente evacuación de los detritos generados en el fondo del pozo. Este aspecto es fundamental para evitar el sobrecalentamiento de la matriz y mantener estables los parámetros técnicos durante la perforación. La geometría del paso de agua no solo prolonga la vida útil de la broca, sino que también minimiza el riesgo de atascos o sobrepresiones.

Desde el enfoque de compatibilidad técnica, las brocas seleccionadas corresponden a la serie 8A según el código DCDMA, la cual es adecuada para trabajar con sondas de mediana a alta potencia, como la Core Tech CSD 1300L utilizada en esta investigación. Esta serie garantiza un comportamiento óptimo en terrenos con dureza media a alta, brindando la rigidez necesaria sin comprometer la tasa de avance ni la rectitud del pozo.

Otro aspecto relevante es la composición de la matriz de corte, la cual incluye una combinación de polvos metálicos de alta resistencia junto a carburo de tungsteno y un proceso de unión mediante cobre, plata y níquel. Esta formulación ofrece buena resistencia térmica y mecánica, asegurando una retención eficiente de los diamantes a lo largo de toda la operación.

En términos económicos, la diferencia de costos entre las brocas Xizuan y las Fordia resulta significativa, sin que ello represente una disminución relevante en la vida útil ni en el rendimiento. Por ejemplo, el costo de una broca NQ Xizuan es de 105 USD, frente a los 180 USD de una Fordia del mismo tamaño. Similar relación se observa en los modelos HQ y PQ. Esta diferencia permite mejorar los indicadores de rentabilidad por metro perforado, aspecto que se analiza con mayor detalle en el Capítulo IV. La eficiencia obtenida a menor costo representa una ventaja competitiva directa, particularmente en proyectos donde el control de gastos es una prioridad operacional.

Tabla 6 Comparación de brocas de perforación Xizuan y Fordia

Característica	Brocas Xizuan	Brocas Fordia
Costo de broca	PQ \$ 185.00	PQ \$ 260.00
	HQ \$ 118.00	HQ \$ 220.00
	NQ \$ 105.00	NQ \$ 180.00
Vida útil	100m	130m
Matriz	Polvos metálicos combinados con carburo de tungsteno y unidos mediante un proceso de soldadura que emplea cobre, plata y níquel.	Polvos metálicos combinados con carburo de tungsteno y unidos mediante un proceso de soldadura que emplea cobre, plata y níquel.
Composición de la corona	Impregnación de diamantes.	Impregnación de diamantes.
Vías de agua	Ancha e inclinada.	Ancha e inclinada.
Reforzamiento de los laterales	SI	SI
Altura de la matriz	12 mm	12 mm
Serie	8A	8A

Fuente: Elaboración Propia.

4.4 PARAMETROS DE PERFORACION EMPLEANDO BROCAS XIZUAN

4.4.1. Velocidad de rotación.

Tomando en cuenta la formula (1) y la formula (2) se determina el RPI y RPC con los que se trabajan de forma estandariza con ambos tipos de brocas.

Para roca dura: Se trabajará con 800RPM y un avance de 0.1m/min

$$RPI = \frac{800RPM}{4pulg/min} = 200 RPI$$

$$RPC = \frac{800RPM}{10cm/min} = 80 RPC$$

Para roca suave: Se trabajará con 1800 RPM y un avance de 0.2m/min

$$RPI = \frac{1800RPM}{8pulg/min} = 225 RPI$$

$$RPC = \frac{1800RPM}{20cm/min} = 90 RPC$$

Las brocas Xizuan permiten operar cómodamente dentro de este rango, gracias a su dureza intermedia (serie 8A), lo que asegura una buena respuesta en formaciones variables como las presentes en la formación Marcona. De esta forma, el equilibrio entre penetración y desgaste se mantiene estable, lo cual ha sido comprobado mediante los cálculos de RPI con los datos de campo disponibles.

4.4.2. Presión.

la elección de una matriz con dureza moderada permite trabajar con una presión equilibrada, sin necesidad de exceder los límites estructurales del equipo o generar desviaciones. Además, la resistencia térmica de su composición (carburo de tungsteno) garantiza que la broca soporte la carga sin deteriorarse prematuramente.

En ese sentido se trabaja con una presión de 25 bar y en caso de trabajar en zona de roca dura y 15 bar para roca suave. La presión será directamente proporcional al RPI y al RPC respectivamente.

4.4.3. Velocidad del fluido.

Las brocas Xizuan están diseñadas con canales de agua anchos e inclinados, un diseño hidráulico que facilita la evacuación eficiente de los fragmentos de roca y mejora la refrigeración directa en el punto de contacto. Esto es especialmente importante en perforaciones profundas o en formaciones abrasivas, donde el recalentamiento de la broca y la acumulación de detritos comprometen la operación.

La velocidad del fluido se toma en cuenta de acuerdo al RPI, al RPC y a la presión ejercida sobre los elementos de perforación, debido a análisis previo de estos parámetros y al diseño de broca con el que se trabaja mencionados en la tabla de selección de brocas, se trabaja con una velocidad de fluido de 30L/min. en roca dura y 60L/min. en roca suave, con este parámetro se garantiza una mayor durabilidad de la broca de perforación.

4.5 DEFINICION DE TERMINOS BASICOS.

Perforación diamantina

Método de perforación que emplea brocas con diamantes industriales para extraer testigos cilíndricos de roca, permitiendo estudiar el subsuelo en exploración minera y geotécnica.

Broca

Herramienta de corte utilizada en la perforación, con una corona impregnada o insertada con diamantes sintéticos o naturales, que realiza el contacto directo con la roca.

Matriz de la broca

Componente metálico de la broca que aloja los diamantes y se desgasta gradualmente durante la perforación para exponer nuevo material cortante.

Testigo

Cilindro de roca extraído del subsuelo mediante la perforación diamantina, que se analiza para conocer las características geológicas del terreno.

Sarta de perforación

Conjunto de tubos metálicos que transmiten el movimiento de rotación y empuje desde la máquina perforadora hasta la broca.

Escala de Mohs

Sistema que clasifica la dureza de los minerales del 1 al 10. Es útil para determinar el tipo de broca que debe usarse según la dureza de la roca.

Serie de la broca (DCDMA)

Clasificación técnica que relaciona la dureza de la matriz de la broca con el tipo de terreno a perforar.

Broca impregnada

Tipo de broca diamantina cuya corona está compuesta por una matriz metálica con diamantes sintéticos distribuidos uniformemente. Está diseñada para desgastarse gradualmente, exponiendo nuevos diamantes durante la perforación.

Matriz metálica

Parte activa de la broca que sostiene los diamantes. Se fabrica con mezclas de polvos metálicos y es responsable del desgaste controlado que permite renovar el filo de corte.

Productividad en perforación

Medida del rendimiento operativo, expresada generalmente en metros perforados por hora o por jornada, considerando factores como la velocidad de avance, duración de la broca, consumo de insumos y recuperación de testigos.

CAPITULO V

ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUSION.

La productividad en perforación diamantina es un factor crítico en la eficiencia operativa de una mina, ya que influye directamente en los costos de exploración y explotación. En este estudio, se analiza el desempeño de las brocas Xizuan en comparación con las brocas Fordia utilizadas en la empresa PMG Shoukan S.R.L., en la mina Shougang Hierro Perú S.A.A., ubicada en Ica.

