

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

Neiva, 21 octubre de 2016

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Carlos Fernando López Salazar, con C.C. No. 1077849803,

Jaime Andrés Trujillo Marín, con C.C. No. 77299999,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado. Titulado: “Principios para selección de brocas de perforación por medio de registros de pozo y en función de la formación a perforar”, presentado y aprobado en el año 2016 como requisito para optar al título de Ingeniero de petróleos; autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Carlos Fernando López Salazar

C.C. No. 1077849803

Firma:



EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Jaime Andrés Trujillo Marín

C.C. No. 77299999

Firma:



	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 4

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Principios para selección de brocas de perforación por medio de registros de pozo y en función de la formación a perforar.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
López Salazar	Carlos Fernando
Trujillo Marín	Jaime Andrés

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Ordúz Pérez	Luis Humberto

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero de Petróleos

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería de Petróleos

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2016

NÚMERO DE PÁGINAS: 171

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 4

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas_X_ Fotografías___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general_X_ Grabados___ Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas o Cuadros_X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Broca	Bit
2. Registro	Log
3. Pozo	Well
4. Petróleo	Oil
5. Formación	Formation

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Para un diseño adecuado del equipo de perforación es necesario analizar los registros donde se muestran diferentes características de la formación a perforar. Usando la columna estratigráfica podemos conocer la litología presente en el yacimiento, con el propósito de usar esos datos para seleccionar el equipo apropiado, que en este caso es el tipo de broca para lograr perforar la mayor profundidad posible sin tener que hacer un cambio repentino de esquema durante la perforación. Determinar el tipo de broca es de importancia en el proceso de planeación del pozo, se deben conocer los diámetros del hueco dependiendo el arreglo de tubería que se tenga en el esquema, los revestimientos a usar, dureza y características de la roca, los intervalos a perforar y el tipo de pozo sea

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 4

vertical o desviado.

Mediante el uso de datos reales de 5 pozos se mostrarán los parámetros de selección de brocas por medio de los registros de pozos y de la formación a perforar, qué debemos tener en cuenta al momento de seleccionar la broca, iniciando con las generalidades de las brocas, características específicas, nomenclatura, factores de desgaste, etc.; pasando por establecer las correlaciones litológicas en estructuras conocidas e historial de brocas usadas y correlacionar los registros de brocas de acuerdo a la columna estratigráfica, más que un compendio de información y datos se pretende evaluar la posibilidad de mejorar la selección de la broca teniendo en cuenta la ROP, los costos y futuros cambios que se den durante la perforación.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

For proper design of the drilling equipment it is necessary to analyze the records where different characteristics of the formation to be drilled are shown. Using the stratigraphic column we can know the lithology present at the site, in order to use these data to select the appropriate equipment, which in this case is the type of drill to achieve drill as deep as possible without having to make a sudden change scheme during drilling. Determine the type of drill is important in the planning process well, you must know the diameter of the hole depending on the arrangement of pipe that has in the scheme, coatings used, hardness and characteristics of the rock, the intervals drilling and the type of well is vertical or deviated.

By using actual data of 5 wells parameters selection bits are displayed by means of well logs and formation drilling, which must take into account when selecting the bit, starting with an overview of bits , specific characteristics, nomenclature, wear factors, etc .; going to establish the lithological correlations known structures and history of bits used and correlate logs bits according to the stratigraphic column, more than a compendium of information and data is to assess the possibility of improving the selection of the bit considering ROP, costs and future changes that might occur during drilling.

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 4

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: Constanza Vargas Castellanos.

Firma:

Constanza Vargas Castellanos

Nombre Jurado: Enrique Sánchez.

