



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL CONTROL DE  
PARÁMETROS DE PERFORACIÓN EN LOS CONGLOMERADOS DE  
LA FORMACIÓN TIYUYACU, CAMPO SACHA.

**AUTOR**

Arévalo Morales Francisco Xavier

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención del grado académico en  
**MAGÍSTER EN PETRÓLEOS**

**TUTOR**

Ing. Vargas Gutiérrez Xavier, Mgtr.

**Santa Elena, Ecuador**

**Año 2025**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**Ing. Toledo Montecce Victor, Mgtr.  
COORDINADOR DEL PROGRAMA**

---

**Ing. Vargas Gutiérrez Xavier, Mgtr.  
TUTOR**

---

**Ing. Salcedo Arciniega, Marco, PhD.  
DOCENTE ESPECIALISTA**

---

**Ing. Portilla Lazo, Carlos, Mgtr.  
DOCENTE ESPECIALISTA**

---

**Ab. Rivera Gonzalez, María, Mgtr.  
SECRETARIA GENERAL  
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por FRANCISCO XAVIER ARÉVALO MORALES, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Petróleos.

**TUTOR**

---

**Ing. Vargas Gutiérrez Xavier, Mgtr.**

**13 días del mes de marzo del año 2025**



**UPSE**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, FRANCISCO XAVIER ARÉVALO MORALES

**DECLARO QUE:**

El trabajo de Titulación, (ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL CONTROL DE PARÁMETROS DE PERFORACIÓN EN LOS CONGLOMERADOS DE LA FORMACIÓN TIYUYACU, CAMPO SACHA) previo a la obtención del título en Magíster en Petróleos, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, a los 13 días del mes de marzo del año 2025

**EL AUTOR**

---

**Arévalo Morales, Francisco Xavier**



UPSE

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO**

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado (ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL CONTROL DE PARÁMETROS DE PERFORACIÓN EN LOS CONGLOMERADOS DE LA FORMACIÓN TIYUYACU, CAMPO SACHA), presentado por el estudiante, FRANCISCO XAVIER ARÉVALO MORALES fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 3%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.



**TUTOR**

**Ing. Vargas Gutiérrez Xavier, Mgtr.**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **FRANCISCO XAVIER ARÉVALO MORALES**

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de artículo profesional de alto nivel con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este artículo académico dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

Santa Elena, a los 13 días del mes de marzo del año 2025

**EL AUTOR**

---

**Arévalo Morales Francisco Xavier**

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento muy especial a mis padres, por su amor infinito, han sido siempre un soporte y ejemplo para mí, impulsándome a ser una mejor persona.

Agradezco a mi compañera de vida y esposa, sin su apoyo incondicional no hubiera podido lograr esto.

Al Ing. Xavier Vargas, principal colaborador en este proyecto, excelente tutor y excepcional persona.

*Francisco Xavier, Arévalo Morales*

## **DEDICATORIA**

Le dedico este trabajo a mis hijos, que son mi más grande motivación, gracias a ellos entendí el significado de amar sin límites.

A esa persona que siempre creyó en mí, mi esposa. Por su sacrificio y apoyo, por ser la fuerza que me impulsa a ser mejor cada día.

A mis padres, por estar siempre para mí, sin condición. Han sido parte de muchos de mis logros, entre los que incluyo este.

*Francisco Xavier, Arévalo Morales*

# ÍNDICE GENERAL

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	I
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	IV
DECLARO QUE: .....	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO .....	V
AUTORIZACIÓN .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
DEDICATORIA.....	VIII
ÍNDICE GENERAL .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
RESUMEN .....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	6
1.1.    Revisión de literatura .....	6
1.2.    Desarrollo teórico y conceptual .....	24
1.2.1.    Análisis del daño de los cortadores PDC al perforar conglomerados.....	24
1.2.2.    Características IADC de las brocas PDC utilizadas en la formación Tiyuyacu.....	26
1.2.3.    Evaluación de desgaste de brocas PDC empleadas en formación Tiyuyacu .....	57
1.2.4.    Parámetros de perforación de brocas PDC empleadas en formación Tiyuyacu.....	58

<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>60</b>
2.1. Contexto de la investigación .....	60
2.2. Diseño y alcance de la investigación .....	60
2.3. Tipo y métodos de investigación.....	60
2.4. Población y muestra .....	60
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	61
2.6. Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información. ....	61
<b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>62</b>
3.1. Clasificación según tipo de brocas utilizadas en formación Tiyuyacu. ....	62
3.2. Análisis de parámetros de perforación en la formación Tiyuyacu.....	68
3.2.1 Torque .....	68
3.2.2 Análisis peso sobre la broca en formación Tiyuyacu.....	70
3.2.3 Análisis de ROP en formación Tiyuyacu.....	72
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>77</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>78</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>84</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Sistema de Calificación de brocas .....	13
<b>Tabla 2.</b> Evaluación de desgaste IADC brocas PDC en formación Tiyuyacu.....	57
<b>Tabla 3.</b> Parámetros de perforación de brocas PDC utilizadas en formación Tiyuyacu	58
<b>Tabla 4.</b> Tipos y cantidades de brocas utilizadas en formación Tiyuyacu.....	62
<b>Tabla 5.</b> Evaluación de desgaste de brocas Grupo A en formación Tiyuyacu .....	65
<b>Tabla 6.</b> Evaluación de desgaste de brocas Grupo B en formación Tiyuyacu.....	65
<b>Tabla 7.</b> Evaluación de desgaste de brocas PDC (Grupo C) en formación Tiyuyacu ...	67
<b>Tabla 8.</b> Evaluación de desgaste de brocas PDC (Grupo D) en formación Tiyuyacu ...	67
<b>Tabla 9.</b> ROP promedio brocas PDC (Grupo A) en formación Tiyuyacu .....	73
<b>Tabla 10.</b> ROP promedio brocas PDC (Grupo B) en formación Tiyuyacu .....	74
<b>Tabla 11.</b> ROP promedio brocas PDC (Grupo D) en formación Tiyuyacu .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca Oriente .....	3
<b>Figura 2.</b> Mapa de Bloques e Infraestructura Petrolera del Ecuador .....	6
<b>Figura 3.</b> Sección sísmica SS-2 mostrando el anticlinal Sacha Profundo .....	8
<b>Figura 4.</b> Columna estratigráfica del campo Sacha .....	9
<b>Figura 5.</b> Descripción litológica de la formación Tiyuyacu, campo Sacha .....	10
<b>Figura 6.</b> Componentes de la broca tricónica .....	12
<b>Figura 7.</b> Componentes Broca PDC.....	12
<b>Figura 8.</b> Formato Dull Grading Baker Hughes .....	14
<b>Figura 9.</b> Desgaste en estructura de corte .....	15
<b>Figura 10.</b> Características del desgaste broca .....	15
<b>Figura 11.</b> Razón de salida de broca .....	17
<b>Figura 12.</b> Configuraciones varias de BHA en secciones de 17 ½” 12 ¼” y 8 ½” .....	18
<b>Figura 13.</b> Diseño típico BHA para operaciones verticales.....	19
<b>Figura 14.</b> Gráfica de parámetros de perforación de un pozo.....	22
<b>Figura 15.</b> Relación entre la velocidad del cortador y los esfuerzos axiales y tangenciales.....	25
<b>Figura 16.</b> Relación entre MAPCF y MTPCF y el tamaño de grava de conglomerado	26
<b>Figura 17.</b> Descripción del código IADC de las brocas PDC empleadas formación Tiyuyacu, campo Sacha .....	27
<b>Figura 18.</b> Tipos de brocas utilizadas en formación Tiyuyacu .....	63
<b>Figura 19.</b> Cantidad de brocas utilizadas en formación Tiyuyacu.....	64
<b>Figura 20.</b> Cantidad de brocas (PDC + Tricónica) utilizadas en formación Tiyuyacu..	66

<b>Figura 21.</b> Torque promedio Grupo A.....	68
<b>Figura 22.</b> Torque promedio Grupo B .....	69
<b>Figura 23.</b> Torque promedio Grupo D.....	70
<b>Figura 24.</b> Peso sobre la broca (WOB) promedio Grupo A .....	71
<b>Figura 25.</b> Peso sobre la broca (WOB) promedio Grupo B.....	71
<b>Figura 26.</b> WOB promedio Grupo D .....	72

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo determinar las causas del daño prematuro sobre la broca y analizar el resultado del control de parámetros de perforación (ROP, RPM, WOB, GPM) en el campo Sacha, específicamente los conglomerados superior e inferior, pertenecientes a la formación Tiyuyacu, siendo esta formación la principal responsable de un sinnúmero de viajes a superficie para cambio de brocas de perforación, aumentando los tiempos y como consecuencia mayores costos en la ejecución de un programa de perforación. Se recopiló información de pozos perforados en el campo, realizando un análisis de parámetros de perforación, tiempos de perforación y desgaste de la broca. Según los resultados, se puede concluir que el control de parámetros es un procedimiento efectivo para lograr atravesar zonas abrasivas de manera exitosa y así reducir tiempos de perforación.

**Palabras claves:** Brocas de perforación, parámetros de perforación, Sacha, Tiyuyacu.

## **ABSTRACT**

The objective of this research is to determine the causes of premature damage on drilling bits and analyze the results of the control of drilling parameters (ROP, RPM, WOB, GPM) in Sacha's field, specifically the upper and lower conglomerates, belonging to Tiyuyacu formation, this geological formation being the main responsible for countless trips to the surface to change drilling bits, trigger increasing drilling times and, consequently, higher costs in the execution of a drilling program. The information was collected from wells drilled in the field, performing an analysis of drilling parameters, drilling times and drill bit wear. According to the results, it can be concluded that parameter control is an effective procedure to successfully traverse abrasive zones and thus reduce drilling times.

**Keywords:** drilling bits, drilling parameters, Sacha, Tiyuyacu.

# INTRODUCCIÓN

La industria petrolera ha sido, desde el boom petrolero en Ecuador en 1992, uno de los motores fundamentales de la economía de Ecuador. El campo Sacha (Bloque 60), uno de los mayores y más productivos de la región amazónica, ha jugado un papel crucial en el desarrollo económico del país. Este campo ha sido una de las principales fuentes de producción de petróleo en Ecuador y se ha mantenido como un pilar esencial dentro de la matriz energética del país.

A lo largo de los años, la producción en el campo Sacha ha experimentado tanto avances como retos, pero su relevancia no ha disminuido. Este campo, ubicado en la provincia de Orellana, en la región amazónica, ha sido históricamente responsable de entre el 30% y el 35% de la producción nacional de crudo. En la actualidad, el campo Sacha sigue siendo el campo con mayor producción a nivel nacional, representando en promedio el 14.8% de la producción diaria del 2023 (EPPETROECUADOR, 2024).

Los programas de perforación en el campo Sacha tiene como desafío principal, la perforación de la formación Tiyuyacu. Como menciona (Richard Guillermo Vásquez García, 2016), el campo Sacha tiene como característica geológica la presencia de la formación Tiyuyacu, la cual tiene una secuencia estratigráfica con cambios drásticos en su litología dentro de la misma formación geológica, iniciando por un cuerpo de arcillolitas luego se presentan el Conglomerado Superior y Conglomerado Inferior, presentando en medio de ellos una secuencia de arcillolitas.

Los conglomerados son formaciones rocosas que, debido a su naturaleza heterogénea, presenta diversos desafíos durante la perforación. La mezcla de fragmentos de diferentes tamaños y durezas implica que la broca de perforación puede encontrar una variedad de resistencias a medida que avanza, lo que aumenta el riesgo de daños. Los elementos más duros pueden romper y/o desgastar rápidamente los dientes de la broca. Además, las partículas abrasivas de estas formaciones pueden interferir con el proceso de perforación, generando un exceso de fricción y desgaste de los componentes de la broca.

Considerando que el punto crítico dentro de la perforación en el campo Sacha es atravesar de manera efectiva los conglomerados superior e inferior, el presente estudio está enfocado en analizar la importancia del control de parámetros de perforación en la

formación Tiyuyacu, el cual permitirá evaluar los resultados y determinar la eficiencia del control de parámetros.

Los resultados obtenidos muestran que el control de parámetros es un procedimiento efectivo para lograr atravesar zonas abrasivas de manera exitosa y así reducir tiempos de perforación.