Para evaluar el impacto de las brocas Xizuan en la productividad de perforación, se han considerado los siguientes indicadores:

- Metros perforados por día.
- Vida útil de la broca.
- Costo por metro perforado.

5.1 ANÁLISIS CON BROCAS XIZUAN.

Se tiene el sondaje en el punto 22DDMS3-31 en la zona mancha de hierro que se realizó en 24 días trabajando en doble guardia de 12 horas cada una, por lo que en la tabla 7 se muestra el avance por día sumando el avance de ambas guardias. Se tomaron en cuenta los parámetros de perforación mencionados anteriormente.

Además, se tiene los precios por diámetro y que con ellos se hacen los cálculos de costos:

PQ cobra 95\$ por metro y se perfora hasta los 50 metros.

HQ cobra 90\$ por metro y va desde los 50m hasta los 100 metros.

NQ cobra 84\$ por metro y va desde los 100m -200m.

88\$ por metro y va desde los 200m-400m.

93\$ por metro y va desde los 400m-600m.

99\$ por metro y va desde los 600m-800m.

Tabla 7 Análisis de Costos con Brocas Xizuan.

BROCAS XIZUAN				
DIA	Metros perforados	Profundidad final	Costo (\$)	DETALLE
1	9.09	9.09	863.55	9.09m × \$95 = \$863.55
2	55.04	64.13	5,158.15	40.91m × \$95 = \$3,886.45 14.13m × \$90 = \$1,271.70
3	30.3	94.43	2,726.99	30.30m × \$90 = \$2,727.00
4	39.39	133.82	3,342.18	5.57m × \$90 = \$501.30 33.82m × \$84 = \$2,840.88
5	15.09	148.91	1,267.56	15.09m × \$84 = \$1,267.56
6	39.16	188.07	3,289.44	39.16m × \$84 = \$3,289.44
7	8.52	196.59	715.68	8.52m × \$84 = \$715.68
8	40.25	236.84	3,528.36	3.41m × \$84 = \$286.44 36.84m × \$88 = \$3,241.92
9	36.36	273.2	3,199.68	36.36m × \$88 = \$3,199.68
10	32.9	306.1	2,895.20	32.90m × \$88 = \$2,895.20
11	30.73	336.83	2,704.24	30.73m × \$88 = \$2,704.24
12	27.27	364.1	2,399.76	27.27m × \$88 = \$2,399.76
13	21.11	385.21	1,857.68	21.11m × \$88 = \$1,857.68
14	8.84	394.05	777.92	8.84m × \$88 = \$777.92
15	12.23	406.28	1,107.64	5.95m × \$88 = \$523.60 6.28m × \$93 = \$584.04
16	11.26	417.54	1,047.18	11.26m × \$93 = \$1,047.18
17	16.62	434.16	1,545.66	16.62m × \$93 = \$1,545.66
18	23.4	457.56	2,176.20	23.40m × \$93 = \$2,176.20
19	30.2	487.76	2,808.60	30.20m × \$93 = \$2,808.60
20	40.16	527.92	3,734.88	40.16m × \$93 = \$3,734.88
21	40.65	568.57	3,780.45	40.65m × \$93 = \$3,780.45
22	49.69	618.26	4,730.73	31.43m × \$93 = \$2,922.99 18.26m × \$99 = \$1,807.74
23	28.88	647.14	2,859.12	28.88m × \$99 = \$2,859.12
24	57.64	704.78	5,706.36	57.64m × \$99 = \$5,706.36
			64223.21	

Fuente: Elaboración Propia.

Calculamos los metros perforados por día:

$$Mp = \frac{704.78}{24} = 29.37 \text{ m/día}$$

Con este resultado obtenemos la ganancia promedio por metro.

$$Gp = \frac{64223.21}{704.78} = 91.13 \text{ \$/m}$$

Tabla 8 Costos de Mano de obra por Metro.

T1 : Mano de Obra			
Tipo de Cambio (T.C.) = 3.80		MT PROM	29.37
Cargo	Número de Personal	Jornal (\$/)	Costo (US\$/m)
Supervisor de operaciones	1	133.33	1.19
Perforista (Operador)	1	116.67	1.05
Ayudante perforista	2	93.33	1.67
Sub Total	-	-	3.91
Leyes sociales (60%)	-	-	2.35
Total	-	-	6.26

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 9 Costo de Maquina Perforadora por Metro.

T2: MAQUINA PERFORADORA					
Equipo	Costo (US\$)	Vida útil (Pies perforados)	US\$/pie	Pies perforados	US\$/m
Máquina Perforadora	80,000	400,000	0.2	96.3336	0.66

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 10 Costo de Materiales por Metro.

T3: Materiales de Perforación Con broca Xizuan						
Accesorios	Cantidad	Costo (US\$/unidad)	Vida útil (pp)	Pies Perforados	US\$/pie	US\$/m
Broca PQ	1	185	100	96.34	1.85	6.07
Broca HQ	1	118	100	96.34	1.18	3.87
Broca NQ	1	105	100	96.34	1.05	3.44
Reaming shell	1	120	1,000	96.34	0.12	0.39
Core barrel	1	380	20000	96.34	0.02	0.06
Tubo interior	2	450	12000	96.34	0.04	0.12
Tubería de perforación	7	570	10000	96.34	0.06	0.19
Total	-	-	-	-	-	14.15

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11 Costo de Aditivos de Perforación por Metro

T 4: Aditivos de Perforación						TC: 3.80
Aditivos	Cantidad	Und	Costo (US\$/kilo)	Pies perforados	US\$/m	
Bentonita	50	Kg	0.24	96.34	0.41	
Polímero	13	Kg	0.4	96.34	0.18	
Aceite de perforación	0.25	Gal	14.5	96.34	0.12	
Grasa para tubería	1	Kg	2.85	96.34	0.10	
Grasa para máquina	1	Kg	3.2	96.34	0.11	
Hidrolina	5	Lt	1.5	96.34	0.26	
Total	-		-	-	1.17	

Fuente: Elaboración Propia

Sumatoria de tablas: $T1+T2+T3+T4 = 6.26 + 0.66 + 14.15 + 1.17 = 22.56 \text{ \$/m}$

La ganancia será: $91.13 \text{ \$/m} - 22.56 \text{ \$/m} = 68.57 \text{ \$/m}$.

5.2 ANÁLISIS CON BROCAS FORDIA.

Se tiene el sondaje en el punto 22DDMSS-34 en la zona mancha de hierro que se realizó en 15 días trabajando en doble guardia de 12 horas cada una, por lo que en la tabla 12 se muestra el avance por día sumando el avance de ambas guardias. Se tomaron en cuenta los parámetros de perforación mencionados anteriormente.

Además, se tiene los precios por diámetro y que con ellos se hacen los cálculos de costos:

PQ cobra 95\$ por metro y se perfora hasta los 50 metros.

HQ cobra 90\$ por metro y va desde los 50m hasta los 100 metros.

NQ cobra 84\$ por metro y va desde los 100m -200m.

88\$ por metro y va desde los 200m-400m.

93\$ por metro y va desde los 400m-600m.

99\$ por metro y va desde los 600m-800m.