Firma:

Enrique Sánchez

**PRINCIPIOS PARA SELECCIÓN DE BROCAS DE PERFORACIÓN POR MEDIO
DE REGISTROS DE POZO Y EN FUNCIÓN DE LA FORMACIÓN A PERFORAR.**

**CARLOS FERNANDO LÓPEZ SALAZAR
JAIME ANDRÉS TRUJILLO MARÍN**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
NEIVA
2016**

**PRINCIPIOS PARA SELECCIÓN DE BROCAS DE PERFORACIÓN POR MEDIO
DE REGISTROS DE POZO Y EN FUNCIÓN DE LA FORMACIÓN A PERFORAR.**

**CARLOS FERNANDO LÓPEZ SALAZAR
JAIME ANDRÉS TRUJILLO MARÍN**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de:
INGENIERO DE PETRÓLEOS**

**Director
LUIS HUMBERTO ORDUZ
Ingeniero de Petróleos**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
NEIVA
2016**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Jaime Andrés Trujillo Marín

Este proyecto y mi carrera universitaria la dedico principalmente a Dios por darme la fortaleza necesaria para permitirme culminar este logro a pesar de todos los obstáculos, a mis padres Yesid Trujillo Trujillo y Blanca Marín por su tenacidad, apoyo constante y motivación que siempre prevalecieron a mi lado en todos los momentos.

A mis hijos Samuel Andrés Trujillo e Isabella Trujillo quienes desde su gestación han sido mi motor, mi felicidad y mi mayor motivación para nunca desfallecer en la persecución de este logro, a mis hermanos y demás familiares doy gracias porque de alguna forma hicieron posible que este triunfo hoy sea una realidad.

Carlos Fernando López Salazar

Dedicado a mis padres, Jorge Elías López Ángel y Nelcy Salazar Plaza, por su incondicional amor y apoyo durante mi carrera, sin ellos ninguno de estos logros sería posible.

A mis hermanos Gloria, Jorge y Mónica López Salazar, desde niño me enseñaron que todo es posible si se desea y se quiere con el corazón.

A todos los amigos, en especial a Mayra Alexandra Soto, que durante esta etapa de mi vida hicieron parte de ella, los buenos y malos momentos que hicieron de la vida universitaria un poco más interesante.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los ingenieros Álvaro Andrés Delgado Vega, Pedro Esquivel, Ángela Tatiana Valencia, por la información y la asesoría suministrada durante la realización de este proyecto.

Al ingeniero Luis Humberto Orduz, por tomar la dirección de este proyecto y darnos la oportunidad de realizar y culminar nuestra carrera universitaria.

A toda el cuerpo de docentes de la facultad de ingeniería, por su apoyo y educación durante la etapa universitaria.

TABLA DE CONTENIDO

<i>ABSTRACT</i>	13
<i>INTRODUCCIÓN</i>	14
<i>1.GENERALIDADES</i>	15
<i>1.1 REGISTROS LITOLÓGICOS</i>	15
<i>1.3 REGISTROS GAMMA RAY</i>	33
<i>1.4 BROCAS DE PERFORACION, ASPECTOS GENERALES.</i>	37
<i>1.4.1. BROCAS DE CONOS MÓVILES.</i>	39
<i>1.4.2 BROCAS DE CORTADORES FIJOS</i>	51
<i>1.4.3 NOMENCLATURA Y CÓDIGO IADC</i>	61
<i>1.4.4 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Y CALIFICACIÓN IADC PARA EL DESGASTE DE LAS BROCAS</i>	68
<i>2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE BROCA</i>	83
<i>3 ANALISIS DE LOS PARAMETROS DE SELECCIÓN DE BROCA</i>	87
<i>3.1 SELECCIÓN POR MEDIO DE REGISTROS FÍSICOS</i>	87
<i>3.2 SELECCIÓN EN FUNCIÓN DE LA FORMACIÓN A PERFORAR</i>	96
<i>3.3 PROPIEDADES DE LA ROCA</i>	97
<i>3.4 PROBLEMAS COMUNES DE LAS BROCAS AL PERFORAR</i>	99
<i>4 SELECCIÓN DE BROCA POR ANALISIS HISTORICOS</i>	100
<i>4.1 ANÁLISIS POZOS DE REFERENCIA</i>	100
<i>4.2 ANALISIS LITOLÓGÍA POZOS DE REFERENCIA</i>	164
<i>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	167
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</i>	169