### **Planteamiento de la investigación**

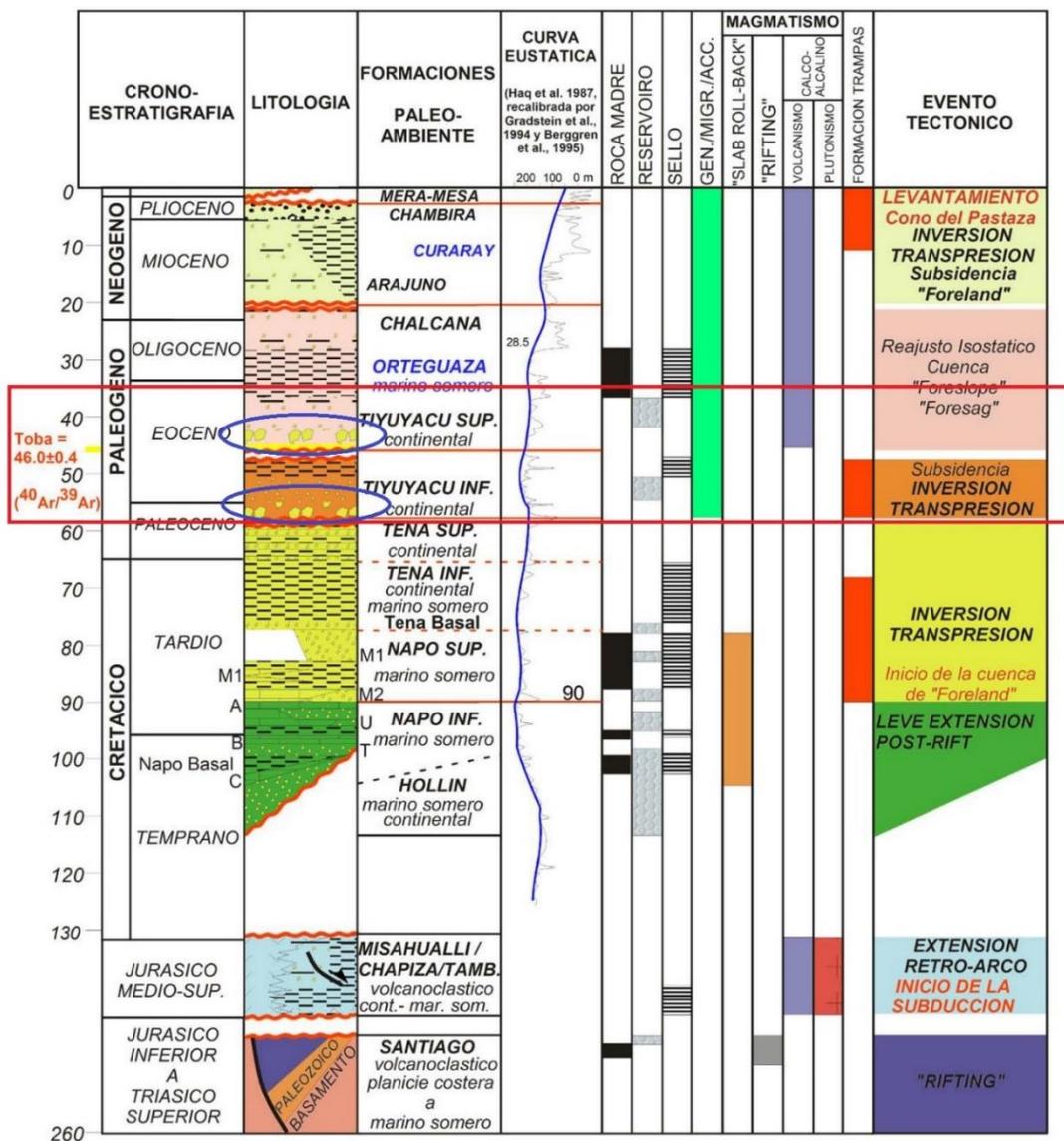
A lo largo de la historia petrolera en el campo Sacha, la perforación de la formación Tiyuyacu, específicamente sus conglomerados superior e inferior, han sido siempre un punto crítico y un desafío al momento del cumplimiento de los programas de perforación, tanto en la velocidad de perforación (curva días de perforación versus profundidad), como también en el cumplimiento del plan direccional, esto debido a la gran abrasividad de los conglomerados, siendo la broca de perforación la herramienta que sufre un mayor daño o desgaste (Wei et al., 2024), lo que repercute en la disminución drástica en la tasa de perforación (ROP), lo que conlleva también a un mayor tiempo de exposición del hoyo abierto aumentando los riesgos de atrapamiento de la sarta de perforación en el fondo; también se ha observado desgaste en las aletas de los estabilizadores del BHA (diseño de perforación de fondo), como consecuencia el no poder cumplir con el programa direccional del pozo, siendo estas circunstancias las responsables de un sinnúmero de viajes a superficie, obligando a realizar cambios de herramientas de perforación, aumentando los tiempos de perforación de un pozo, incidiendo en mayores tiempos totales y costos en la ejecución de un programa de perforación.

El control de parámetros de perforación al atravesar conglomerados, consiste en el seguimiento y monitoreo continuo de varios parámetros de perforación, los cuales influyen en el daño prematuro en los cortadores polycrystalline diamond compact (PDC) y en la estructura de la broca, con el objetivo de optimizar el rendimiento en la perforación. Los principales parámetros de control son: RPM (rotaciones por minuto), ROP (tasa de perforación), WOB (peso sobre la broca), GPM (galones por minuto), entre otros. Cada uno de estos parámetros influye en la interacción entre la broca y la formación

rocosa, y un ajuste inapropiado puede resultar en un mayor desgaste o daño en los cortadores y en el cuerpo de la broca (Xiaao Liu, 2022).

En la columna estratigráfica de la cuenca oriente, específicamente el campo Sacha (bloque 60), la cual se muestra en la Fig. 1, se observa en la formación Tiyuyacu, la presencia de dos cuerpos conglomerados, separados por una capa de arcillas. Esta configuración de la formación está presente en todo el campo Sacha (Baby, 2015).

**Figura 1.**Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca Oriente



**Fuente:** Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004.

Conociendo que la formación Tiyuyacu presenta una intercalación de conglomerados, teniendo entre ellos una capa de arcillas, es fundamental conservar la estructura de corte de la broca al entrar a las arcillas, de lo contrario, se puede provocar una perforación ineficiente en este intervalo. También es clave llegar al conglomerado inferior con una barrena en buenas condiciones, para poder atravesar este intervalo final de la formación con éxito.

### **Formulación del problema de investigación**

¿Es posible perforar con una sola broca PDC los conglomerados superior e inferior de la formación Tiyuyacu sin comprometer tiempos de perforación, mediante el control de parámetros?

### **Objetivo General:**

- Evaluación de la eficiencia del control parámetros en la perforación de los conglomerados de la formación Tiyuyacu

### **Objetivos Específicos:**

- Describir las características geológicas y estructurales de la formación Tiyuyacu, campo Sacha.
- Detallar los tipos de brocas PDC utilizadas en la formación Tiyuyacu, campo Sacha.
- Analizar la relación entre los parámetros de perforación y el daño prematuro en los cortadores de las brocas PDC.
- Explicar la importancia del control de parámetros en la perforación de conglomerados de la formación Tiyuyacu, campo Sacha.

Esta guía de procedimientos para controlar parámetros es una herramienta útil y práctica para lograr atravesar formaciones con presencia de conglomerados de manera exitosa.

### **Planteamiento hipotético**

**Hipótesis Nula:** Se puede perforar con una broca PDC los dos conglomerados de la formación Tiyuyacu del campo Sacha mediante el control de parámetros.

**Hipótesis Alternativa:** No es posible perforar con una broca PDC los dos conglomerados de la formación Tiyuyacu del campo Sacha mediante el control de parámetros.



Geológicamente se encuentra ubicado al Oeste del eje axial de la cuenca sedimentaria cretácica Napo, incluido en el corredor Sacha-Shushufindi. La estructura se encuentra en el lado levantado de la falla de tendencia general Noroeste-Suroeste, conectándose con el Sur con la cuenca Marañón y al Norte con la cuenca Putumayo, la misma que se encuentra ubicada al Este del cinturón Andino (JOSÉ LUIS ROMERO ARIAS, 2010).

La columna estratigráfica de la cuenca oriente, específicamente el campo Sacha (bloque 60), la cual se muestra en la Fig. 2, se observa en la formación Tiyuyacu, la presencia de dos cuerpos conglomerados, separados por una capa de arcillas. Esta configuración de la formación está presente en todo el campo Sacha (Baby, 2015).

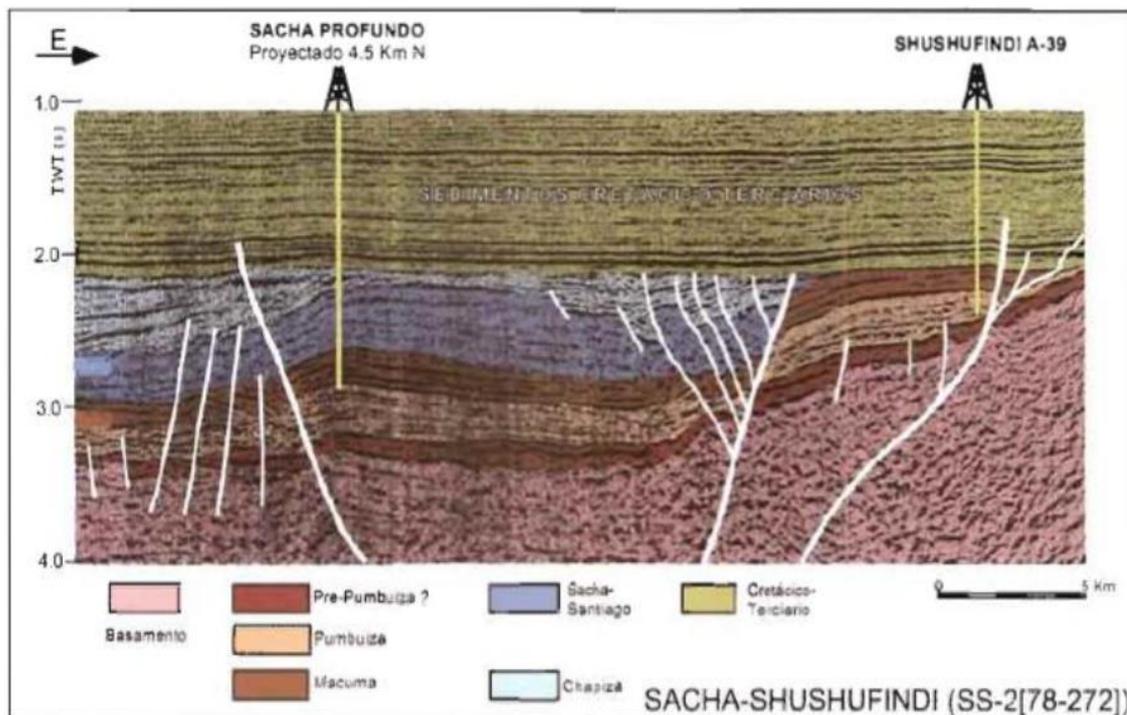
La formación Tiyuyacu se encuentra sobre la formación Tena, aparentemente en concordancia, pero con un significativo cambio de facies (conglomerado basal), y una discordancia importante, evidenciada por una erosión parcial de la formación Tena Superior. La formación Tiyuyacu es una sucesión de capas rojas, comprendiendo conglomerados basales gruesos al que sobreponen areniscas con intercalaciones de lutitas rojas, verdes y grises; cuyo espesor varía de menos de 100 metros a más de 250 metros. (Bristow y Hoffstetter, 1977)(John W. Baldock, 1982).

Formaciones heterogéneas presentan un desempeño desafiante problemas para los bits PDC, específicamente en términos de ROP y durabilidad. Con la tecnología actual de brocas PDC, los recorridos de las brocas son generalmente cortos y lentos, incluso cuando el diseño del BHA y los parámetros de perforación han sido optimizados. (Mensa-Wilmot et al., 2007).

### **1.1.2 Descripción Geología local, campo Sacha**

El Campo Sacha es un anticlinal de dirección NNE – SSO. Se localiza en el flanco occidental del corredor Sacha – Shushufindi. Bajo la estructura Sacha de edad Cretácica se desarrolló el anticlinal “Sacha Profundo”, de una posible edad Jurásico Inferior – Tardío a Medio, que plegó los depósitos Paleozoicos (formaciones Pumbuiza y Macuma) y Triásico – Jurásico de la formación Sacha (Marco Rivadeneira, 1999) como se muestra en la Fig. 3.

**Figura 3.** Sección sísmica SS-2 mostrando el anticlinal Sacha Profundo



**Fuente:** (Richard Guillermo Vásquez García, 2016)

### **Descripción litológica de la formación Tiyuyacu, campo Sacha**

En la Fig. 4 se observa cómo está compuesta la formación Tiyuyacu, presentando inicialmente un cuerpo de arcillas, seguido por el primer conglomerado o conglomerado superior, luego encontramos un intervalo de arcillas y por último tenemos el conglomerado inferior.



En la Fig. 5 se encuentra descrita la columna estratigráfica de la formación Tiyuyacu, la cual está compuesta por arcillolitas, con intercalaciones de limolita y pequeños niveles de arenisca. Además, los dos cuerpos de conglomerado: Superior, compuesto por conglomerado de cuarzo lechoso con finas intercalaciones de arcillolita y arenisca en la base del conglomerado, y el Inferior está compuesto de un cuerpo masivo de chert con intercalaciones de arcillolita (Richard Guillermo Vásconez García, 2016).

**Figura 5.** Descripción litológica de la formación Tiyuyacu, campo Sacha

	<b>445 D</b>	<b>278 D</b>	<b>422 D</b>	<b>387 D</b>
<b>Tiyuyacu</b>	<b>De 6627' MD hasta 6975' MD</b> Esta sección está constituida principalmente de una secuencia de arcillolita con intercalaciones de limolita y arenisca en la parte inferior del intervalo.	<b>De 6896' MD hasta 7065' MD</b> Este intervalo está constituido principalmente de una secuencia de arcillolita con intercalaciones de limolita y arenisca en la parte inferior del intervalo.	<b>De 6789' MD hasta 7020' MD</b> Este intervalo está constituido principalmente de una secuencia de arcillolita con intercalaciones de limolita y arenisca a lo largo del intervalo.	<b>De 6409 MD hasta 6609' MD</b> Este intervalo está constituido principalmente de una secuencia de arcillolita con intercalaciones de limolita y arenisca en la parte inferior del intervalo.
<b>Conglomerado superior</b>	<b>De 6975' MD hasta 7160' MD</b> Esta sección está compuesta por conglomerado de cuarzo con finas intercalaciones de arcillolita y arenisca en la base del conglomerado.	<b>De 7065' MD hasta 7325' MD</b> Esta sección está compuesta de conglomerado de cuarzo con intercalaciones de arenisca y finas capas de arcillolita, se observó también finos niveles de limolita a lo largo de la sección.	<b>De 7020' MD hasta 7222' MD</b> Esta sección está compuesta de conglomerado de cuarzo con intercalaciones de arenisca y finas capas de arcillolita, además se observó intercalaciones de limolita en la parte superior del intervalo.	<b>De 6609' MD hasta 6825' MD</b> Esta sección está compuesta de conglomerado de cuarzo con intercalaciones de arenisca y finas capas de arcillolita, se observó también finos niveles de limolita hacia la parte superior del intervalo.
<b>Base conglomerado superior</b>	<b>De 7012' MD hasta 7763' MD</b> Este intervalo constituye la base del conglomerado superior el cual está compuesto principalmente por arcillolita.	<b>De 7325 MD hasta 8254' MD</b> Este intervalo está compuesto principalmente por arcillolita con intercalaciones de limolita y hacia la parte inferior del intervalo se observó finos niveles de arenisca.	<b>De 7222' MD hasta 8217' MD</b> Este intervalo está compuesto principalmente por arcillolita con intercalaciones de limolita.	<b>De 6825 MD hasta 7596' MD</b> Este intervalo está compuesto principalmente por arcillolita con intercalaciones de limolita y hacia la parte inferior del intervalo se observó finos niveles de arenisca.
<b>Conglomerado inferior</b>	<b>De 7914' MD hasta 8110' MD</b> Esta sección está compuesta de un cuerpo de conglomerado (Chert) con intercalaciones de arcillolita.	<b>De 8254' MD hasta 8320' MD</b> Esta sección está compuesta de arcillolita intercalada con niveles de conglomerado (chert) y hacia la parte superior del intervalo se observan finos niveles de arenisca.	<b>De 8217' MD hasta 8340' MD</b> Esta sección está compuesta por arcillolita intercalada con niveles de conglomerado (chert) y finos niveles de arenisca.	<b>De 7596' MD hasta 7710' MD</b> Esta sección está compuesta de arcillolita intercalada con niveles de conglomerado (chert).
	<b>De 8110' MD hasta 8480' MD</b> Esta sección está compuesta predominantemente de un cuerpo de conglomerado Chert.	<b>De 8320' MD hasta 8770' MD</b> Esta sección está compuesta exclusivamente de conglomerado (chert) con finas intercalaciones de arenisca.	<b>De 8340' MD hasta 8750' MD</b> Esta sección está compuesta exclusivamente de conglomerado (chert).	<b>De 7710' MD hasta 8160' MD</b> Esta sección está compuesta exclusivamente de conglomerado (chert) con finas intercalaciones de arcillolita y arenisca.