Tabla 12 *Análisis de Costos con Brocas Fordia.*

BROCA FORDIA				
Día	Metros Perforados	Profundidad Acumulada	Costo de Perforación (USD)	Detalle de Diámetro
1	3	3	285	3.00m con \$95/m (\$285.00)
2	21.24	24.24	2017.8	21.24m con \$95/m (\$2017.80)
3	17.58	41.82	1670.1	17.58m con \$95/m (\$1670.10)
4	19.01	60.83	1751.8	8.18m con \$95/m (\$777.10), 10.83m con \$90/m (\$974.70)
5	53.63	114.46	4739.94	39.17m con \$90/m (\$3525.30), 14.46m con \$84/m (\$1214.64)
6	27.41	141.87	2302.44	27.41m con \$84/m (\$2302.44)
7	45.45	187.32	3817.8	45.45m con \$84/m (\$3817.80)
8	24.24	211.56	2082.4	12.68m con \$84/m (\$1065.12), 11.56m con \$88/m (\$1017.28)
9	26.17	237.73	2302.96	26.17m con \$88/m (\$2302.96)
10	49.58	287.31	4363.04	49.58m con \$88/m (\$4363.04)
11	60.6	347.91	5332.8	60.60m con \$88/m (\$5332.80)
12	36.06	383.97	3173.28	36.06m con \$88/m (\$3173.28)
13	15.45	399.42	1359.6	15.45m con \$88/m (\$1359.60)
14	43.77	443.19	4067.71	0.58m con \$88/m (\$51.04), 43.19m con \$93/m (\$4016.67)
15	22.12	465.31	2057.16	22.12m con \$93/m (\$2057.16)
			41323.83	

Fuente: Elaboración Propia.

Calculamos los metros perforados por día:

$$Mp = \frac{465.31}{15} = 31.02 \text{ m/día}$$

Con este resultado obtenemos la ganancia promedio por metro.

$$Gp = \frac{41323.83}{465.31} = 88.80 \text{ $/m}$$

Tabla 13 Costo de Mano de Obra por Metro.

T 1: de Mano de Obra			
Tipo de Cambio (T.C.) = 3.80		MT PROM	31.02
Cargo	Número de Personal	Jornal (S/)	Costo (US\$/m)
Supervisor de operaciones	1	133.33	1.13
Perforista (Operador)	1	116.67	0.99
Ayudante perforista	2	93.33	1.58
Sub Total	-	-	3.70
Leyes sociales (60%)	-	-	2.22
Total	-	-	5.93

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 14 Costo de Maquina Perforadora por Metro.

T 2: MAQUINA PERFORADORA					
Equipo	Costo (US\$)	Vida útil (Pies perforados)	US\$/pie	Pies perforados	US\$/m
Máquina Perforadora	80,000	400,000	0.2	101.7456	0.66

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 15 Costo de Materiales de Perforación por Metro.

T 3: Materiales de Perforación Con broca Fordia						
Accesorios	Cantidad	Costo (US\$/unidad)	Vida útil (pp)	Pies Perforados	US\$/pie	US\$/m
Broca PQ	1	260	130	101.75	2.00	6.56
Broca HQ	1	220	130	101.75	1.69	5.55
Broca NQ	1	180	130	101.75	1.38	4.54
Reaming shell	1	120	1,000	101.75	0.12	0.39
Core barrel	1	380	20000	101.75	0.02	0.06
Tubo interior	2	450	12000	101.75	0.04	0.12
Tubería de perforación	7	570	10000	101.75	0.06	0.19
Total	-	-	-	-	-	17.42

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 16 Costos de Aditivos de Perforación por Metro.

T 4: Aditivos de Perforación					
Aditivos	Cantidad	Und	Costo (US\$/kilo)	Pies perforados	US\$/m
Bentonita	50	Kg	0.24	101.75	0.39
Polímero	13	Kg	0.4	101.75	0.17
Aceite de perforación	0.25	Gal	14.5	101.75	0.12
Grasa para tubería	1	Kg	2.85	101.75	0.09
Grasa para máquina	1	Kg	3.2	101.75	0.10
Hidrolina	5	Lt	1.5	101.75	0.24
Total	-		-	-	1.11

Fuente: Elaboración Propia

Sumatoria de tablas: $T1+T2+T3+T4 = 5.93 + 0.66 + 17.42 + 1.11 = 25.09$ \$/m

La ganancia será: 88.80 \$/m – 25.09 \$/m = 63.71 \$/m

5.3 RESULTADOS

5.3.1 Comparación de resultados.

Tabla 17 Comparación de resultados entre brocas Xizuan y Fordia.

TABLA COMPARATIVA	XIZUAN (\$/m)	FORDIA (\$/m)
Tabla de Mano de Obra	6.26	5.93
Máquina Perforadora	0.66	0.66
Tabla de Materiales de Perforación Con broca Fordia	14.15	17.42
Tabla de Aditivos de Perforación	1.17	1.11
TOTAL	22.24	25.12

Fuente: Elaboración Propia

5.4 DISCUSION

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que las brocas Xizuan presentan una reducción significativa en el costo por metro en comparación con las brocas Fordia, generando una diferencia a favor de las Xizuan. Asimismo, se observó un mayor rendimiento operativo al disminuir los tiempos improductivos relacionados con el recambio de herramientas y una mejor continuidad en la perforación. Estos hallazgos se relacionan con el antecedente internacional de Vynohradova et al. (2022), quienes en su estudio compararon brocas con distintas configuraciones de matriz diamantada e insertos compuestos. La presente tesis, al aplicarse en un entorno real de explotación minera (Mina Shougang Hierro Perú S.A.A.), complementa y refuerza ese antecedente internacional al demostrar que la elección de una broca alternativa (Xizuan) no solo asegura un desempeño técnico aceptable, sino que también permite optimizar recursos y reducir costos operativos en condiciones geológicas exigentes. De este modo, se corrobora que la productividad y rentabilidad en la perforación diamantina dependen directamente de la selección adecuada de la herramienta de corte, tanto en términos de materiales como de costo de adquisición.

Respecto al análisis de costos, se determinó que el uso de las brocas Xizuan permitió una reducción significativa en los costos operativos, alcanzando una rentabilidad promedio de 68.57 \$/m frente a los 63.71 \$/m obtenidos con las brocas Fordia. Esta diferencia positiva se traduce en un ahorro de 3.33 \$/m, manteniendo al mismo tiempo la productividad del proceso. Este resultado guarda correspondencia con la investigación realizada por Alaguien Uriel (2019), quien evaluó el impacto económico del uso de brocas Hayden frente a las JC Portal en la Unidad Minera San Rafael – Puno. En dicha tesis, se

evidenció una reducción de 0.94 \$/m, concluyéndose que las brocas Hayden representaban una mejora económica.

Los resultados de la presente investigación muestran que la aplicación de brocas Xizuan permite reducir el costo por metro perforado, frente a los obtenidos con las brocas Fordia, asimismo, se evidenció una mayor continuidad operativa debido a la mayor durabilidad de las brocas Xizuan en condiciones geológicas exigentes como de la formación Marcona. Estos hallazgos guardan relación con lo expuesto por Chávez Quispe (2019) en la Unidad Minera Tintaya – Cusco, donde se concluyó que la implementación de brocas impregnadas incrementó la productividad en 15 % y redujo el costo por metro en 10 % en comparación con las brocas convencionales. Tanto en el antecedente como en la presente investigación se confirma que la selección de la broca adecuada en función de la litología es un factor determinante para optimizar la productividad y reducir costos en operaciones de perforación diamantina.