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Velocidades y tiempos para matrices comunes.</i>	22
<i>Tabla 2. Densidades de matriz, litologías usadas en la ecuación de porosidad.</i>	27
<i>Tabla 3. Tipos de Brocas Triconicas de Dientes de Acero. Fuente: Halliburton, AEC RollerCone.</i>	43
<i>Tabla 4. Tipos de Brocas Triconicas con insertos.</i>	47
<i>Tabla 5. Código IADC, tipo de formación y estructura de corte, broca PDC.</i>	62
<i>Tabla 6. Código IADC para el Perfil de una broca PDC.</i>	62
<i>Tabla 7. Código IADC para el tipo de diente o inserto Brocas conos móviles.</i>	64
<i>Tabla 8. Código IADC, característica y tipo de formación, broca triconica.</i>	64
<i>Tabla 9. Código IADC, diseño del rodamiento, broca triconica.</i>	66
<i>Tabla 10. Características y nomenclatura del desgaste.</i>	70
<i>Continuación Tabla 11. Características y nomenclatura del desgaste.</i>	71
<i>Tabla 12. Razones y nomenclatura para salida de la broca.</i>	73
<i>Tabla 13. Cuadro estándar de la IADC para calificar el desgaste de una broca.</i>	74
<i>Tabla 14. Nomenclatura, características del desgaste.</i>	75
<i>Tabla 15. Razones y nomenclatura para salida de la broca.</i>	78
<i>Tabla 16. Cuadro estándar de la IADC para calificar el desgaste de una broca.</i>	79
<i>Tabla 17. Problemas comunes de las brocas al perforar.</i>	99
<i>Tabla 18. Litología pozo USCO-101.</i>	107
<i>Tabla 19. Litología pozo USCO-102.</i>	118
<i>Tabla 20. Litología pozo USCO-103.</i>	128
<i>Tabla 21. Litología pozo USCO-104.</i>	140
<i>Tabla 22. Litología pozo USCO-105.</i>	154
<i>Tabla 23. Litología pozos USCO-101; 103.</i>	165
<i>Tabla 24. Litología pozos USCO-104.</i>	165
<i>Tabla 25. Litología pozo USCO-105.</i>	166

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Representación de potencial espontaneo de un pozo.</i>	18
<i>Figura 2. Representación de potencial espontaneo de un pozo a hueco abierto.</i>	19
<i>Figura 3. Deflexión del SP con una resistividad del lodo filtrado (Rmf).</i>	20
<i>Figura 4. Esquema de herramienta sónica con doble sistemas de receptores.</i>	23
<i>Figura 5. Perfil sónico mostrando salto de ciclos con gas.</i>	24
<i>Figura 6. Sonda de registro.</i>	26
<i>Figura 7. Registros eléctricos a hueco abierto.</i>	27
<i>Figura 8. Curva de absorción fotoeléctrica.</i>	29
<i>Figura 9. Herramienta detección.</i>	31
<i>Figura 10. Comparación de porosidades, detectores termales y epitermales.</i>	32
<i>Figura 11. Perfil de rayos gamma espectral.</i>	35
<i>Figura 12. Perfil de rayos gamma.</i>	36
<i>Figura 13. Fallo de la roca por esfuerzos compresivos.</i>	37
<i>Figura 14. Fallo de la roca por esfuerzos de corte.</i>	38
<i>Figura 15. Diagrama de clasificación de las brocas de conos móviles.</i>	39
<i>Figura 16. Componentes de una broca de conos móviles.</i>	40
<i>Figura 17. Representación cuerpo de la broca de conos móviles.</i>	41
<i>Figura 18. Insertos de carburo de tungsteno.</i>	45
<i>Figura 19. Tipos de Insertos de carburo de tungsteno.</i>	46
<i>Figura 20. Cojinete estándar abierto.</i>	49
<i>Figura 21. Cojinete sellado.</i>	49
<i>Figura 22. Diagrama de clasificación de las brocas de cortadores fijos.</i>	51
<i>Figura 23. Representación componentes de una broca cortadores fijos.</i>	52
<i>Figura 24. Broca PDC de cuerpo de acero.</i>	54
<i>Figura 25. Broca PDC de cuerpo de carburo de tungsteno (Matriz).</i>	55