	<p><b>De 8480' MD hasta 8574' MD</b> Esta sección está compuesta por arcillolita con intercalaciones de conglomerado Chert y hacia la base presenta un cuerpo de conglomerado cuarzoso y areniscas.</p>	<p><b>De 8770' MD hasta 8873' MD</b> Esta sección está compuesta de un conglomerado cuarzoso hacia la base del intervalo, intercalada con capas de conglomerado (chert) y finos niveles de arenisca. Hacia la parte superior del intervalo presenta arcillolita con intercalaciones de conglomerado chert y arenisca.</p>	<p><b>De 8750' MD hasta 8834' MD</b> Esta sección está compuesta por arcillolita, intercalada con conglomerado (chert) y capas de arenisca, además presenta un cuerpo de conglomerado cuarzoso hacia la base con finas intercalaciones de arenisca.</p>	<p><b>De 8160' MD hasta 8198' MD</b> Esta sección está compuesta de un conglomerado cuarzoso, intercalada con capas de conglomerado (chert) y finos niveles de arenisca. Hacia la parte superior del intervalo presenta un cuerpo de arcillolita con pequeñas intercalaciones de conglomerado chert.</p>
--	---	---	---	--

**Fuente:** (Richard Guillermo Vásconez García, 2016)

El Chert es una formación rocosa de alta resistencia y generalmente se perfora con broca tricónica. Sin embargo, la mejor combinación de parámetros en esta específica aplicación maximiza la durabilidad de la broca sin comprometer el rendimiento de la broca, si se utiliza bajas RPMS y un rango moderado de WOB. La combinación de los parámetros correctos y tecnología dan un resultado exitoso (Nunez et al., 2023).

### 1.1.3 Brocas de perforación

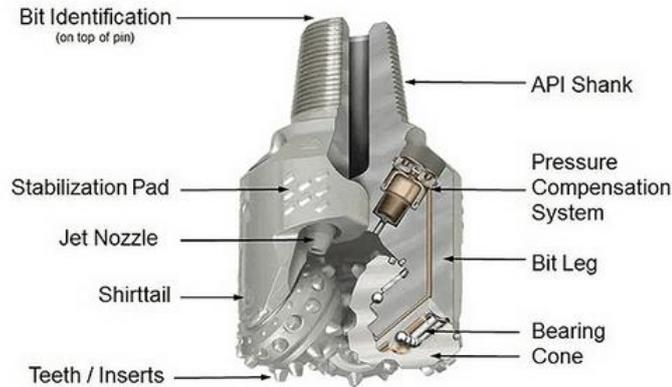
La broca de perforación o barrena, se encuentra ubicada en la parte inferior de la sarta de perforación es una herramienta utilizada para triturar o cortar la roca. La broca de perforación debe cambiarse cuando su avance es deficiente, ya sea por cambios litológicos o por desgaste de la barrena. La mayoría de brocas actúa triturando o raspando la roca, o al mismo tiempo las dos, sin embargo, otras brocas trabajan a manera de martillo, utilizadas en operaciones de construcción. El uso de una correcta broca optimiza la perforación de pozos (SLB, 2024).

#### 1.1.3.1 Brocas Tricónicas

Las brocas tricónicas (Fig. 6) están formadas por tres conos que giran en su propio eje, la perforación se produce debido a la fuerza de compresión y las rotaciones que se ejercen sobre la broca. (Abbas, Hassanpour, Hare, & Ghadiri, 2014)

**Figura 6.** Componentes de la broca tricónica

# Tricone Bit



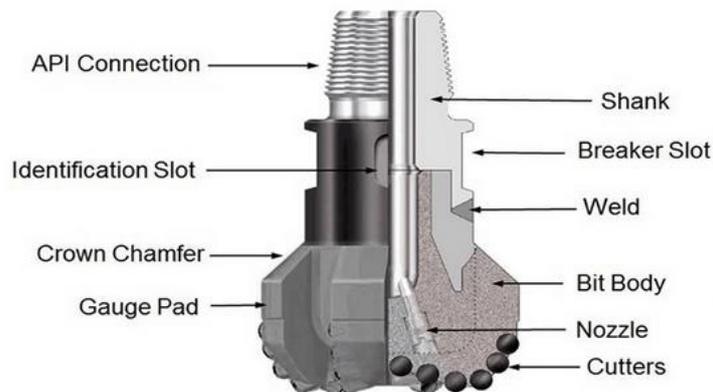
**Fuente:** (ZZbetter, 2024)

## 1.1.3.2 Brocas de cortadores fijos (PDC)

Las brocas de cortadores fijos o conocidas como brocas PDC (Fig. 7) por el tipo de material de sus cortadores (polycrystalline diamond compact). El mecanismo de corte es el fracturamiento por corte, Su eficiencia se desarrolla con bajo peso sobre la broca, altas revoluciones por minuto y alta velocidad de lodo (Manuel Santiago Quishpe Pilco, 2015) (Vanessa Cruz, 2018).

**Figura 7.** Componentes Broca PDC

# PDC Bit



**Fuente:** ZZbetter, 2024

#### 1.1.4 Calificación IADC de brocas

El sistema de calificación IADC, como se muestra en la tabla 1, fue desarrollado tanto para brocas tricónicas como para brocas de cortador fijo (PDC) en 1987 y actualizado por última vez en 1992. (Alam et al., 2022)

**Tabla 1.** Sistema de Calificación de brocas

Estructura de Corte				Cojinete - Sello	Calibre	Observaciones	
1	2	3	4	5	6	7	8
Hileras Internas	Hileras Externas	Característica Principal de Desgaste	Ubicación del desgaste	Cojinete y Sello de conos	Desgaste en el Calibre de la broca	Otra característica de desgaste	Razón de salida

**Fuente:** IADC

**Elaborado:** Autor

El objetivo de la estandarizar la calificación de las brocas es analizar el desgaste presentado en las corridas anteriores y diseñar una nueva corrida respectivamente (Alam et al., 2022). En la Fig. 8 se observa el formato que utiliza la empresa Baker Hughes para la calificación de las brocas.

**Figura 8.** Formato Dull Grading Baker Hughes

ESTRUCTURA CORTADORA				COJINETE	CALIBRE	OBSERVACIONES	
HILERA INTERIOR	HILERA EXTERIOR	CARACT. DESGASTE	UBICACION	COJINETE SELLO	GAUGE CALIBRE	OTRAS CARACTERIST.	RAZON DE SALIDA

**1. Estructura cortadora interior**

En las columnas **1** y **2** se emplea una escala lineal de **0** a **8** para describir la condición de la estructura cortadora de la siguiente manera.

**Brocas de Dientes de acero**

Se mide el desgaste de la altura del diente

- 0** .- Diente no perdió altura
- 8** .- Diente perdió toda su altura

**Brocas de Insertos**

Se mide desgaste de la altura de inserto + rotura

- 0** .- Sin pérdida de estructura cortadora
- 8** .- Pérdida total de estructura cortadora.

**Brocas PDC**

Se mide el desgaste del cortador + rotura

- 0** .- Sin pérdida de estructura cortadora
- 8** .- Pérdida total de estructura cortadora.

**3. Característica del desgaste**

- |                                  |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>BC</b> Cono Roto              | <b>LC</b> Cono perdido            |
| <b>BF</b> Falla en la soldadura  | <b>LN</b> Boquilla perdida        |
| <b>BT</b> Diente/Cortador roto   | <b>LT</b> Diente perdidos         |
| <b>BU</b> Broca Embolada         | <b>OC</b> Desgaste excéntrico     |
| <b>CC</b> Cono fisurado          | <b>PB</b> Broca comprimida        |
| <b>CD</b> Cono arrastrado        | <b>PN</b> Boquilla tapada         |
| <b>CI</b> Interferencia de conos | <b>RG</b> Calibre redondeado      |
| <b>CR</b> Coroneado              | <b>RO</b> Anillamiento            |
| <b>CT</b> Cortadores astillados  | <b>SD</b> Daño en extremo de pata |
| <b>ER</b> Erosión                | <b>SS</b> Autoafilado             |
| <b>FC</b> Crestas achatadas      | <b>WO</b> Wash Out (Lavado)       |
| <b>HC</b> Sobre calentamiento    | <b>WT</b> Desgaste normal         |
| <b>JD</b> Daño por Chatarra      | <b>NO</b> Sin desgaste            |

**4. Ubicación**

**TRICONOS**

- N.** Nartz
- M.** Intermedia
- G.** Calibre
- A.** Todas

**PDC**

- S.** Hombro
- C.** Cono
- G.** Calibre
- A.** Todas
- T.** Taper

**5. Sellos / Cojinetes**

**Cojinetes no sellados**

Escala lineal estimando la vida utilizada ( 0 - 8)

**Cojinetes sellados**

Escala lineal estimando la vida utilizada ( 0 - 8)

- E.** Efectivos
- F.** Fallados
- N.** Imposible graduar
- X.** Brocas PDC

**6. Calibre**

- I.** En calibre
- 1.** 1/16" fuera de calibre (Múltiplos de 16)

**7. Otra característica de desgaste (igual que 3)**

**8. Razón de salida**

- BHA** Cambio de conjunto de fondo
- DMF** Falla de motor de fondo
- DSF** Falla de sarta de perforación
- DST** Prueba de producción
- DTF** Falla de herramienta de fondo
- LOG** Corrida de registros
- RIG** Reparación del equipo
- CM** Condiciones del lodo
- FM** Cambio de formación
- HP** Problemas en el Hoyo
- RIG** Mantenimiento de equipo
- PP** Presion de la bomba
- CP** Punto de Core
- HR** Horas

**Fuente:** Baker Hughes, 2024

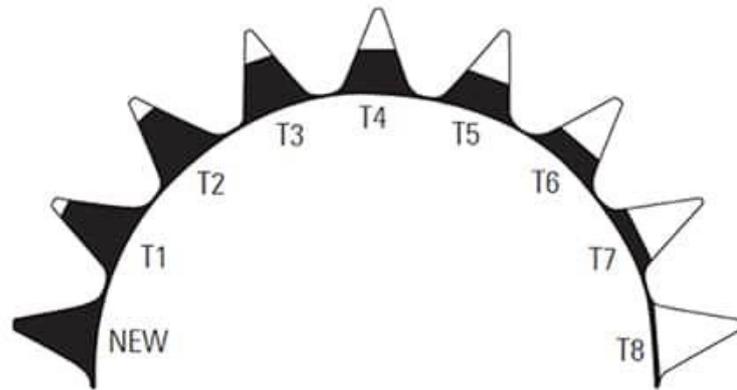
**1.1.4.1 Hilera Interior**

Se definen como cortadores interiores de la broca, aquellos que no están en contacto con las paredes del agujero. Se evalúa el desgaste de los cortadores en un rango de 0 a 8, siendo 0 cuando no existe desgaste y 8 denota un desgaste total de la estructura de corte.

**1.1.4.2 Hilera Exterior**

El tercio exterior de los cortadores corresponde a las hileras exteriores, también llamadas como cortadores del calibre. Al igual que las hileras internas, se califica en una escala de 0 a 8, siendo 0 cuando no hay desgaste en la estructura de corte y 8 un desgaste total. En la Fig. 9 observamos la escala de desgaste en la estructura de corte.

**Figura 9.** Desgaste en estructura de corte



**Fuente:** (KC Bit & Supply, 2024)

### 1.1.4.3 Característica de desgaste

En esta apartado se detalla la característica principal de desgaste, se emplea un código de dos letras, de acuerdo al listado estandarizado por la IADC, en la Fig. 10 se observa las características de desgaste.

**Figura 10.** Características del desgaste broca

BC – Broken Cone	LT – Lost Teeth
BT – Broken Teeth	NO – No Dull Characteristics
BU – Balled Up	NR – Not Rerunnable
CC – Cracked Cone	OC – Off Center Wear
CD – Cone Drag	PB – Pinched Bit
CI – Cone Interference	PN – Plugged Nozzle/Flow Passage
CR – Cored	RG – Rounded Gauge
CT – Chipped Teeth	RR – Rerunnable
ER – Erosion	SD – Shirttail Damage
FC – Flat Crested Wear	SS – Self-Sharpening Wear
HC – Heat Checking	TR – Tracking
JD – Junk Damage	WO – Wash Out
LC – Lost Cone	WT – Worn Teeth
LN – Lost Nozzle	

**Fuente:** (KC Bit & Supply, 2024)

#### **1.1.4.4 Ubicación del desgaste**

En este casillero se define en que ubicación se presenta el desgaste, está definido de la siguiente manera:

**N:** Nariz                      **T:** Taper  
**S:** Hombro                    **M:** Intermedia  
**G:** Calibre                    **A:** Todas  
**C:** Cono

#### **1.1.4.5 Cojinete – Sello**

Los cojinetes se evalúan entre sellados y no selladas, utilizando una escala lineal estimando la vida utilizada entre 0 y 8.

**E:** Sellos Efectivos              **F:** Sellos Fallados              **N:** No es posible evaluar  
**X:** Brocas PDC

#### **1.1.4.6 Calibre**

En este apartado se determina el desgaste en el calibre de la broca. Se utiliza escala de múltiplos de 16.

**I:** En calibre                      **1:** 1/16” fuera de calibre                      **2:** 1/8” fuera de calibre

#### **1.1.4.7 Característica de desgaste adicional**

Se detalla alguna característica de desgaste adicional, utilizando los mismos códigos que en la columna #3, correspondiente al desgaste principal de la broca (Fig. 10).

#### **1.1.4.8 Razón de salida**

En este apartado se especifica los motivo de la salida de la broca, en la Fig. 11 se describen los códigos que se utilizan.

### **Figura 11. Razón de salida de broca**

BHA – Change Bottom Hole Assembly	LIH – Left In Hole
CM – Condition Mud	LOG – Run Logs
CP – Core Point	PP – Pump Pressure
DMF – Downhole Motor Failure	PR – Penetration Rate
DP – Drill Plug	RIG – Rig Repair
DSF – Drill String Failure	TD – Total Depth/Casing Depth
DST – Drill Stem Test	TQ – Torque
DTF – Downhole Tool Failure	TW – Twist Off
FM – Formation Change	WC – Weather Conditions
HP – Hole Problems	WO – Washout – Drill String
HR – Hours on Bit	

**Fuente:** (KC Bit & Supply, 2024)

#### **1.1.5 Ensamblaje de Fondo (BHA)**

El ensamblaje de fondo o BHA (Bottom Hole Assembly), está compuesto con una serie de herramientas que junto a la broca, tienen como objetivos principales:

- Transmitir cargas rotacionales y axiales.
- Controlar y dirigir la trayectoria del pozo.
- Transmitir peso sobre la broca.
- Proporcionar información de los parámetros de perforación.