CONCLUSIONES:

1. Los parámetros de perforación con la implementación de las brocas Xizuan muestran una mejora en conjunto con la velocidad de rotación, presión y velocidad de fluido, contribuyen a mantener la eficiencia operativa mejorando la productividad en la perforación diamantina en la empresa PMG Shoukan S.R.L., mina Shougang Hierro Perú.

Para la broca PQ: la broca Xizuan presenta un rendimiento aproximadamente un 7.47% menor que la broca Fordia.

Para la broca HQ: la broca Xizuan muestra una mejora significativa, siendo aproximadamente un 30.27% menor que la broca Fordia.

Para la broca NQ: la broca Xizuan también presenta una mejora notable, siendo aproximadamente un 24.23% menor que la broca Fordia.

2. Los costos operativos demuestran que la broca Xizuan presenta una disminución en los costos manteniendo la producción normal de las operaciones esto impacta positivamente en la reducción del costo total de la operación ahorrando un total del 3.33 \$/m en costos mejorando la productividad en la perforación diamantina en la empresa PMG Shoukan S.R.L mina Shougang hierro Perú.

3. La implementación de las brocas Xizuan permitió mejorar la productividad con una diferencia total de costos es de \$2.88 menos (\$22.24 vs. \$25.12), manteniendo el ritmo de la producción, lo que representa una optimización en los recursos utilizados en perforación diamantina en la empresa PMG Shoukan S.R.L mina Shougang hierro Perú.

RECOMENDACIONES

- El área de producción debe instruir a los operadores sobre la aplicación de los parámetros de perforación óptimo de las brocas Xizuan para maximizar su vida útil y mejorar la eficiencia operativa.
- El área de producción debe realizar estudios a mediano y largo plazo para evaluar el impacto del uso de las brocas Xizuan en la productividad general de la empresa y validar su desempeño en diversas condiciones de perforación.
- Se recomienda al área de producción la implementación de las brocas Xizuan a gran escala en futuras operaciones de perforación diamantina ya que permiten reducir costos mejorando la productividad, en zonas similares a las de la formación Marcona.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Altamirano Mariños, B. J., & Coba Sanchez, V. E. (2021). Influencia de los parámetros técnicos de perforación diamantina y aire reverso para disminuir costos por desviación de sondajes en un proyecto minero de Cajabamba 2020.

Atlas Copco. (2010). Exploration drilling: Products and applications. Atlas Copco Drilling Solutions.

Boart Longyear. (2018). Diamond drilling handbook (9th ed.). Boart Longyear.

Boart Longyear. (2013). Herramientas para usar en el interior del pozo.

Boyles. (2013). Manual Técnico del perforista.

Bustillo Revuelta, M., & Lopez Jimeno, C. (1997). Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras.

Cuno Coaquira, M. A. (2018). Implementación de un sistema de gestión de seguridad basada en el comportamiento y evaluación de costos en perforación diamantina de Explo Drilling Peru SAC en la unidad operativa Chucapaca, Moquegua.

Fordia. (2017). Technical catalog: Drilling solutions. Montreal, Canada: Fordia Group Inc.

Organización Internacional de Normalización (ISO). (2017). ISO 22475-1: Geotechnical investigation and testing – Sampling methods and groundwater measurements – Part 1: Technical principles for execution. Ginebra: ISO.

Serrano, J., & Gamboa, J. (2018). Evaluación de la productividad en perforación diamantina mediante análisis de costos y rendimiento. Revista Ingeniería de Minas.

Smith, R., & Patel, K. (2015). Optimization of core drilling performance in hard rock formations. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.

Tovar, M., & Quispe, L. (2020). Aplicación de herramientas de corte diamantadas en minería subterránea peruana. Revista del Instituto de Ingenieros de Minas del Perú.

Versace Tito, P. A. (2018). Geología y programa de perforación diamantina de la Veta Coyita Compañía Minera Cerro Bayo Mandalay Resources Chile.

World Health Organization (WHO). (2015). Occupational health and safety in mining. Ginebra: OMS.

Xizuan Drilling Tools. (2020). Diamond core bits product manual. Xizuan Mining Equipment Co., Ltd.

ANEXO I

1 DESCRIPCIÓN DE LA MINA

1.1 DELIMITACION GEOGRAFICA

El presente estudio se realiza dentro la concesión de la empresa minera Shougang Hierro Perú S.A.A. que se encuentra situada en la costa peruana del distrito de Marcona, provincia de Nasca y Región Ica.

El acceso es a través de la carretera Panamericana Sur con dirección a Nazca y posteriormente tomando la dirección oeste, hacia la ciudad de San Juan de Marcona.



Figura 1: Ubicación geográfica de la mina Marcona. (Fuente: Google earth).

1.1.1 Ubicación

El Distrito Minero de Marcona se encuentra estratégicamente situado en la costa sur del Perú, a unos 420 kilómetros al sur de la capital, Lima. Enclavado en el departamento de Ica, provincia de Nazca, y específicamente en el distrito de San Juan de Marcona, este enclave minero se alza a 800 metros sobre el nivel del mar. Conectado por una vía de 27 kilómetros al puerto de San Juan y a tan solo 13 kilómetros del puerto de San Nicolás, su ubicación costera facilita el transporte de minerales y otros recursos.

1.1.2 Accesibilidad

La Mina Shougang se encuentra estratégicamente ubicada a lo largo de una red vial de primer nivel. Desde la vibrante ciudad de Nazca, se puede llegar a la mina recorriendo 50 kilómetros por una moderna pista asfaltada que conecta con la antigua Panamericana Sur. Alternativamente, desde el estratégico Puerto de San Juan de Marcona, se puede acceder a la mina a través de una carretera de 30 kilómetros. Esta conectividad facilita el transporte de personal, insumos y productos mineros.



Figura 2: Ruta de Nazca a Marcona (Fuente: Google earth)

1.1.3 *Relieve*

El relieve de la mina Shougang en Marcona, Ica, presenta características particulares debido a su ubicación geográfica y a la actividad minera.

La mina se encuentra ubicada en una zona costera, lo que influye en el tipo de rocas y sedimentos presentes. El área está conformada por terrazas marinas, que son plataformas elevadas cerca del litoral, producto de antiguos niveles del mar. Estas terrazas suelen ser planas o ligeramente onduladas. A pesar de ser una zona predominantemente plana, se pueden encontrar colinas y lomadas, especialmente en las áreas donde se han realizado las extracciones mineras.

1.1.4 *Clima*

Por su ubicación en la costa sur del Perú, presenta un clima desértico cálido característico de la región. Esto significa que las temperaturas son elevadas durante todo el año, con poca variación estacional, y las precipitaciones son extremadamente escasas se concentran principalmente en los meses de invierno (junio a septiembre), en forma de lloviznas o garúas. Sin embargo, estos eventos son esporádicos y de corta duración.

Las temperaturas promedio anuales son elevadas, con máximas que pueden superar los 35°C durante el día, especialmente en los meses de verano (diciembre a marzo). Las noches suelen ser más frescas, pero no frías.