<i>Figura 26. Características tamaño del cortador.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 27. Perfil de una broca de cortadores fijos.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 28. Tipos de Perfiles.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 29. Características Perfil Broca Cortadores Fijos.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 30. Ubicación de los insertos en una broca PDC.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 31. Escala desgaste del elemento cortante.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 32. Localización del desgaste en una broca de cortadores fijos.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 33. Medidas para la longitud del diente.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 34. Forma de medir el calibre de la broca.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 35. Anillamiento en una broca PDC.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 36. Inserto aplanado.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 37. Astillamiento elemento cortante.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 38. Diente roto-Cortador roto.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 39. Registro de neutrones de diversos tipos de roca que muestra cómo la porosidad neutrón cambia con litología.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 40. Tabla de densidad para los diversos tipos de litología.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 41. Tabla de propiedades acústicas para los diversos tipos de litología.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 42. Registro Neutrónico, Gamma Ray y Densidad.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 43. Perfil de un registro sísmico.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 44. Registro de análisis de dureza de las rocas.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 45. Fragmento registro pozo USCO-101.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 46. Fragmento registro pozo USCO-101.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 47. Fragmento registro pozo USCO-101.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 48. Fragmento registro pozo USCO-101.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 49. Fragmento registro pozo USCO-101.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 50. Fragmento registro pozo USCO-101.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 51. Fragmento registro pozo USCO-102.....</i>	<i>111</i>

<i>Figura 52. Fragmento registro pozo USCO-102.</i>	<i>112</i>
<i>Figura 53. Fragmento registro pozo USCO-102.</i>	<i>113</i>
<i>Figura 54. Fragmento registro pozo USCO-102.</i>	<i>114</i>
<i>Figura 55. Fragmento registro pozo USCO-102.</i>	<i>115</i>
<i>Figura 56. Fragmento registro pozo USCO-102.</i>	<i>116</i>
<i>Figura 57. Fragmento registro pozo USCO-102.</i>	<i>117</i>
<i>Figura 58. Fragmento registro pozo USCO-103.</i>	<i>123</i>
<i>Figura 59. Fragmento registro pozo USCO-103.</i>	<i>124</i>
<i>Figura 60. Fragmento registro pozo USCO-103.</i>	<i>125</i>
<i>Figura 61. Fragmento registro pozo USCO-103.</i>	<i>126</i>
<i>Figura 62. Fragmento registro pozo USCO-103.</i>	<i>127</i>
<i>Figura 63. Fragmento registro pozo USCO-104.</i>	<i>135</i>
<i>Figura 64. Fragmento registro pozo USCO-104.</i>	<i>136</i>
<i>Figura 65. Fragmento registro pozo USCO-104.</i>	<i>137</i>
<i>Figura 66. Fragmento registro pozo USCO-104.</i>	<i>138</i>
<i>Figura 67. Fragmento registro pozo USCO-104.</i>	<i>139</i>
<i>Figura 68. Convenciones litológicas comunes.</i>	<i>148</i>
<i>Figura 69. Convenciones litológicas comunes.</i>	<i>149</i>
<i>Figura 70. Fragmento registro pozo USCO-105.</i>	<i>150</i>
<i>Figura 71. Fragmento registro pozo USCO-105.</i>	<i>151</i>
<i>Figura 72. Fragmento registro pozo USCO-105.</i>	<i>151</i>
<i>Figura 73. Fragmento registro pozo USCO-105.</i>	<i>152</i>
<i>Figura 74. Fragmento registro pozo USCO-105.</i>	<i>153</i>