En la Fig. 12 se observan 3 ejemplos de configuraciones de BHA en 3 distintas secciones de perforación.

**Figura 12.** Configuraciones varias de BHA en secciones de 17 ½” 12 ¼” y 8 ½”



Fuente: (Wan Nor Afiqah et al., 2018)

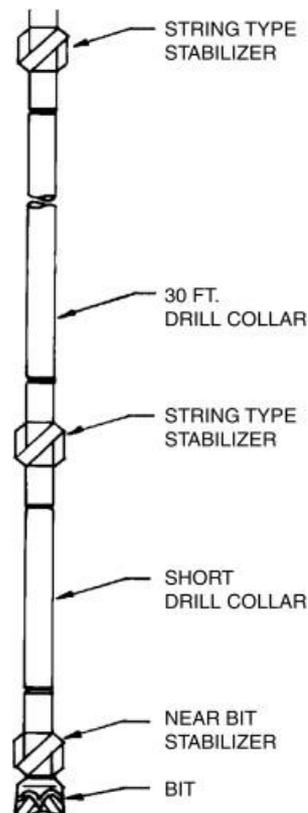
Los BHA tienen distintas configuraciones dependiendo de las necesidades del pozo. Los componentes principales son: Collares de Perforación (Drill Collar), Heavy Weight, Estabilizadores, Herramienta de Medición (MWD/LWD), Herramienta direccional: Motor de fondo o RSS (Rotary Steerable System).

### 1.1.5.1 Drill Collar

Los drill collars son tubos de paredes gruesas, ultra pesados que pesan alrededor de 100 libras por pie. Se ubican al final de la columna de perforación, tienen como objetivo transmitir peso sobre la broca (fuerza axial) necesaria para perforar (William C. Lyons, 2021).

La distribución de los drill collars en el diseño de BHA depende de las necesidades operacionales del pozo. En la Fig. 13 se observa un diseño típico BHA para operaciones verticales

**Figura 13.** Diseño típico BHA para operaciones verticales



**Fuente:** (Courtesy of Smith International and IADC.) (William C. Lyons, 2021)

### **1.1.5.2 Heavy Weight**

Los Heavy Weight son tubos gruesos que se conectan a la sarta de perforación, son más pesados que la tubería de perforación, siendo más livianos que los drill collars, con un peso entre 50 y 60 libras por pie.

### **1.1.5.3 Estabilizadores**

Los estabilizadores de perforación herramienta que forma parte de los componentes del ensamblaje de fondo, es de vital importancia en la perforación, tiene como objetivos: brindar estabilidad mecánica al pozo, mitigar vibraciones, garantizar la calidad del pozo. En la Fig. 13 se observa una configuración típica de estabilizadores con drill collars.

### **1.1.5.4 Herramienta de medición (MWD/LWD)**

La adquisición de mediciones durante la perforación (MWD) es ahora una práctica estándar en los pozos direccionales. Las mediciones se adquieren en el fondo del pozo, se almacenan un cierto tiempo en una memoria de estado sólido y posteriormente se transmiten a la superficie. Los métodos de transmisión de datos varían entre una compañía y otra, pero generalmente consisten en la codificación digital de los datos y su transmisión a la superficie como pulsos de presión en el sistema de lodo. Estas presiones pueden ser ondas senoidales positivas, negativas o continuas. Algunas herramientas MWD poseen la capacidad para almacenar las mediciones para su recuperación posterior con cable o cuando la herramienta se extrae del pozo si el enlace de transmisión de datos falla. Las herramientas MWD que miden los parámetros de una formación (resistividad, porosidad, velocidad sónica, rayos gamma) se conocen como herramientas de adquisición de registros durante la perforación (LWD). Las herramientas LWD utilizan sistemas similares de almacenamiento y transmisión de datos, y algunas poseen más memoria de estado sólido para proporcionar registros de mayor resolución después de extraer la herramienta, que la que es posible con el sistema de transmisión de pulsos a través del lodo con un ancho de banda relativamente bajo. (Schlumberger Limited, 2024)

### **1.1.5.5 Herramienta direccional**

#### **1.1.5.5.1 RSS-Rotary Steerable System (Sistema Rotativo Direccional)**

Herramienta usada para realizar el trabajo direccional en el pozo, a través de comandos que se envían desde superficie, estos comandos se envían a través de cambios de presión de circulación, la herramienta obedece a ordenes en términos de inclinación y azimut, así como a cambios de fuerzas, a su vez cuenta con sistemas de medición continua de dirección y azimut que ayudan a la toma de decisiones en tiempo real.(Edison Vidal, 2022)

#### **1.1.5.5.2 Motor de Fondo**

Un motor de perforación de desplazamiento positivo que utiliza la potencia hidráulica del fluido de perforación para accionar la barrena. Los motores de lodo se utilizan extensivamente en operaciones de perforación direccional (Schlumberger Limited, 2024).

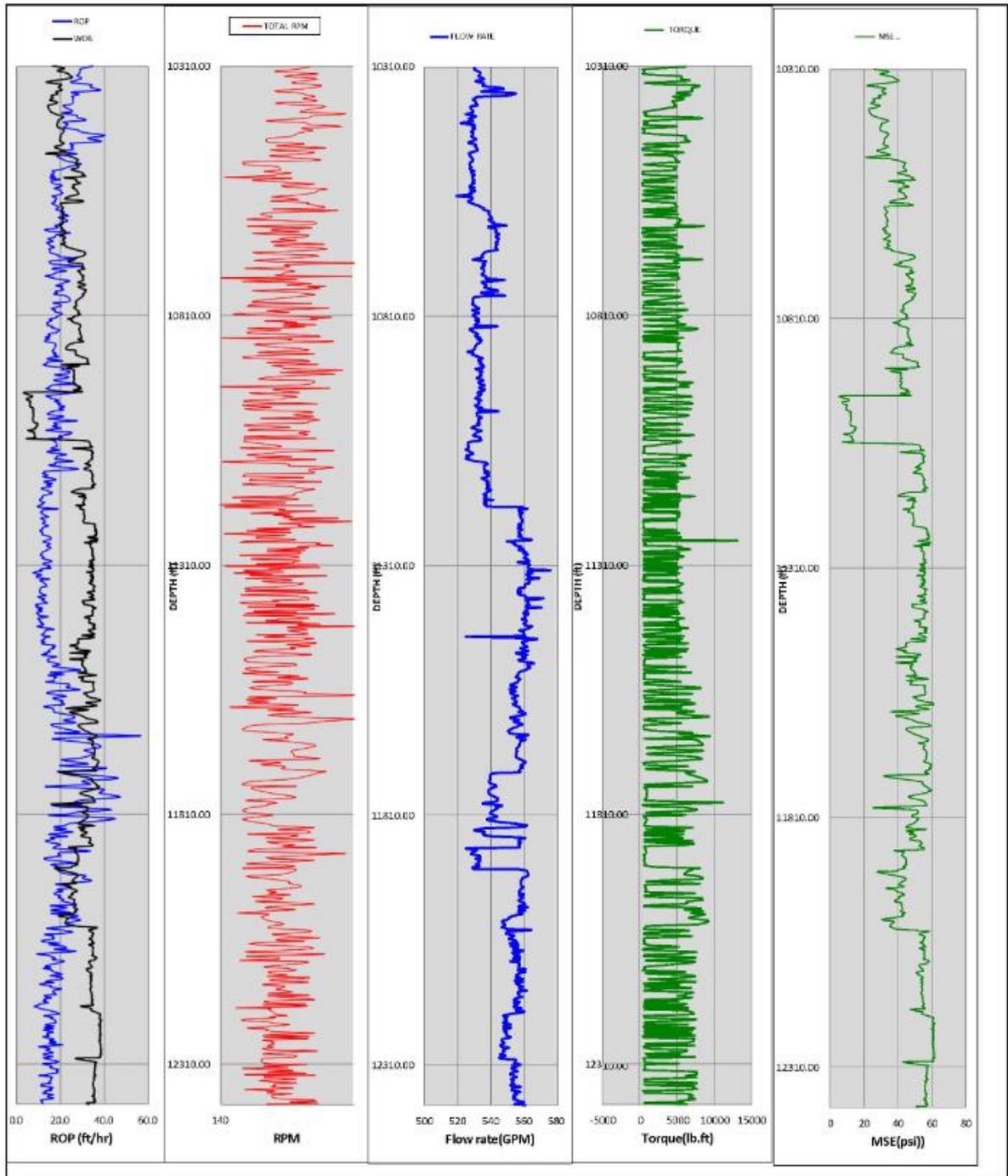
El modo deslizamiento es el método predominante para incrementar, controlar o corregir la trayectoria de un pozo. Sin girar la sarta de perforación, la barrena de hace rotar con un motor de lodo, y perfora en la dirección en la que se dirige. Con los motores direccionales, cuando se logra la dirección deseada del pozo, la sarta de perforación entera se rota y se perfora en forma derecha en vez de formar un ángulo. Mediante el control de la cantidad de pozo perforado en el modo de deslizamiento versus el modo de rotación, la trayectoria del pozo puede ser controlada con precisión.(Schlumberger Limited, 2024)

### **1.1.6 Parámetros de perforación**

Los parámetros de perforación son una serie de medidas físicas que se realizan y monitorean durante la perforación, estos registros se realizan con equipos en superficie y herramientas de fondo de perforación.

En la Fig. 14 se observa una gráfica de registros de parámetros principales de perforación de un pozo: Tasa de perforación (ROP), Peso sobre la broca (WOB), Revoluciones por minuto (RPM), Caudal (GPM), Torque y la Energía mecánica específica (MSE).

**Figura 14.** Gráfica de parámetros de perforación de un pozo



Fuente: (Hinaai, 2024)

#### **1.1.6.1 Revoluciones por minuto (RPM)**

La velocidad de rotación total de la broca es igual a la suma de las RPM de superficie, que son las rotaciones por minuto que le aporta el Top Drive al BHA y las RPM de fondo en caso de que la configuración direccional tenga la presencia de motor de fondo. (Calispa & Villegas, 2013).

Las RPM son uno de los principales factores que determinan el desgaste o ruptura de la estructura de corte y daño sobre el cuerpo de la broca. Si las revoluciones totales son muy altas, se puede generar un desgaste prematuro o ruptura en la estructura de corte de la broca. Por otro lado, perforar con RPM demasiado bajas puede reducir la eficiencia de la perforación. Es clave encontrar un equilibrio entre la velocidad de rotación y la naturaleza del conglomerado para reducir el daño.

#### **1.1.6.2 Peso sobre la broca (WOB)**

El peso sobre la broca es la fuerza que se aplica sobre la broca. Al igual que las RPM, el WOB juega un papel fundamental al momento evitar la fractura o el desgaste excesivo de la broca. Si el WOB es demasiado alto, puede generar una mayor carga en los dientes de la broca, lo que puede provocar un desgaste rápido, daños a la broca o incluso su fallo. Por otro lado, un WOB insuficiente puede disminuir la tasa de penetración. (Wang, 2021)

#### **1.1.6.3 Tasa de perforación**

La velocidad de avance es una variable clave. El ROP se define como la relación entre los pies perforados en una hora. demasiado alto puede generar un contacto agresivo entre la broca y los conglomerados duros, lo que incrementa la posibilidad de daños. Por otra parte, una tasa de perforación demasiado baja tiene como consecuencia un aumento del tiempo de operación y de los costos.

#### **1.1.6.4 Galonaje (GPM)**

El galonaje o caudal es una relación de flujo, las unidades de medida son galones de lodo de perforación bombeados por minuto, es esencial no solo para enfriar la broca, sino

también para evacuar los recortes generados durante el proceso de perforación. Un flujo adecuado de lodo ayuda a reducir la fricción y el calor generado en la zona de corte, lo que disminuye el desgaste de la broca.

“Es la cantidad de volumen de fluido de perforación en un determinado periodo de tiempo, este afecta a la limpieza del hueco y de la broca.” (Yanez Flores, 2013). Se realiza control sobre el caudal cuando se trabaja con motores de fondo ya que estos generan RPM de fondo que se encuentran directamente relacionadas al GPM.

### **1.1.6.5 Torque**

El torque es la fuerza rotacional que se aplica sobre la broca de perforación, su unidad de medida es libra por pie lbs.ft. El torque en la broca es generado por la interacción en la formación que está siendo perforada y la broca (Geralf Pineda, 2012).

El torque al no ser un parámetro que se define manualmente, controle directamente, su monitoreo es constante, una variación drástica prolongada, es posible que se deba a un daño en la estructura de la broca.

## **1.2. Desarrollo teórico y conceptual**

### **1.2.1. Análisis del daño de los cortadores PDC al perforar conglomerados**

El principal motivo de daño en los cortadores de las brocas PDC (diamante policristalino compacto) es la fuerza de impacto (WOB). Sin embargo, hay varios factores que afectan la magnitud de carga. (Chen, Huang, & Wang, 2022).

La velocidad de corte juega un papel fundamental en el prematuro desgaste o daño en los cortadores, esta a su vez, tiene dos variables principales a considerar: La ROP, que afecta directamente a la fuerza máxima de carga tangencial (MTPCF) y las RPM están directamente relacionadas (MAPCF).

En la Fig. 15 Se observa la relación entre la velocidad de corte y dos diferentes tipos de matrices de conglomerados (Anexo 1), donde se observa que hay una relación exponencial (A) y lineal (B), entre la velocidad del cortador y el incremento de los esfuerzos sobre el cortador, tanto axiales como tangenciales.