Los vientos suelen ser moderados a fuertes, especialmente durante el día, y pueden levantar polvo y arena alcanzo velocidades de hasta 60km/hr.

1.1.5 Flora y fauna

Debido a las condiciones climáticas desérticas, la flora y fauna en la zona se encuentran adaptadas a entornos hostiles. Sin embargo, es importante destacar que muchas de estas especies han logrado coexistir bajo estas condiciones.

Especies xerófilas: Al igual que en el resto de la zona, predominan las plantas adaptadas a la sequía, como los cactus y algunas hierbas resistentes. Estas especies han desarrollado mecanismos para almacenar agua y reducir la pérdida de humedad.

Invertebrados: En el suelo y bajo las rocas, es posible encontrar una variedad de insectos, arácnidos y otros invertebrados adaptados a vivir en ambientes secos y con poca materia orgánica.

Reptiles: Algunas especies de reptiles, como lagartijas y serpientes, habitan en las zonas rocosas y arenosas. Estos animales son capaces de soportar altas temperaturas y largos períodos sin agua.

Aves: Aunque la diversidad de aves es menor que en otras zonas, algunas especies como los cernícalos y los halcones se pueden observar cazando pequeños roedores y reptiles.

Mamíferos: Roedores como ratones y ratas, así como zorros, pueden encontrarse ocasionalmente por las zonas más alejadas.

1.2 ANÁLISIS DE GEOLÓGICO MINERALÓGICO

1.2.1 *Geología regional*

La mina Shougang se encuentra ubicada en la costa sur del Perú, a 800 metros sobre el nivel del mar, es el resultado de una larga historia geológica marcada por la erosión marina y los levantamientos tectónicos.

La convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Sudamérica ha generado una intensa actividad tectónica en la región, lo que ha influido en la formación y deformación de las rocas.

La presencia de rocas volcánicas en la zona indica que ha existido actividad volcánica en el pasado, lo que ha contribuido a la formación de los yacimientos minerales.

Esta región, situada en la antigua plataforma continental, hoy una meseta suavemente ondulada, ha sido esculpida por los procesos de meteorización y erosión que han modelado el relieve de la zona por la acción de las olas y los vientos, dando lugar a un paisaje de colinas bajas y terrazas marinas que a la larga han expuesto los yacimientos minerales a la superficie.

El estrato rocoso, conformado principalmente por rocas metamórficas y sedimentarias de edad paleozoica y mesozoica, ha sido intensamente deformado por los procesos tectónicos y cortado por numerosas intrusiones ígneas. Estos eventos geológicos, junto con la sedimentación marina y continental, han dado lugar a una compleja estructura geológica que se manifiesta en la presencia de fallas, pliegues y otras estructuras tectónicas.

1.2.2 Geología estructural

Se encuentra emplazada en una secuencia de rocas sedimentarias que presentan una inclinación constante hacia el noreste, formando una estructura geológica conocida como homoclinal. A mayor escala, esta secuencia es parte de un antiguo pliegue en forma de arco, del cual solo se conserva una porción. Este pliegue, o anticlinal, se formó por la compresión de las capas rocosas y posteriormente fue erosionado.

Sin embargo, la estructura geológica de la mina no es tan simple como parece. La presencia de numerosas fallas y de intrusiones ígneas ha fragmentado y deformado las capas rocosas, creando un ambiente geológico más complejo. Además, los movimientos tectónicos posteriores han continuado modificando esta estructura, generando zonas de debilidad y favoreciendo la formación de nuevos fracturamientos.

La geología estructural de la zona presenta tres fallas importantes las cuales son:

Fallas Pista: Estas fallas, pre y post-mineralización, son de tipo normal gravitacional, indicando una etapa de extensión tectónica. Su orientación predominante es N60°E con buzamientos hacia el noreste. Estas estructuras han generado plegamientos menores y una intensa fracturación en la Formación Marcona, lo que ha facilitado la circulación de fluidos mineralizantes y ha influido en la distribución de los cuerpos de mineral.

Fallas de Repetición: Estas fallas, de carácter tensional-compresional inverso, se formaron posteriormente a la mineralización y son paralelas a la estratificación (N45°E). Se observan al sur de la Mina 5, donde ponen en contacto las Formaciones Marcona y

Cerritos. Su nombre se debe a que han causado la repetición u omisión de estratos, lo que ha complicado la interpretación geológica de la zona.

Falla La Huaca: Este sistema de fallas, también post-mineral, es paralelo a la Cordillera de los Andes (N25°E) y representa los eventos tectónicos más recientes. La Falla La Huaca ha generado repeticiones y omisiones de estratos, así como cambios bruscos en la orientación de las capas, lo que sugiere una compleja historia tectónica y deformacional.

1.2.3 Geología económica

La mina de Marcona es un vasto depósito de hierro, distribuido en cientos de cuerpos minerales esparcidos a lo largo de una extensa área. Estos depósitos se formaron hace millones de años, durante los períodos Paleozoico y Jurásico, cuando la región estaba cubierta por mares.

Originalmente, los minerales de hierro en Marcona eran principalmente magnetita, un mineral magnético. Sin embargo, a lo largo de millones de años, estos minerales han sufrido cambios importantes debido a la acción del agua, el aire y los movimientos de la Tierra. Este proceso, conocido como meteorización, ha transformado la magnetita en otros minerales de hierro, como la hematita.

La meteorización ha creado diferentes zonas dentro de cada cuerpo mineral:

Zona superior: En esta zona, la magnetita original se ha oxidado casi por completo, formando hematita de color rojo. Esta zona es rica en hierro, pero puede contener impurezas.

Zona intermedia: Aquí, la oxidación ha sido parcial, dando lugar a una mezcla de hematita y magnetita. El mineral en esta zona suele ser más duro y de color negro.

Zona inferior: En la parte más profunda, se encuentra el mineral original, la magnetita, que ha sufrido menos alteración.

La presencia de otros minerales, como la pirita, ha influido en la velocidad y la intensidad de la oxidación. Cuanta más pirita había, más rápida y completa era la oxidación. Además, el tipo de roca que rodea a los minerales de hierro también ha influido en el proceso de meteorización.

En resumen, los depósitos de hierro de Marcona son el resultado de un largo proceso de formación y transformación. La combinación de factores geológicos y climáticos ha dado lugar a una gran variedad de minerales de hierro, cada uno con características y propiedades diferentes.

1.2.4 Estratigrafía

La columna estratigráfica de Marcona revela una compleja secuencia de eventos geológicos que se han desarrollado a lo largo de millones de años. Esta secuencia, caracterizada por una variada sucesión de rocas sedimentarias, volcánicas y metamórficas, proporciona una visión detallada de la evolución geológica de la región y, en particular, de las condiciones en las que se formaron los depósitos de hierro de Shougang.