RESUMEN

La perforación de pozos petroleros es la operación más importante que permite la extracción de hidrocarburos. Para realizar dicho proceso se deben tener en cuenta la información de los registros de pozos aledaños además de la columna estratigráfica, los cuales, nos dan la información necesaria para la selección del equipo adecuado con el fin de ejecutar exitosamente la perforación del pozo y posteriormente la extracción del crudo.

Para un diseño adecuado del equipo de perforación es necesario analizar los registros donde se muestran diferentes características de la formación a perforar. Además usando la columna estratigráfica podemos conocer la litología presente en el yacimiento, con el propósito de usar esos datos para seleccionar el equipo apropiado, que en este caso es el tipo de broca para lograr perforar la mayor profundidad posible sin tener que hacer un cambio repentino de esquema durante la perforación. Determinar el tipo de broca es de vital importancia en el proceso de planeación del pozo, se deben conocer los diámetros del hueco dependiendo el arreglo de tubería que se tenga en el esquema, los revestimientos a usar, dureza y características de la roca, los intervalos a perforar y el tipo de pozo sea vertical o desviado, entre otros.

Mediante el uso de datos reales de 5 pozos se mostrarán los parámetros de selección de brocas por medio de los registros de pozos y de la formación a perforar, qué hay que tener en cuenta al momento de seleccionar la broca, iniciando con las generalidades de las brocas, los tipos y sus características específicas, su nomenclatura, factores de desgaste, etc.; pasando por establecer las correlaciones litológicas en estructuras conocidas e historial de brocas usadas y correlacionar los registros de brocas de acuerdo a la columna estratigráfica, más que un compendio de información y datos se pretende evaluar la posibilidad de mejorar la selección de la broca teniendo en cuenta la ROP, los costos y futuros cambios que se den durante la perforación.

ABSTRACT

The oil well drilling is the most important operation in the process of extraction of hydrocarbons, to perform this process should take into account the information from the records of surrounding wells in addition to the stratigraphic column which give us the information necessary for the selection of the right equipment for successfully completing the drilling and subsequently the extraction of oil.

For a proper design of the drilling equipment it is necessary to analyze the records where different characteristics of the formation to be drilled are shown also using the stratigraphic column can know the lithology present in the reservoir, in order to use that data to select the appropriate equipment, in this case the type of drill bit to get as deep as possible without having to make a sudden change of schedule during drilling. Determine the bit type is vital in the well planning process , you must know the diameter of the hole depending on the arrangement of pipe has in the scheme, casings, hardness and rock features, drilling intervals and type of well if is vertical or deviated among others.

By using real data of 5 wells, bits selection parameters will be shown by well logs and formation to be drilled, which must be taken into account when you are selecting the bit, starting with an overview of drills, types and their specific characteristics, nomenclature, wear factors etc. Turning to establish lithological correlations in known structures and history of bits used to correlate bit logs according to the stratigraphic column, more than a compendium of information and data is intended to evaluate the possibility of improving the selection of the bit considering ROP, costs and future changes that might occur during drilling.

INTRODUCCIÓN

El método rotatorio de perforación de un pozo implica invariablemente el empleo de una broca (esta es la herramienta clave para el ingeniero de perforación). La correcta selección y condiciones óptimas de operación son los dos elementos esenciales para lograr el éxito en la ejecución. En la actualidad existe gran variedad de brocas fabricadas por diversas compañías para requerimientos especiales en el proceso de perforación, por ello el personal encargado del programa de brocas debe examinar adecuadamente las condiciones de la litología que se pretende atravesar y las características del equipo disponible para dicho proceso. Por lo tanto, es imprescindible que el ingeniero de perforación domine los principios de selección de brocas y este correctamente capacitado para entender su comportamiento y así tomar las decisiones más acertadas en cuanto a su selección.