**Figura 15.** Relación entre la velocidad del cortador y los esfuerzos axiales y tangenciales

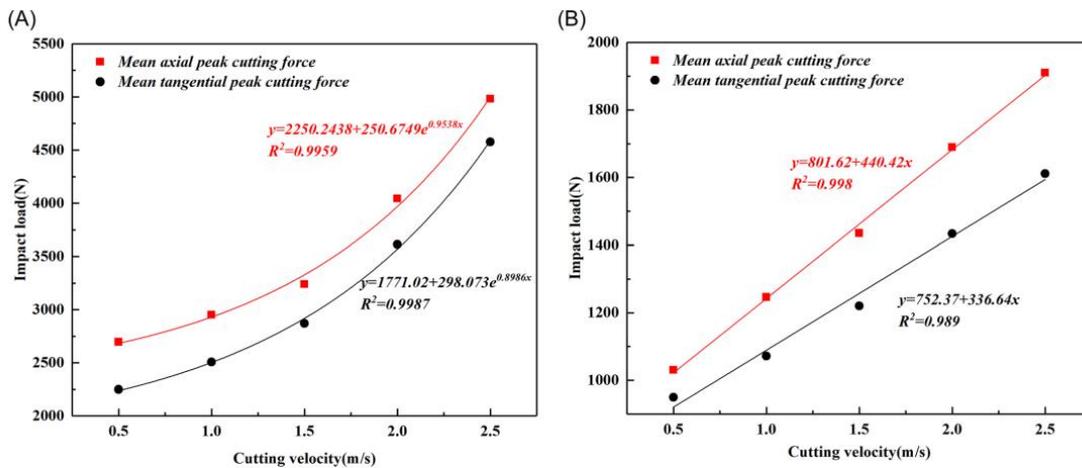


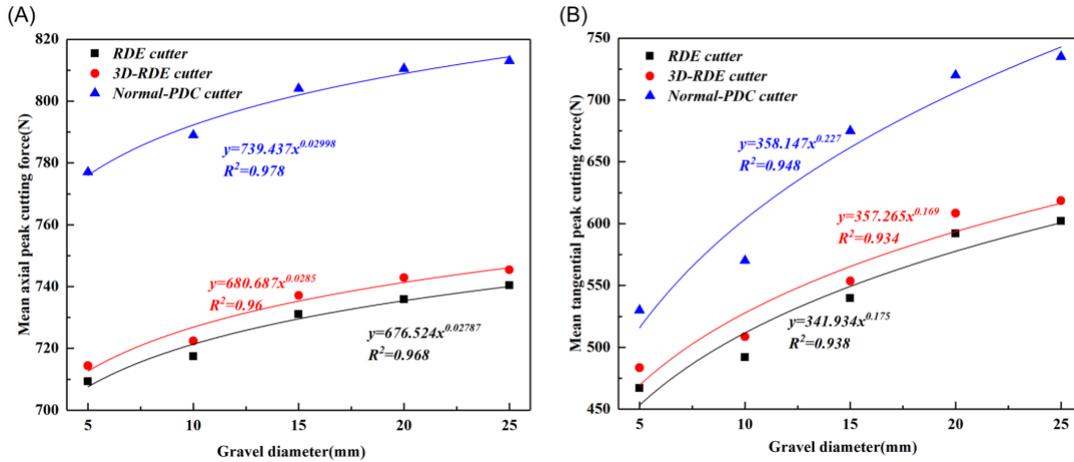
FIGURE 8 The relationship between impact load and cutting velocity (A) cementation strength difference of 10 MPa and (B) cementation strength difference of 100 MPa.

**Fuente:** Chen, Huang, & Wang, 2022.

La tasa de perforación (ROP) definida previamente como un valor promedio en su relación pies perforados por hora, pero al momento de perforar conglomerados se debe ser más precisos, monitorear y controlar la ROP instantánea, ya que, al estar atravesando una formación heterogénea, de tener una ROP instantánea muy alta, se puede generar un impacto muy fuerte entre la broca y el conglomerado, causando desgaste o daño en la estructura de corte.

En la Fig. 16.A se observa la relación entre los esfuerzos axiales (MAPCF) y el tamaño de grano de conglomerado perforado por tres tipos de cortadores PDC, independientemente del diseño del cortador, vemos que es directamente proporcional el esfuerzo al tamaño del grano. En la Fig. 16.B se observa la misma tendencia con los esfuerzos tangenciales (MTPCF), donde aumenta a medida que aumenta el tamaño de grava de conglomerado.

**Figura 16.** Relación entre MAPCF y MTPCF y el tamaño de grava de conglomerado



**Fuente:** Chen, Huang, & Wang, 2022.

### 1.2.2. Características IADC de las brocas PDC utilizadas en la formación Tiyuyacu

En la Fig. 17 se observa una tabla según su clasificación IADC con la descripción de los tipos de brocas PDC que se utilizaron en la formación Tiyuyacu, campo Sacha (César Alejandro Briones Luna, 2015).

Características similares de tipo de cortadores y estilo de cuerpo. El tipo de material del cuerpo mas utilizado es de matriz y presentan variaciones mínimas en la densidad de cortadores.

**Figura 17.** Descripción del código IADC de las brocas PDC empleadas formación Tiyuyacu, campo Sacha

	Clasificación IADC	Material del Cuerpo	Densidad de Cortadores	Tamaño o Tipo de Cortador	Estilo de Cuerpo	Cant. de Brocas	
						Sección 12 ¼"	Tiyuyacu
<b>PDC</b>	M323	MATRIZ	Suave a Medio	PDC, 19 mm	Flanco o dimensión: Perfil medio	21	18
	M223	MATRIZ	Suave	PDC, 19 mm	Flanco o dimensión: Perfil medio	15	12
	M423	MATRIZ	Medio	PDC, 19 mm	Flanco o dimensión: Perfil medio	6	5
	M123	MATRIZ	Muy Suave	PDC, 19 mm	Flanco o dimensión: Perfil medio	6	1
	S323	ACERO	Suave a Medio	PDC, 19 mm	Flanco o dimensión: Perfil medio	1	1
	S123	ACERO	Muy Suave	PDC, 19 mm	Flanco o dimensión: Perfil medio	1	0

**Fuente:** (César Alejandro Briones Luna, 2015)

### 1.2.3. Evaluación de desgaste de brocas PDC empleadas en formación Tiyuyacu

En la tabla 2 se observa la calificación IADC o evaluación de desgaste de las brocas PDC utilizados en la formación Tiyuyacu. La información pertenece a 28 pozos perforados en el campo Sacha.

**Tabla 2.** Evaluación de desgaste IADC brocas PDC en formación Tiyuyacu

	Hilera Interior	Hilera Exterior	Caract. Desgaste	Ubicación	Cojinete Sello	Gauge Calibre	Otra Característ.	Razón Salida
208D	0	1	WT	S/G	X	4	CT/DL	TD
281D	1	1	WT	A	X	I	CT	TD
302D	1	1	WT	N/T/S	X	I	CT	TD
303D	1	1	BT	G/S	X	I	WT	FM
314D	0	3	CT/DL	G/S	X	1	ER	TD
362D	0	2	WT	G/S	X	I	NO	TD
366D	0	1	WT	S/G	X	I	BT	TD
380V	1	2	BT	S	X	I	WT	TD
382D	1	1	WT	S	X	I	BT	TD
384D	1	1	WT	S	X	I	CT	TD
261D	1	2	WT	A	X	I	BT	HR
263D	4	3	BT	A	X	2	LT	PR
340D	2	2	BT	S	X	I	HC	PR
355D	1	1	CT	G	X	I	PN	DMF
267D	1	2	WT	A	X	I	CT	BHA
317H	0	2	CT	G	X	I	NO	BHA
341D	1	2	DL/CT	N/G	X	1	WT	FM
352D	2	1	CT	S	X	I	BT	BHA
363D	0	2	CT	G	X	1	WT	BHA
365D	1	1	WT	A	X	I	BT	BHA
373H	1	2	CT	G	X	1	WT	BHA
383H	0	1	CT	G	X	I	JD	BHA
265D	2	2	WT	A	X	1	CT	BHA
265D	1	2	WT	A	X	I	CT	BHA
280D	2	3	WT	A	X	1	BT	PR
280D	0	1	WT	S	X	I	BT	BHA
282D	0	1	WT	A	X	I	NO	BHA
282D	0	1	WT	A	X	I	NO	BHA
283D	1	2	WT	A	X	1	BT	PR
283D	1	0	NO	A	X	I	BT	BHA
360V	8	8	RO	A	X	I	WT	PR
239D	1	2	CT/DL	N/S/G	X	1	NO	BHA

**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

#### 1.2.4. Parámetros de perforación de brocas PDC empleadas en formación Tiyuyacu

Durante la perforación se miden múltiples parámetros de perforación, de los cuales se hará énfasis en el análisis de los parámetros que se relacionan con el desgaste o daño en la broca. En la tabla 3 se observa una recopilación de los parámetros promedios de perforación junto a sus respectivos pozos.

**Tabla 3.** Parámetros de perforación de brocas PDC utilizadas en formación Tiyuyacu

	Torque Klbs-pie	GPM		WOB		RPM		ROP
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Promedio
208D	22.5	600	850	0	40.5	112	221	56.95
239D	15	700	800	5	30	152	198	64.27
261D	20	730	860	4	24	230	230	39.34
263D	16	780	850	12	40	241	241	36.93
265D	16	750	750	20	40	235	235	40.17
265D	16	750	750	20	40	235	235	27.6
267D	20	740	900	2	40	232	263	59.95
280D	22	770	850	4	35	243	267	57.51
280D	15	770	850	4	25	243	267	43.19
281D	22	760	830	8	22	248	263	57.28
282D	22	750	780	8	30	218	245	95.2
282D	18	700	780	10	25	218	245	35.14
283D	22	730	850	8	36	240	257	23.18
283D	16	785	850	10	25	240	257	23.18
302D	19	700	880	6	35	159	310	27.5
303D	7	700	950	15	39	164	247	85.8
314D	30	650	950	2	30	112	185	36.02
317H	18	700	850	4	20	152	216	50.46
340D	24	820	820	5	35	209	209	28.09
341D	25	600	900	8	28	189	189	61.3
352D	14	850	850	12	25	186	186	58.99
355D	22	807	807	2	35	262	262	39.75
360V	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
362D	14	600	800	10	26	136	220	49.77
363D	18	600	880	10	28	136	220	48.24
365D	22	750	890	2	30	188	232	60.31
366D	22	880	880	0	28	231	231	50.53
373H	12	839	839	4	40	208	208	43.57

<b>380V</b>	11	550	880	5	35	125	220	58.25
<b>382D</b>	9	550	880	10	40	134	235	38.51
<b>383H</b>	13	500	880	5	35	125	220	57.36
<b>384D</b>	9	550	880	4	30	134	220	35.33

**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

## **CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Contexto de la investigación**

El estudio se realizó en el campo Sacha, donde el control de parámetros durante la perforación de la formación Tiyuyacu fue el objeto de análisis.

Se utilizaron datos de perforación de pozos direccionales de los archivos de la Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos (ARCH).

### **2.2. Diseño y alcance de la investigación**

La investigación es del tipo no experimental y correlacional. Se aplicaron técnicas documentales como metodología principal de investigación, se han recopilado artículos científicos donde se analizan las distintas variables que generan un daño prematuro en la estructura de corte de la broca cuando se perfora conglomerados, análisis geológico de las características de la formación Tiyuyacu, características IADC de las brocas empleadas, evaluación de los parámetros de perforación, con lo cual se realiza una reinterpretación de los datos con el objetivo principal de determinar cuál procedimiento técnico es el idóneo para optimizar los tiempos de perforación.

### **2.3. Tipo y métodos de investigación**

La investigación es del tipo Cuantitativo, se analizó data histórica y sus resultados, donde se obtiene resultados del tipo numérico.

En cuanto al método de investigación, se aplicará el método histórico analítico, donde se explicará la relación entre los parámetros de perforación y el desgaste prematuro de la broca, también se relacionará la influencia del control de parámetros de perforación con el desempeño de la broca en la perforación de la formación Tiyuyacu.

### **2.4. Población y muestra**

Población: Formación Tiyuyacu, campo Sacha.

Muestra: 28 pozos direccionales perforados en el campo donde se corroboró la presencia de la formación Tiyuyacu, la información de los pozos incluye datos de los parámetros de perforación, número de brocas utilizadas, tipos y características IADC de las brocas, calificación de las brocas luego de sus corridas, estos 28 pozos corresponden al área de estudio.

## **2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Técnica Cuantitativa: investigación para recolección de datos

## **2.6. Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información.**

La técnica y la implementación es cuantitativa, el levantamiento de información fue obtenido de datos históricos de perforación del campo Sacha (bloque 60), se seleccionó los pozos que poseen información detallada de los parámetros de perforación, calificación IADC de la broca, se realice una discretización de los pozos de acuerdo al tipo de broca utilizada, se procede a realizar un análisis comparativo entre estos datos de los pozos donde se perforó con brocas PDC con pozos donde se decidió cambiar de configuración de fondo debido a una baja eficiencia de perforación. También se segmentará entre pozos con 1 solo broca para la perforación de toda la formación.

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Clasificación según tipo de brocas utilizadas en formación Tiyuyacu.

Teniendo la información detallada del tipo de brocas y la cantidad utilizadas para perforar la formación Tiyuyacu, en la Tabla 4 se obtiene 2 grupos generales, pozos donde se utilizaron solamente brocas PDC y pozos donde se emplearon tanto brocas PDC como brocas tricónicas.

**Tabla 4.** Tipos y cantidades de brocas utilizadas en formación Tiyuyacu

	PDC	Tricónica	Total
208D	1		1
281D	1		1
302D	1		1
303D	1		1
314D	1		1
362D	1		1
366D	1		1
380V	1		1
382D	1		1
384D	1		1
267D	1	1	2
317H	1	1	2
341D	1	1	2
352D	1	1	2
363D	1	1	2
365D	1	1	2
373H	1	1	2
383H	1	1	2
261D	2		2
263D	2		2
340D	2		2
355D	2		2
265D	2	1	3

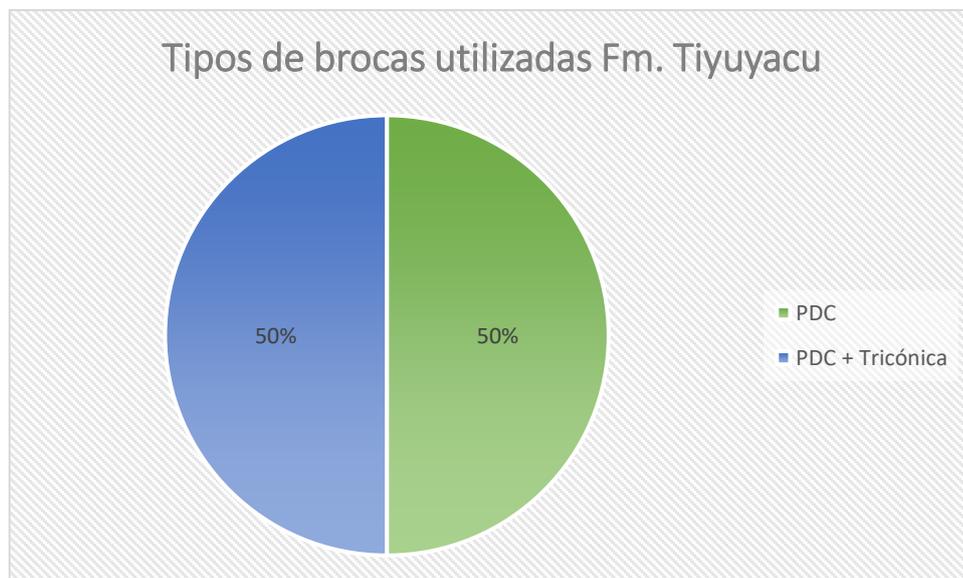
280D	2	1	3
282D	2	1	3
283D	2	1	3
360V	2	1	3
239D	1	2	3

**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

En la Fig. 18 se observa que en 14 pozos (50%) se utilizó una configuración solo con brocas PDC, en la misma proporción (50%) se observa 14 pozos con configuración de BHA tanto con broca tricónica como PDC.