ERA	PERIODO	FORMACION	SIMBOLO	COLUMNA ESTRATIGRAFICA	POTENCIA APROX. EN METROS		DESCRIPCION
					MIEMBRO	TOTAL	
CENOZOICO	CUATERNARIO	DISCORDANCIA	Qal		0 - 30±		Arena marina estratificada no consolidada, rodados heterogeneos, cenizas, cavidades rellenas, caliche.
	TERCIARIO	FORMACION PISCO	Tpf		500± ?		Arcillas interestratificadas, areniscas de grano fino, arcillas laminadas, bentonita, abundantes cenizas volcánicas, vetillas de yeso.
		DISCORDANCIA					
MESOZOICO	CRETACICO	FORMACION COPARA	Kcf		500± ?	700±	SUPERIOR.- Miembro los Cerrillos: Areniscas blancas cuarzos pobremente estratificados. INFERIOR.- Miembro Tierra Blanca: Tufos depositados en agua, lavas, sedimentos volcánicos bien estratificados, areniscas carbonáceas.
		DISCONFORMIDAD			200± ?		
	JURASICO SUPERIOR Y MEDIO	FORMACION CERRITOS	Jcf		1,000±	6,000±	INFERIOR.- Miembro Tunga: Potentes flujos rojizos de andesita porfírica, delgadas calizas fosilíferas, areniscas feldespáticas y conglomerados.
					3,000±		MEDIO.- Miembro Las Tetas: Areniscas feldespáticas arcósicas, tufos, flujos rojizos de andesita porfírica
		DISCONFORMIDAD			2,000±	ABUNDANTE MAGNETITA DISEMINADA	INFERIOR.- Miembro N-13: Abundantes flujos de andesita, tufos, areniscas tufáceas, areniscas feldespáticas BASE.- Brecha sedimentaria y conglomerado
PALEOZOICO	?	FORMACION MARCONA	Mf		500± E.GRID 500± MINA 7 600±	1,600±	INFERIOR.- Miembro Pampa: Pizarras silicificadas y cornubianitas filíticas MEDIO.- Miembro San Juan: Capas de dolomita separadas por cornubianitas y arcosa local INFERIOR.- Miembro Justa: Actinolita, cuarcita, cornubianita, cornubianita arcósica (gneisítica) arcosa BASE.- Conglomerado de cornubianita (fragmentos PEL)
		DISCORDANCIA					
OSTEROZOICO	PRECAMBILICO	COMPLEJO LOMAS	PEL ?		?		Abundante paragneises rosados, meta arcosas de grano grueso, esquistos micáceos, zonas granitizadas. Base del complejo no establecida

Figura 3: Formación geológica (Fuente: Shoukan)

1.2.5 Tipo de yacimiento

La región de Marcona alberga un complejo sistema de mineralización, compuesto por 117 cuerpos mineralizados distribuidos en un área de aproximadamente 150 km². Estos cuerpos, de dimensiones variables y morfología tabular, son el resultado de procesos metasomáticos que han afectado a las rocas sedimentarias de las formaciones Marcona y Cerritos.

La mineralización se originó a partir de soluciones hidrotermales derivadas de magmas intrusivos, como el batolito de San Nicolás. Estas soluciones, enriquecidas en hierro, circularon a través de fracturas y fisuras en las rocas encajonantes, reemplazando gradualmente los minerales originales, principalmente carbonatos, por magnetita. Este proceso de reemplazo metasomático dio lugar a la formación de los yacimientos de hierro.

Los diques de dacita asociados al batolito de San Nicolás actuaron como conductos para las soluciones mineralizantes, facilitando su ascenso hacia niveles más superficiales. Las dolomías de la Formación Marcona y las partes calcáreas de las areniscas feldespáticas de la Formación Cerritos resultaron ser las rocas más susceptibles a la alteración metasomática y a la deposición de los minerales de hierro.

Por ende, los depósitos de hierro de Marcona son el resultado de un proceso de reemplazamiento metasomático, en el cual las soluciones hidrotermales de origen magmático han interactuado con las rocas carbonáticas de la región, dando lugar a la formación de cuerpos mineralizados de gran importancia económica.

1.2.6 Mineralogía

El mineral económico más abundante en estos yacimientos es la magnetita, presentándose en forma de granos finos y masas compactas. Esta magnetita contiene entre

un 40% y 60% de hierro y se encuentra asociada a una cantidad considerable de pirita. Además de la magnetita y la pirita, se han identificado otros minerales de interés económico como la chalcopirita y la covelita, que aportan contenidos de cobre variables. La pirrotita, otro sulfuro presente, se utiliza como referencia para clasificar los minerales. Los minerales de ganga más comunes asociados a la mineralización son cobalto, actinolita, epidota, calcita, biotita, brocantita, clorita y sericita.

BROCAS XIZUAN DE DIAMANTE IMPREGNADO



ANEXO 3

CAJAS DE ACUMULACION DE TESTIGOS



ANEXO 4

CABEZAL DE TUBO INTERIOR Y PESCADOR



ANEXO 5

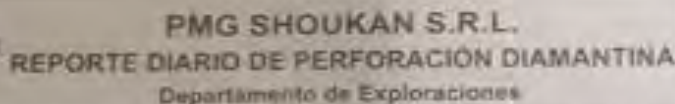
MAQUINA PERFORADORA



ANEXO 6

REPORTE DIARIO DE PERFORACION

 PMG SHOUKAN S.R.L. REPORTE DIARIO DE PERFORACIÓN DIAMANTINA Departamento de Exploraciones										Código: F-CAL-01 Versión: 001 Fecha: 02/01/2020	
PROYECTO: C62-SHP-004-702			BONEDO N°: 210014-58			INCLINACIÓN CHORRIZONAL: 0°					
UBICACIÓN: MINA 14			TIPO DE MAQUINA: E 101 1002-01			ADMITE:			COTA DE BOCA:		
FECHA: 17-09-27			TURNO: A			HORA: 8:30			H.M.M.		
AVANCE DE PERFORACIÓN											
LONGIT. DE TUB. EN EL BONDOL AL FIN DEL TURNO			5867			DESCRIPCIÓN			TOTAL METROS	TOTAL HORAS	
LONGIT. DE TUB. GOBIERNO FUERA DEL BONDOL AL FIN DEL TURNO			000			PERFORADO: 176			22.21	9.6	
PROFUNDIDAD AL FIN DEL TURNO			5697			REMADO:					
PROFUNDIDAD AL COMIENZO DEL TURNO			34.76			CEMENTADO:					
CONSTANTE			1.70			PERFORADO CEMENTADO:					
TOTAL PERFORADO DURANTE EL TURNO			22.21			AGUJERO Y CASINO:					
RENDIMIENTO DE LAS BROCA Y ZAPATA											
TIPO	DIAM.	CONDIC.	N°	Mts. PERFORAC.	DESDE	HASTA	TOTAL				
BROCA	176	USADA					24.76				
BROCA											
BROCA											
ZAPATA											
ZAPATA											
REVESTIMIENTO											
CASINO	DIAMET.	ANT. BOC.	UNID.	PROFUND. (m)	DESDE	HASTA	TOTAL				
BAJADA											
BAJADA											
BAJADA											
CONTROL DE PERFORACIÓN POR CORRIDA											
N° CORRIDA	METROS PERFORADOS			TESTIGOS		N° DE HERRAS	% RECUPERACIÓN AGUA	OBSERVACIONES			
27	34.76	35.41	0.65	0.72	34		100	* Se benefició con agua			
28	35.41	36.41	1.00	1.00	100		100	* Se benefició con la perforación			
29	36.41	41.41	5.00	5.00	100		100	* Se benefició con la perforación			
30	41.41	44.41	3.00	3.00	100		100				
31	44.41	45.13	0.72	0.72	100		100				
32	45.13	47.28	2.15	2.15	100		100				
33	47.28	49.21	1.93	1.93	100		100				
34	49.21	50.27	1.06	0.56	100		100				
35	50.27	53.27	3.00	3.00	100		100				
36	53.27	53.82	0.55	0.55	100		100				
37	53.82	54.77	0.95	0.95	100		100				
38	54.77	56.97	2.20	2.20	100		100				
MATERIALES USADOS											
IDENTIFICACIÓN		TIPO		CANTIDAD		REVISIÓN					
Tubos		5000		100		100					
PERSONAL DE TURNO											
SUPERVISOR:		GUARINO BARRA		FIRMA		PMG SHOUKAN		CLIENTE			
PERFORISTA:		HUAMAN HUATA V2		FIRMA							
AYUDANTE 1:		TACA PUNCE D.		FIRMA							
AYUDANTE 2:		ANDRES GUERRERO J		FIRMA							



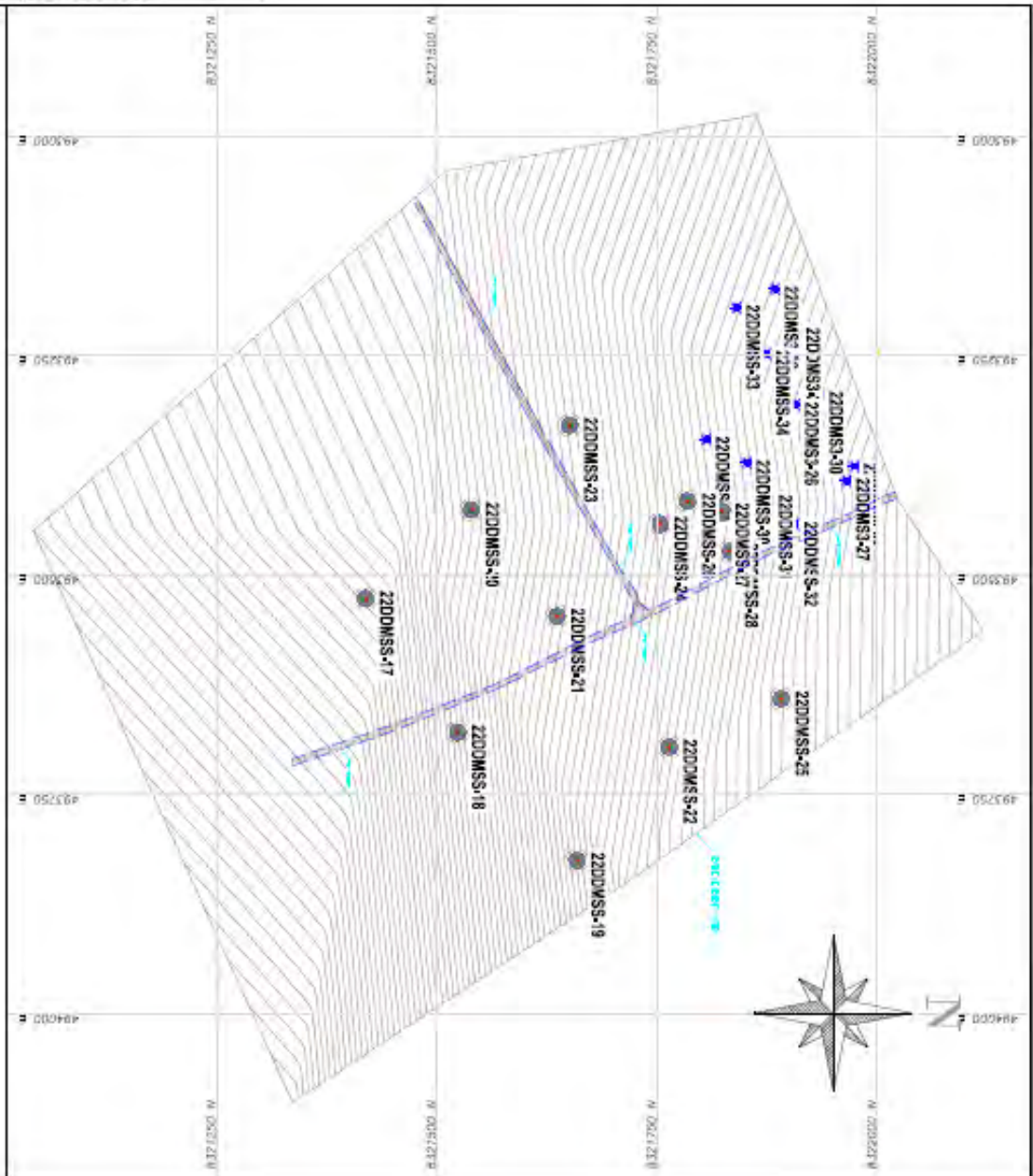
Fecha: 02/04/2020

84

ANEXO 7

DISTRIBUCION DE SONDajes DE PERFORACION PROYECTADOS Y EJECUTADOS





LEYENDA

LINEA DE BORDE DE ACCESO PROYECTADO

LINEA DE BORDE DE ACCESO PROYECTADO

CURVAS MAYORES

CURVAS MENORES

SONDAES REALIZADOS

SONDAES NO REALIZADOS



Activar W

		Proyecto 2024-2025	Proyecto 2024-2025	Proyecto 2024-2025	Proyecto 2024-2025	Proyecto 2024-2025
---	---	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------

ANEXO 8

POTOCOLO DE RECUPERACION DE TESTIGO



PROTOCOLO RECUPERACION DE TESTIGO PERFORACION DIAMANTINA-ROTULADO

SHOUKAN

VERSIÓN: 01

0	15/06/2022	APROBACION	Firma:	Firma:	Firma:
B	18/06/2022	REVISION	Firma:	Firma:	Firma:
A	20/06/2022	REVISION	Firma:	Firma:	Firma:
Rev.	Fecha	Emitido para:	Nombre: Ing. David Carrasco Zeballos Cargo: J. Geología Elaborado	Nombre: Ing. Fan ZhiWei. Cargo: Gerente Técnico Revisado	Nombre: Ing. Zhang Ping. Cargo: Gerente General Aprobado

1. OBJETIVO

Establecer los lineamientos y parámetros para un trabajo de calidad, evitando errores que puedan ejecutar los colaboradores, provocados por desconocimiento de procedimientos, estándares de trabajo en cuanto a mantener la calidad de las muestras recuperadas durante la perforación diamantina y el cuidado de las mismas.

2. ALCANCE

Este protocolo aplica a todos los trabajadores de P.M.G. SHOUKAN S.R.L., empresas contratistas mineras y de actividades conexas, que desarrollen trabajos bajo la supervisión de la Gerencia de P.M.G. SHOUKAN S.R.L.

3. REGISTRO DE CAJA DE TESTIGOS

A continuación, se describen los materiales a utilizar.

Materiales

- Caja de muestras. Tapa de cajas de muestras.
- Flexómetro de 5m.
- Martillo de goma.
- Plumón marcador indeleble color Negro o blanco.
- Brocha de limpieza muestras.