**Figura 18.** Tipos de brocas utilizadas en formación Tiyuyacu

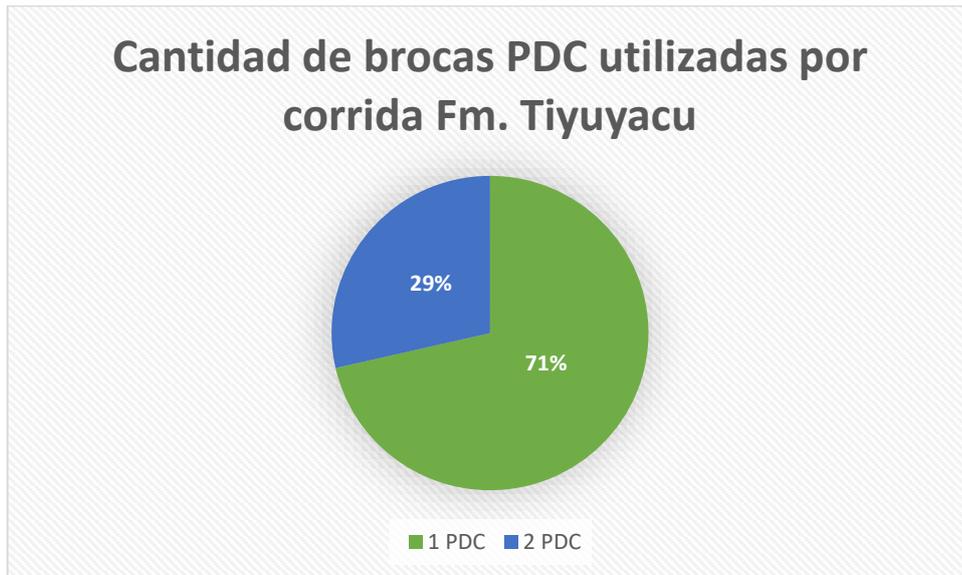


**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

Para efectos de este estudio se analizará inicialmente la información de los 14 pozos donde se perforó solamente con brocas PDC. En la Fig. 19 se observa un total de 10 pozos donde se necesitó 1 sola broca para perforar toda la formación Tiyuyacu y 4 pozos donde se utilizaron 2 brocas para perforar la formación.

**Figura 19.** Cantidad de brocas utilizadas en formación Tiyuyacu



**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

Se categoriza en dos Grupos, siendo el Grupo A, los pozos (10) con 1 sola broca utilizada para perforar la formación Tiyuyacu y el Grupo B, los pozos (4) que necesitaron 2 brocas PDC para perforar la formación.

La tabla 5 nos muestra las evaluaciones de desgaste de las brocas de los 10 pozos, el cuál denominaremos Grupo A (En el anexo 1 se encuentra la tabla general de la evaluación de desgaste), los cuales solo necesitaron una broca PDC para perforar la formación Tiyuyacu. 9 de las 10 razones de salida son porque se alcanzó la profundidad total (TD) de la sección.

**Tabla 5.** Evaluación de desgaste de brocas Grupo A en formación Tiyuyacu

	Hilera Interior	Hilera Exterior	Caract. Desgaste	Ubicación	Cojinete Sello	Gauge Calibre	Otra Caract.	Razón Salida
208D	0	1	WT	S/G	X	4	CT/DL	TD
281D	1	1	WT	A	X	I	CT	TD
302D	1	1	WT	N/T/S	X	I	CT	TD
303D	1	1	BT	G/S	X	I	WT	FM
314D	0	3	CT/DL	G/S	X	1	ER	TD
362D	0	2	WT	G/S	X	I	NO	TD
366D	0	1	WT	S/G	X	I	BT	TD
380V	1	2	BT	S	X	I	WT	TD
382D	1	1	WT	S	X	I	BT	TD
384D	1	1	WT	S	X	I	CT	TD

**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

En la tabla 6 se observa la evaluación de desgaste de las primeras corridas de brocas del Grupo B (4 pozos) donde se necesitó realizar viaje a superficie, se puede identificar 3 pozos donde ya sea por baja ROP o por horas de exposición del pozo se realizó viaje para cambio de broca, a su vez, observamos que el pozo 355D presentó otro tipo de problemas no relacionados a la broca por lo que se lo descartará del análisis.

**Tabla 6.** Evaluación de desgaste de brocas Grupo B en formación Tiyuyacu

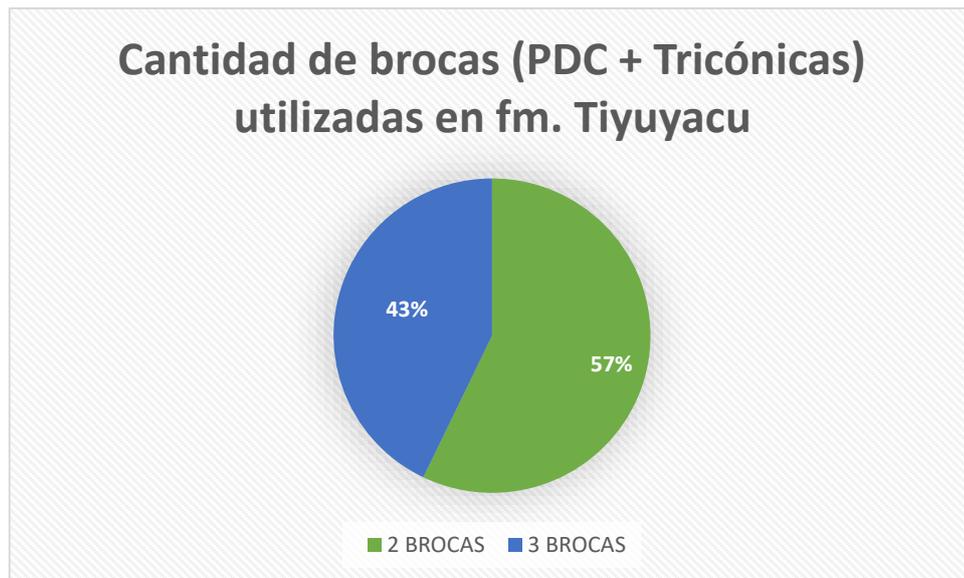
	Hilera Interior	Hilera Exterior	Caract. Desgaste	Ubicación	Cojinete Sello	Gauge Calibre	Otra Característica	Razón Salida
261D	1	2	WT	A	X	I	BT	HR
263D	4	3	BT	A	X	2	LT	PR
340D	2	2	BT	S	X	I	HC	PR
355D	1	1	CT	G	X	I	PN	DMF

**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

Tomando la información de los 14 pozos restantes, donde se perforó con brocas PDC y tricónicas, en la Fig. 19 observamos un total de 8 pozos donde se necesitó 2 brocas, mientras que en los 6 restantes se utilizaron 3 brocas para perforar la formación Tiyuyacu.

**Figura 20.** Cantidad de brocas (PDC + Tricónica) utilizadas en formación Tiyuyacu



**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

Se clasifica los dos grupos de brocas, donde los 8 pozos donde se utilizaron 2 brocas se les asignará Grupo C, mientras que los 6 pozos donde se necesitaron 3 brocas para perforar la formación Tiyuyacu se les asignó el Grupo D.

En la Tabla 7 se observa que los 8 pozos (Grupo C) donde se utilizaron 2 brocas, primero se empleó la broca PDC, se analizó la evaluación de desgaste de las brocas donde se observó que en todas las corridas la razón de salida fue por cambio de BHA o por cambio de formación, es decir, decisiones no asociadas a desgaste o daño de la broca.

**Tabla 7.** Evaluación de desgaste de brocas PDC (Grupo C) en formación Tiyuyacu

	Hilera Interior	Hilera Exterior	Caract. Desgaste	Ubicación	Cojinete Sello	Gauge Calibre	Otra Característi	Razón Salida
267D	1	2	WT	A	X	I	CT	BHA
317H	0	2	CT	G	X	I	NO	BHA
341D	1	2	DL/CT	N/G	X	1	WT	FM
352D	2	1	CT	S	X	I	BT	BHA
363D	0	2	CT	G	X	1	WT	BHA
365D	1	1	WT	A	X	I	BT	BHA
373H	1	2	CT	G	X	1	WT	BHA
383H	0	1	CT	G	X	I	JD	BHA

**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

El Grupo C no será sujeto a análisis, debido a que por decisiones operacionales se prefirió realizar cambio de BHA, evitando controlar parámetros y reemplazar la broca PDC por una broca tricónica.

La Tabla 8 presenta las evaluaciones de desgaste de las brocas PDC del Grupo D utilizadas para perforar la formación Tiyuyacu. Podemos observar que en 3 de los 6 pozos se realizó viaje a superficie, la razón de salida fue cambio en el BHA, mientras que en los otros 3 pozos si se realizó cambio de broca debido a baja ROP.

**Tabla 8.** Evaluación de desgaste de brocas PDC (Grupo D) en formación Tiyuyacu

	Hilera Interior	Hilera Exterior	Caract. Desgaste	Ubicación	Cojinete Sello	Gauge Calibre	Otra Caract.	Razón Salida
265D	2	2	WT	A	X	1	CT	BHA
265D	1	2	WT	A	X	I	CT	BHA
280D	2	3	WT	A	X	1	BT	PR
280D	0	1	WT	S	X	I	BT	BHA
282D	0	1	WT	A	X	I	NO	BHA
282D	0	1	WT	A	X	I	NO	BHA
283D	1	2	WT	A	X	1	BT	PR
283D	1	0	NO	A	X	I	BT	BHA
360V	8	8	RO	A	X	I	WT	PR
239D	1	2	CT/DL	N/S/G	X	1	NO	BHA

**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

Una vez clasificados los 3 grupos de brocas que se analizarán: Grupo A (1 broca PDC utilizada en el intervalo), Grupo B (2 brocas PDC para perforar el intervalo) y Grupo D (3 brocas utilizadas en el intervalo), se utilizará la data histórica de los parámetros de perforación de dichos pozos.

### 3.2. Análisis de parámetros de perforación en la formación Tiyuyacu

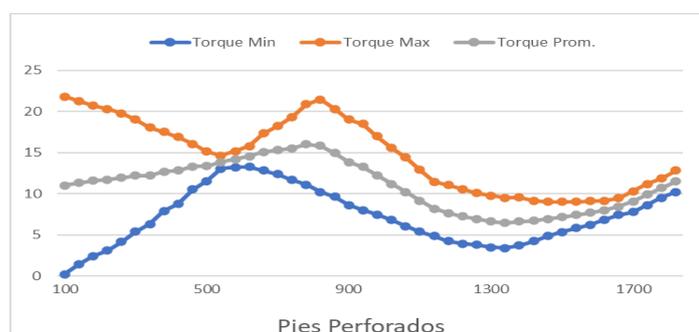
Los parámetros de perforación que fueron sujeto de análisis son los siguientes (ver tabla 3): Torque, aunque se mencionó anteriormente que no es un parámetro independiente, es un excelente indicador de las condiciones de la broca. El peso sobre la broca (WOB) junto a la tasa de perforación (ROP) los parámetros de control que más influyen en un prematuro desgaste de la broca.

Las revoluciones por minuto (RPM) y el caudal (GPM), aunque son parámetros que se controlan, no serán sujetos de análisis debido a que se considerarán constantes durante el intervalo perforado.

#### 3.2.1 Torque

En la Fig. 21 se observa el torque promedio (Klb.ft) mientras se perforó la formación Tiyuyacu, se presentan los datos del Grupo A, del Grupo B en la Figura 21 y por último la Figura 22 la información de las brocas PDC del grupo D.

**Figura 21.** Torque promedio Grupo A

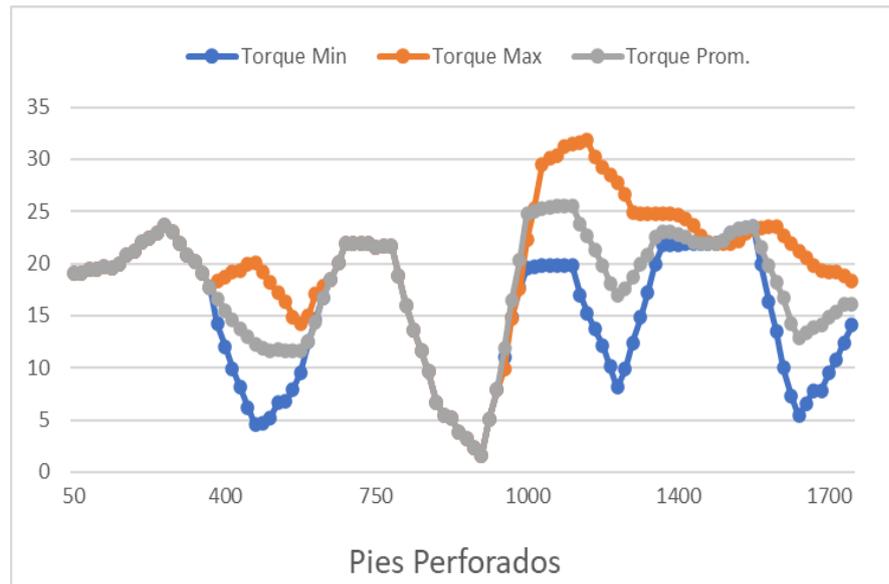


**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

A pesar de que los valores mínimos y máximos de Torque en los 3 gráficos son muy similares, vemos en la Fig. 21 una variación mucho más “suave” lo que indica un excelente control de parámetros, específicamente la ROP y el WOB que son los factores que afectan directamente a la variación del torque.