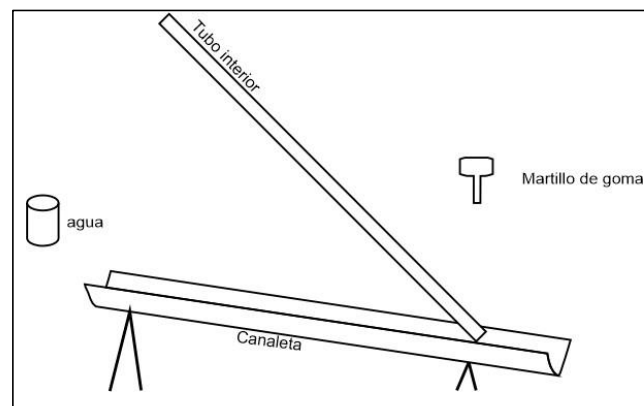
Identificación de Sondaje

Se coloca el nombre y numeración correlativa del sondaje de acuerdo a la zona en la cual se ubica este. Para el caso, en que el sondaje se encuentre dentro del área de mina se antepone el año de ejecución del sondaje y sucesivamente la nomenclatura de la zona de exploración. Tal como se muestra en la Tabla 1.

Zona	Mina 5	Zona Nueva	El Justo
Identificación de sondaje	21DDM5-1	ZN-1	DDMJS-1
	21DDM5-2	ZN-2	DDMJS-2
	21DDM5-3	ZN-3	DDMJS-3

Tabla 1: Identificación de sondajes año 2021.

- 3.1. La recuperación de la muestra del tubo interior se debe realizar siguiendo la referencia del procedimiento P-CAL-06. El ayudante “A” sostendrá el Tubo Interior con ambas manos sobre la canaleta en un ángulo de 45° aproximadamente, mientras; que el segundo ayudante sostendrá el tubo interior con una mano y con ligeros golpes con el martillo de goma inducirá la caída de toda la muestra sobre la canaleta de forma secuencial. El tubo interior debe estar máximo a 5 cm de la base de canaleta, para evitar que caiga la muestra al piso.

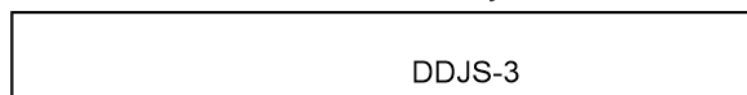


- 3.2. Rotulado requerido para caja de testigo de perforación diamantina.

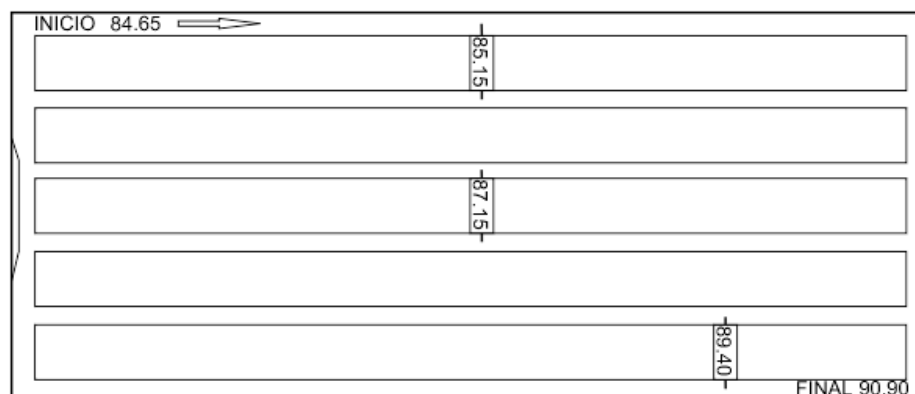
Lado frontal de la caja



Lado lateral de la Caja



- 3.3. Las muestras de Testigo serán lavadas con agua y brocha; antes de ser colocado en la caja porta testigo en el orden de izquierda a derecha sin alterar la secuencia de la muestra y así mantener toda la información requerida.



- 3.4. El operador y/o primer ayudante procederá al llenado del taco con toda la información requerida deberá tener en cuenta el porcentaje de recuperación de la corrida, al final de la caja. Si la recuperación es menor del 100% se debe regularizar, ver imagen siguiente:

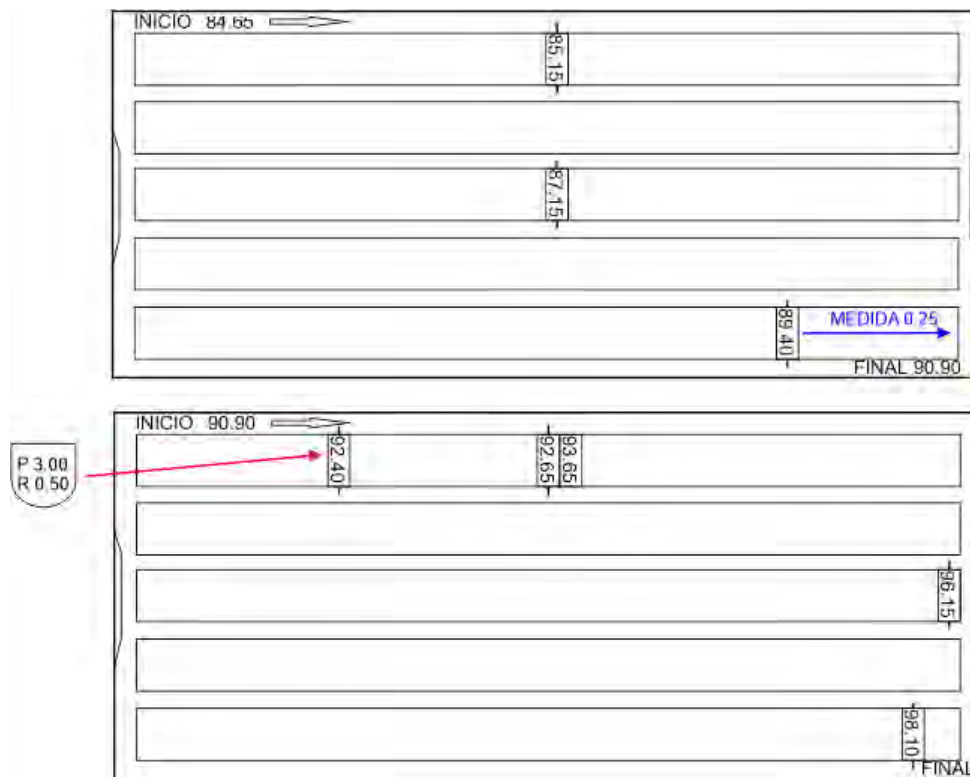
$$CORRECCION = \frac{MEDIDA \times P}{R}$$

- 3.5. Donde: MEDIDA es la distancia del taco al final de la caja, P es la distancia perforada (dato del taco) y R es la recuperación.

$$CORRECCION = \frac{0.25 \times 3.00}{0.50} = 1.50$$

El final de la caja o "H" será el metraje del taco más la distancia corregida:

$$DISTANCIA FINAL DE CAJA = 89.40 + 1.5 = 90.90$$



4. REFERENCIA

Procedimiento calidad empresa shoukan P-CAL-06.

5. ANEXO IMÁGENES REFERENCIA



FOTO 1. VISTA EN PLANTA TACO CON INFORMACION DE PROFUNDIDAD Y NUMERO DE CORRIDA EN CAJA



FOTO 2. VISTA TACO CON INFORMACION DE PERFORACION



FOTO 3. VISTA TACO / LADO POSTERIOR CON INFORMACION DE PERFORACION