**Figura 22.** Torque promedio Grupo B

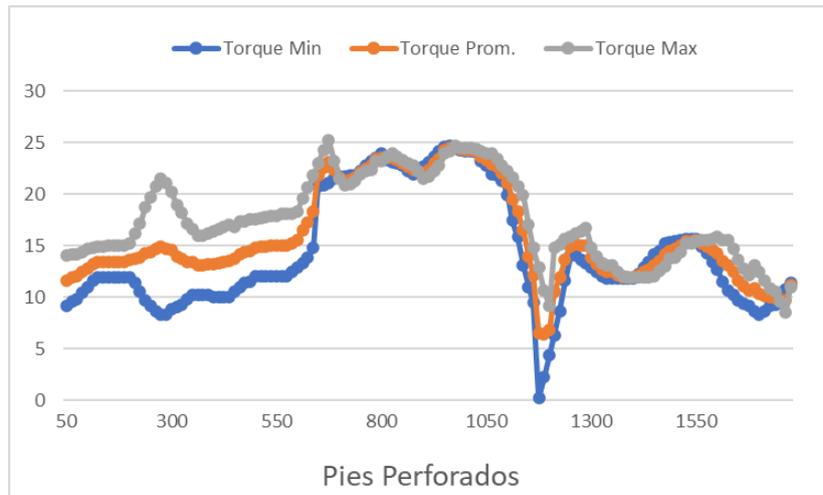


**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

La Fig. 22 corresponde al torque promedio (Klb.ft) del Grupo B, donde se observan variaciones más drásticas de los valores del torque, siendo la ROP y la WOB los datos a analizar para determinar cuál fue el factor determinante de este problema, sabiendo que estas brocas fueron reemplazadas debido a bajo rendimiento.

**Figura 23.** Torque promedio Grupo D



**Fuente:** Archivos ARCH

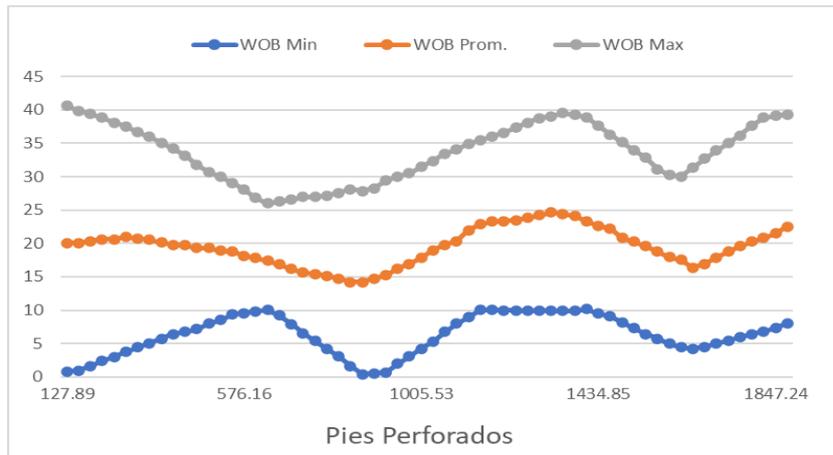
**Elaborado:** Autor

Al igual que en la gráfica correspondiente al torque (Klb.ft) de las brocas del Grupo D (Fig. 23), muestra variaciones drásticas en los valores del torque, se analizará los parámetros de peso sobre la broca (WOB) y tasa de perforación (ROP) para determinar si existe una relación entre estos parámetros y el torque.

### **3.2.2 Análisis peso sobre la broca en formación Tiyuyacu**

El peso sobre la broca (Klb) promedio del Grupo A de brocas se muestra en la Fig. 24 se observa, al igual que en la gráfica de torque, ligeras variaciones en su comportamiento, lo que corrobora el buen control de parámetros realizado en estas corridas.

**Figura 24.** Peso sobre la broca (WOB) promedio Grupo A

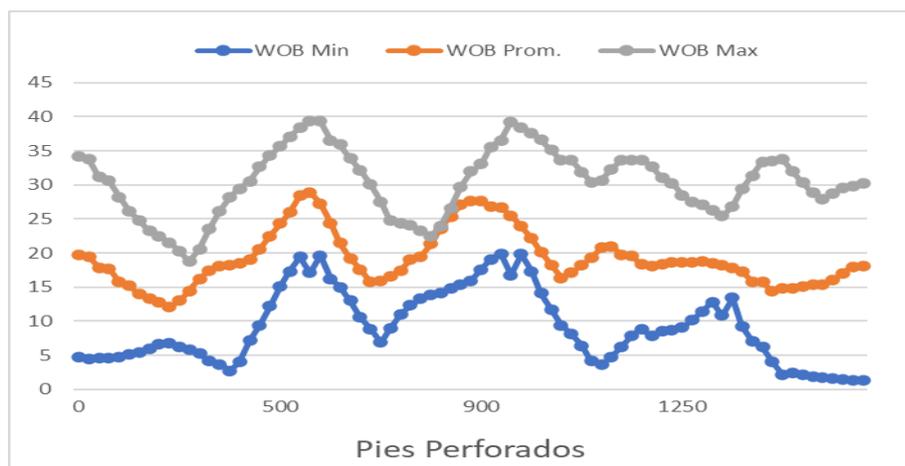


**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

La Fig. 25 muestra el peso sobre la broca promedio (Klb) obtenido de las corridas de brocas PDC del Grupo B, donde al igual que ocurrió con el torque en este grupo, observamos una variación significativa en sus valores, siendo entonces, el WOB responsable de los problemas presentados en este Grupo.

**Figura 25.** Peso sobre la broca (WOB) promedio Grupo B

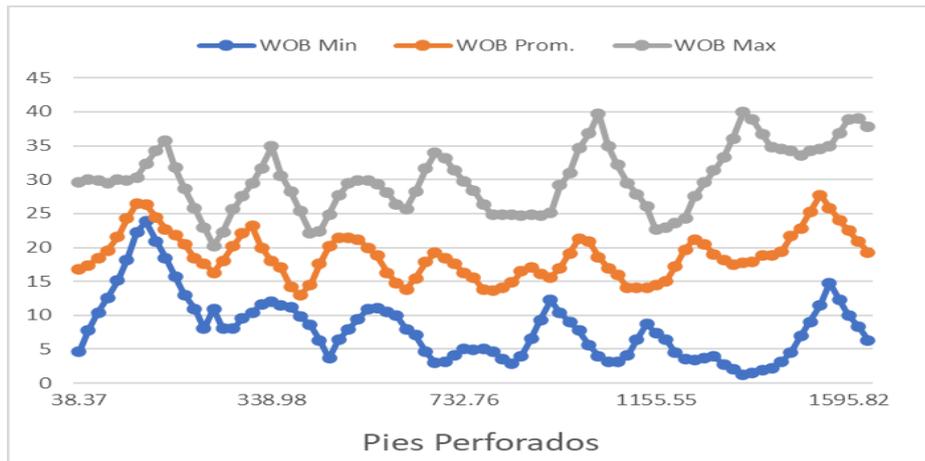


**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

Los valores promedios de peso sobre la broca correspondientes al Grupo D, se observan en la Fig. 26 donde podemos destacar cambios drásticos de WOB (Klb), que convergen con los valores de torque del mismo Grupo, confirmando al deficiente control de este parámetro como causa del deficiente rendimiento de las brocas.

**Figura 26. WOB promedio Grupo D**



**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

### 3.2.3 Análisis de ROP en formación Tiyuyacu

Se realizó el análisis de los valores de tasa de perforación promedio para las corridas de brocas PDC utilizadas en la formación Tiyuyacu, conociendo que las características litológicas de la formación, se decidió segmentar las ROP en 4 intervalos, el primero compuesto mayoritariamente de arcillolitas y limolita, se encuentra en el tope de la formación, luego tenemos el intervalo del conglomerado superior, compuesto principalmente por conglomerado de cuarzo, el tercer intervalo corresponde a un cuerpo de arcillolitas y limolita, por último, el conglomerado inferior, compuesto mayoritariamente de conglomerado chert.

Considerando los grupos de brocas previamente definidos, e la Tabla 9 se observa la ROP promedio de las corridas de las brocas del Grupo A, donde solo se necesitó 1 broca PDC

para perforar la formación Tiyuyacu, se detalla la ROP en los 4 intervalos que conforman la formación.

**Tabla 9.** ROP (ft/hr) promedio brocas PDC (Grupo A) en formación Tiyuyacu

	ROP				
	Tiyuyacu	Cong. Sup	Int. Arcillas	Cong. Inf	ROP promedio
<b>208D</b>	92.39	46.68	52.06	36.66	<b>56.95</b>
<b>281D</b>	57.28	--	--	--	<b>57.28</b>
<b>302D</b>	--	27.5	--	27.5	<b>27.5</b>
<b>303D</b>	85.8	--	--	--	<b>85.8</b>
<b>314D</b>	--	36.02	--	36.02	<b>36.02</b>
<b>362D</b>	76.92	35.74	42.45	34.12	<b>47.31</b>
<b>366D</b>	65.67	30.87	--	30.87	<b>42.47</b>
<b>380V</b>	63	65	75	30	<b>58.25</b>
<b>382D</b>	--	38.51	--	38.51	<b>38.51</b>
<b>384D</b>	40	33	--	33	<b>35.33</b>
	<b>68.72</b>	<b>39.17</b>	<b>56.50</b>	<b>33.34</b>	<b>48.54</b>

**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

El primer intervalo, corresponde al cuerpo de arcillolitas previo al conglomerado superior, luego se comienza el control de parámetros previo al ingresar y con el objetivo de atravesar el conglomerado superior, motivo por el cual se observa una disminución intencional de la ROP (evitar variaciones fuertes en el peso sobre la broca) con valores entre 30-40 ft/hr, sabiendo que el conglomerado al tener una litología heterogénea, puede presentar variaciones drásticas en la tasa de perforación si no se controla la misma, lo que puede causar una fuerza de impacto alta entre la broca y la formación, causa principal de daño sobre la broca. En el tercer intervalo se atraviesa el cuerpo de arcillolitas donde no hay riesgo de daño por lo que no se controla parámetros, sino se optimizan para mejorar la ROP en este tramo. Por último, tenemos el conglomerado inferior, se controla parámetros con el mismo criterio técnico empleado en el conglomerado superior, donde

tanto el peso sobre la broca (WOB) como la tasa de perforación (ROP), se evitan variaciones fuertes en estos parámetros.

**Tabla 10.** ROP (ft/hr) promedio brocas PDC (Grupo B) en formación Tiyuyacu

	ROP				
	Tiyuyacu	Cong. Sup	Int. Arcillas	Cong. Inf	ROP promedio
<b>261D</b>	43.13	43.13	--	31.75	<b>39.34</b>
<b>263D</b>	35.84	35.84	37	39.03	<b>36.93</b>
<b>340D</b>	29.69	29.69	29.69	23.29	<b>28.09</b>
<b>355D</b>	44.1	22.3	60	32.6	<b>39.75</b>
	<b>38.19</b>	<b>32.74</b>	<b>42.23</b>	<b>31.67</b>	<b>36.21</b>

**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

En la tabla 10 se observa los valores de la ROP promedio (ft/hr) de las corridas de brocas del Grupo B, este grupo realizó cambio de broca por rendimiento (PR en razón de salida en la calificación de la broca) en los pozos 263D, 340D y 355D, siendo el pozo 261D el único en el que se decidió cambio por horas. Las corridas de los pozos 263D y 340D, presentaron bajo ROP en el intervalo de arcillas, como consecuencia de un ineficiente control de parámetros en el conglomerado Superior, lo que generó un desgaste prematuro en la broca. En el pozo 355D se presentó problemas en el equipo de fondo y se decide cambio de broca para optimizar rendimiento en el intervalo arcilloso.

Como se observa en la tabla 11 la información de ROP promedio de las corridas de los pozos del Grupo D es limitada, no obstante, tenemos de información la calificación IADC de las brocas del grupo y conociendo la secuencia de brocas utilizadas, podemos decir que la broca del pozo 280D fue reemplazada por presentar bajo ROP (razón de salida en la calificación IADC). Al analizar la calificación IADC (ver tabla 8), específicamente el desgaste de la estructura de corte, el bajo ROP se atribuye a un ineficiente o nulo control de parámetros en esta corrida. La broca del pozo 283D muestra un ROP promedio muy bajo, probablemente debido a desgaste prematuro y la razón de salida fue PR (ROP bajo). En el pozo 360V la broca tuvo que ser reemplazada que ya sufrió daño total en su estructura (8 de desgaste en los cortadores interiores y exteriores, RO como razón de

salida). Todas las brocas de este grupo tienen un bajo rendimiento en sus corridas, presentando graves daños en su estructura de corte y calibre.

**Tabla 11.** ROP promedio (ft/hr) brocas PDC (Grupo D) en formación Tiyuyacu

	ROP				
	Tiyuyacu	Cong. Sup	Int. Arcillas	Cong. Inf	ROP promedio
<b>280D</b>	--	--	--	--	<b>57.51</b>
<b>283D</b>	23.18	23.18	23.18	--	<b>23.18</b>
<b>360V</b>	--	--	--	--	--
	<b>23.180</b>	<b>23.180</b>	<b>23.180</b>		<b>40.345</b>

**Fuente:** Archivos ARCH

**Elaborado:** Autor

En la tabla 10 y la tabla 11 se observa los valores de la ROP promedio en las corridas de brocas del Grupo B y D, respectivamente. Al igual que en el Grupo A, se realiza control de parámetros para precautelar la integridad de la broca, por lo que observamos en la perforación de los dos intervalos de conglomerados una reducción de la ROP de forma intencional. Comparando los resultados del Grupo B y D, con los resultados del Grupo A, se observa una disminución significativa del rendimiento de la broca, ocasionado por un deficiente control de parámetros (ver Anexo 2), lo que generó daño en la estructura de corte de la broca, esto se puede verificar con la información dentro de la calificación IADC de las brocas (Tabla 2).

La tasa de perforación (ROP) es la variable más compleja dentro de todo el análisis de resultados del control de parámetros, ya que normalmente es considerada una variable dependiente de los otros parámetros de perforación, por lo general, es considerada como una consecuencia de la optimización de parámetros de perforación, buscando como objetivo obtener la ROP más alta posible.

En el caso del control de parámetros al perforar los conglomerados de la formación Tiyuyacu, el objetivo principal ya no es una ROP máxima, sino precautelar la integridad de la broca al atravesar este intervalo (ver Anexo 3). Al establecerse esta premisa, la ROP se convierte en un factor de control y monitoreo ya que, por la naturaleza heterogénea de

la litología de los conglomerados, si el ROP no se controla, las variaciones de la tasa de perforación (ROP) pueden ser bruscas, lo que podría generar un fuerte impacto de la broca sobre la formación, aumentando considerablemente el riesgo de daño prematuro en la estructura de la broca.

La propuesta de control de parámetros es establecer los valores de los parámetros fijos, tanto de GPM y RPM totales (siempre considerando las RPM de fondo, de ser el caso). Controlar el peso sobre la broca (WOB) y ROP instantánea, evitando variaciones drásticas de dichos parámetros. Monitorear los valores de torque para tener conocimiento del estado de la broca ya que mientras se perfora los conglomerados la ROP no es indicativo de rendimiento, todo esto con el objetivo de poder alcanzar una ROP óptima en la zona de las arcillas y a su vez, tener la capacidad de volver a perforar el intervalo de conglomerado inferior con éxito.

## CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos del análisis del control de parámetros son satisfactorios, suministrando información detallada de cada uno parámetros sujetos a estudio, determinando la eficiencia del control de parámetros al perforar los conglomerados de la formación Tiyuyacu en una sola corrida con broca PDC.
- Luego de la descripción de las características geológicas y estructurales de la formación Tiyuyacu, se segmenta a la formación en 4 intervalos, para análisis de rendimiento de la broca.
- La caracterización de los distintos tipos de brocas PDC que se utilizaron en la perforación de la formación Tiyuyacu, clasificándolas en 4 Grupos distintos dependiendo de su rendimiento y razones de salida.
- Se validó la importancia del control de parámetros, analizando los resultados de torque, relacionándolo con los parámetros controlados de peso sobre la broca (WOB) y tasa de perforación (ROP). Reenfocando el concepto de ROP como variable dependiente durante la perforación, analizándola como una variable independiente, determinando parámetros de monitoreo y control.
- Se ratificó la relación entre el daño prematuro en la estructura de la broca y el deficiente control de parámetros, comparando y analizando los rendimientos de diferentes pozos, los datos de los parámetros de control y la evaluación de desgaste de las brocas.

## RECOMENDACIONES

- Considerando el análisis de resultados es factible perforar la formación Tiyuyacu con una sola broca realizando un eficiente control de parámetros durante la perforación de los conglomerados superior e inferior.
- Realizar control de parámetros previo a la profundidad estimada del tope de los conglomerados, se recomienda empezar el control 20 pies antes del tope esperado.
- Monitorear constantemente el peso sobre la broca (WOB), evitando cargas excesivas y variaciones drásticas en sus valores. Esto evitará daño sobre la broca y su estructura de corte.
- Control minucioso de la tasa de perforación (ROP) instantánea, al igual que ocurre con el peso sobre la broca, tratar de mantenerla constante o tener cambios ligeros en sus valores. Esto permitirá precautelar la integridad de la broca durante la perforación de los conglomerados.
- Definir valores para parámetros fijos, revoluciones por minuto sobre la broca, siempre considerando las rotaciones en superficie y las revoluciones que aporta el motor de fondo, en caso que aplique.
- Monitorear las oscilaciones de torque. Conociendo la relación que existe entre el peso sobre (WOB), velocidad de perforación, torque y rendimiento sobre la broca.

## REFERENCIAS

- Abbas, R., Hassanpour, A., Hare, C., & Ghadiri, M. (12 de 11 de 2014). Instantaneous Monitoring of Drill Bit Wear and Specific Energy as a Criteria for the Appropriate Time for Pulling Out Worn Bits. *SPE Annual Caspian Technical Conference and Exhibition*.
- Baby, P. (2015). *La Cuenca Oriente: Geología y petróleo*. (P. Baby, M. Rivadeneira, & R. Barragán, Edits.) Institut français d'études andines.
- Bruton, G. &. (2014). PDC bit technology for the 21st century. *Oilfield Review*, 26, 48-57.
- Cesar Briones, R. L. (2015). *falla rápidamente al perforar formación de conglomerados*.
- Changhao Wang, S. L. (2019). Evaluation of rock abrasiveness class based on the wear mechanisms of PDC cutters. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 174, 959 - 967. doi:<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.12.009>
- Chatterjee, A. B.-E.-M. (2016). *The Conglomerates Challenge: Evaluating the New Hydrocarbon Plays on the Norwegian Shelf*. Reykjavik, Iceland: SPWLA 57th Annual Logging Symposium.
- Chen, S. A. (2013). A New Theory on Cutter Layout for Improving PDC-Bit Performance in Hard-and Transit-Formation Drilling. *SPE Drill & Compl*, 28(4), 338-349. doi:<https://doi.org/10.2118/168224-PA>
- D. Miess, G. R. (1996). Fracture toughness and thermal resistance of polycrystalline diamond compacts. *Materials Science and Engineering: A*, 209(1-2), 270-276. doi:[https://doi.org/10.1016/0921-5093\(95\)10105-5](https://doi.org/10.1016/0921-5093(95)10105-5)
- EPPETROECUADOR. (Septiembre de 2024). *Informe Estadístico Mensual Enero - Agosto 2024*. Obtenido de <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/09/INFORME-ESTADISTICO-MENSUAL-AGOSTO-2024.pdf>

- F.C. Appl, C. W. (1993). Measurement of forces, temperatures and wear of PDC cutters in rock cutting. *Wear*, 169(1), 9-24. doi:[https://doi.org/10.1016/0043-1648\(93\)90386-Z](https://doi.org/10.1016/0043-1648(93)90386-Z)
- García, R. G. (2016). *CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, ESTRUCTURAL Y MINERALÓGICA DE LA FORMACIÓN TIYUYACU, EN EL CAMPO SACHA (ORIENTE ECUATORIANO)*. Guayaquil.
- Jiaming Jiang, W. Z. (2024). Performance and wear mechanisms of polycrystalline diamond tools with different diamond grains in milling Cf/SiC composites. *Wear*, 546-547. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wear.2024.205355>
- Li, X. H. (1993). Wear and damage to PDC bits. *Society of Petroleum Engineers*.
- Lin Tze-Pin, M. H. (1992). Wear and failure mechanisms of polycrystalline diamond compact bits. *Wear*, 156(1), 133-150. doi:[https://doi.org/10.1016/0043-1648\(92\)90149-3](https://doi.org/10.1016/0043-1648(92)90149-3)
- Pessier, R. . (2011). Hybrid Bits Offer Distinct Advantages in Selected Roller-Cone and PDC-Bit Applications. *SPE Drill & Compl*, 26(1), 96-103. doi:<https://doi.org/10.2118/128741-PA>
- S.G. Moseley, K.-P. B. (2009). Core drilling in reinforced concrete using polycrystalline diamond (PCD) cutters: Wear and fracture mechanisms. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 394-402. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2008.11.014>
- SLB. (2024). *Schlumberger Glossary*. Obtenido de [https://glossary.slb.com/es/terms/d/drill\\_bit](https://glossary.slb.com/es/terms/d/drill_bit)
- Vasconez, R. (9 de November de 2017). *Caracterización geológica, estructural y mineralogénica de la formación Tiyuyacu , en el Campo Sacha (Cuenca Oriente)*. Recuperado el 24 de Marzo de 2024, de Repositorio Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/17958>
- Wang, X. Z. (2021). *Experimental Study on the Influence of Components on Rock Drillability of Conglomerate*. 55th U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium.

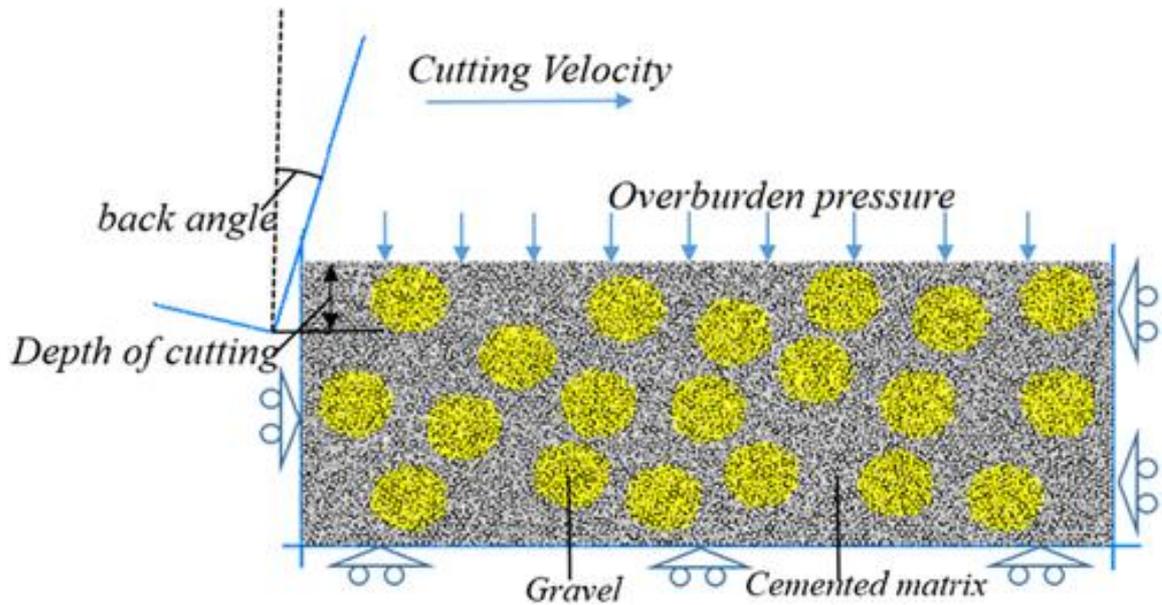
- Wei Li, Q. L. (2015). Design and synthesis of star-burst triphenylamine-based  $\pi$ -conjugated molecules. *Dyes and Pigments*, 113, 1-7.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2014.07.034>.
- Wei Liu, Y. L. (2024). New understandings of the applications of PDC cutters in oil and gas drilling. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 122. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2024.106724>
- Xiaobao Liu, D. Z. (2022). Analysis of PDC cutter cutting-broken conglomerate based on the discrete element method. *Energy Science & Engineering*, 3217 - 3688.  
Obtenido de <https://doi.org/10.1002/ese3.1242>
- Alam, M., Case, S., & Hussain, J. (2022, March 1). Updating the Dull Grading System. *IADC/SPE International Drilling Conference and Exhibition*.  
<https://doi.org/10.2118/208740-MS>
- César Alejandro Briones Luna, R. K. L. H. (2015). *Estudio de la eficiencia de las brocas usadas en las operaciones de perforación en la formación tiyuyacu, en pozos del campo Sacha*. EPN.
- Edison Vidal. (2022). *GESTIÓN DE INTEGRIDAD EN ENSAMBLAJES DE PERFORACIÓN (BHA) PARA POZOS DE ALTA COMPLEJIDAD*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Geralf Pineda, M. M. V. C. Z. C. (2012). MODELADO NUMÉRICO DEL FENÓMENO DE TORQUE Y ARRASTRE EN TUBERÍAS DE COMPLETACIÓN DE POZOS DE PETRÓLEO Y GAS. *Mecánica Computacional Vol XXXI*, , 1085–1108.
- Hinaai, Q. Al. (2024, February 12). Real Time Optimization of Drilling Parameters During Drilling Operations. *Day 2 Tue, February 13, 2024*.  
<https://doi.org/10.2523/IPTC-24237-MS>
- John W. Baldock. (1982). *Boletín de la Explicación del Mapa Geológico de la República del Ecuador*.
- JOSÉ LUIS ROMERO ARIAS, F. V. G. S. (2010). *ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA INYECCIÓN DE AGUA EN LOS YACIMIENTOS “U” Y “T” DE LA FORMACIÓN NAPO DEL CAMPO SACHA*. Escuela Politécnica Nacional.

- JOSUÉ ALEXANDER CASTILLO MONTESDEOCA. (2024). *DESARROLLO DEL MAPA DE PRESIONES PARA LAS ARENAS U Y T DEL CAMPO SACHA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE PRUEBAS DE PRESIÓN*. Escuela Politécnica Nacional.
- KC Bit & Supply. (2024). *IADC Dull Grading*. <https://Kcbits.Com/Drill-Bit-Education/Iadc-Dull-Grading/>.
- Manuel Santiago Quishpe Pilco, J. A. R. L. (2015). *ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN EN LAS SECCIONES DE 16'', 12 1/4'' Y 8 1/2'', DE POZOS QUE SE PERFORARON EN LOS CAMPOS FANNY Y MARIANN*. Escuela Politécnica Nacional.
- Marco Rivadeneira, P. B. (1999). *La cuenca Oriente: Estilo tectónico, etapas de deformación y características geológicas de los principales campos de Petroproducción*.
- Mensa-Wilmot, G., Mikhail, B., Al-Saeedi, M., Sounderrajan, M., & Al-Ajmi, H. (2007, March 11). Innovative Cutting Structure, With Staged ROP and Durability Characteristics, Extends PDC Bit Efficiency into Chert/Pyrite/Conglomerate Applications. *All Days*. <https://doi.org/10.2118/105320-MS>
- Nunez, Y. J., Ruiz, F., Al Nuaimi, M., Amorocho, A., Connelly, N., El-Hafez, H., & Fierro, J. C. (2023, March 13). Analysis of Fracturing Cutter Development and In-Bit Sensing Parameter Optimization when Drilling a Challenging Heterogeneous Section Containing Massive Cherts with a PDC Containing Both Shearing and Fracturing Elements. *Day 2 Tue, March 14, 2023*. <https://doi.org/10.2118/214236-MS>
- Richard Guillermo Vásquez García. (2016). *CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, ESTRUCTURAL Y MINERALÓGICA DE LA FORMACIÓN TIYUYACU, EN EL CAMPO SACHA (ORIENTE ECUATORIANO)*. Universidad de Guayaquil.
- Schlumberger Limited. (2024). *Energy Glossary* . Mud Motor.
- Vanessa Cruz. (2018). *EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE PERFORACIÓN ADQUIRIDOS EN TIEMPO REAL EN POZOS J-HD SEC 12 1/4'' DEL CAMPO VMC PERFORADOS DEL 2013 AL 2016*. Escuela Politécnica Nacional.

- Wan Nor Afiqah, W. A., M Khairol Affendy, A. R., Amirul, A., Hafidz, A. R., Ludovic, M., & Sinasi, E. (2018, March 20). Successful Application of Hardfacing on BHA Components While Drilling in Abrasive Formation. *Day 4 Fri, March 23, 2018*. <https://doi.org/10.4043/28333-MS>
- Wei, J., Liu, W., & Gao, D. (2024). Modeling of PDC bit-rock interaction behaviors based on the analysis of dynamic rock-cutting process. *Geoenergy Science and Engineering*, 239, 212955. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2024.212955>
- William C. Lyons, J. H. S. F. J. S. T. W. (2021). *Air and Gas Drilling Manual*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02316-9>
- ZZbetter. (2024). <https://www.zzbetter.com/es/new/Different-types-of-drilling-bits.html>.  
Diferentes Tipos de Brocas Para Perforar.

## ANEXOS

### Anexo 1: Modelo de simulación de cortadores PDC en conglomerado



Fuente: Chen, Huang, & Wang, 2022

### Anexo 2: Condición típica de broca PDC luego de defectuoso control de parámetros al perforar conglomerados



Fuente: (Mensa-Wilmot et al., 2007)

**Anexo 3: Condición típica de broca PDC luego de un eficiente control de parámetros al perforar conglomerados**



**Fuente:** (Mensa-Wilmot et al., 2007)