La elección de un buen programa de brocas depende de diferentes factores: mecánicos, económicos, entre otros. Los registros de pozo nos proveen información de las condiciones de formación, sus características geológicas y petrofísicas, además de los fluidos presentes en la roca.

1.GENERALIDADES

1.1 REGISTROS LITOLÓGICOS

Para poder determinar qué broca utilizar en cierta formación por medio de su litología se debe primero saber interpretar las propiedades litológicas de las formaciones y sus fluidos, ya que por este medio podemos captar registros importantes que nos pueden medir la conductividad y la resistividad de cierta roca y que por medio de los registros se tiene la capacidad de transmitir y manifestar la energía sónica, densidad, temperatura, entre otros registros que se pueden interpretar en términos de litología, porosidad y el tipo de fluido presente en dicha formación. Para realizar estos registros se necesita reconocer las clases de herramientas, las cuales sirven para brindar la información deseada.

Clases de Herramientas

Especialmente se utiliza un equipo de fondo, que originalmente es una sonda. Este dispositivo contiene un cartucho electrónico y sensores, la cual acumula la información enviándola a superficie por medio de la sonda. Las ondas se clasifican mediante su fuente de medida, tales como:

Resistivas, Sónicas y de Porosidad: se presentan por medio de la corriente eléctrica, emisor de sonido y capsulas radioactivas, respectivamente.

Herramientas resistivas

- Dispositivos de inducción eléctrica
- Resistividad de electrodo
- Micrologs

Herramientas sónicas

- Sonido de Porosidad
- Sonido dipolar de imágenes
- Imagen ultrasónicas

Herramientas de capsulas radioactivas

- Neutrón compensado
- Litodensidad compensada
- Espectroscopia de rayos gamma
- Rayos gammas naturales

Acatando el tipo de registro utilizado para valorar la formación se debe tener en cuenta la respuesta que concibe la zona invadida por el fluido de la perforación en los registros de pozo.

Durante la perforación de un pozo la presión hidrostática del pozo habitualmente es mayor que el poro de la formación, así evita que haya posible descontrol en el pozo. En algunas ocasiones se presenta una presión resultante entre la columna del lodo y la formación, obligándolo a que entre en una formación permeable. Depositándose en la pared del agujero de la formación creando una torta o mudcake de lodo.

Por lo general los registros enviados por medio de la sonda no siempre son exactos, ya que presenta distorsiones en las mediciones eléctricas.

Potencial espontaneo SP

Este potencial eléctrico es observado en subsuelo y en la superficie, usualmente llamados potencial espontaneo han sido usados en exploraciones de minerales. Asociados con alteración de cuerpos minerales, contando con una variación en las propiedades de las rocas para establecer los contactos geológicos, cuyo valor medido es un gradiente potencial el

cual varia con la profundidad. El registro SP permite interpretar la resistividad del agua (S_w), también es utilizado para distinguir zonas de Shale y arenas permeables y porosas.

La curva del registro SP responderá manteniéndose como una línea constante o deflectándose, la magnitud de la deflexión es debido a la diferencia de la resistividad del agua de formación y la resistividad del lodo filtrado ($R_w - R_{mf}$). Si la deflexión es positiva se extiende a la derecha y si es negativa hacia a la izquierda. Este fenómeno depende de la diferencia de la salinidad entre el agua de formación y el filtrado. Cuando desaparece la curva SP, sirve para detectar la presencia de hidrocarburos.

El resultado del potencial que se registra es una combinación de 4 potenciales eléctricos que se desarrollan cuando la sonda atraviesa la formación. Estos son:

- Electroquímico de membrana E_{sh}
- Electroquímico de contacto E_d
- Electrocinético E_{mc}
- Electrocinético E_{sb}

El E_{sh} , se desarrolla en la lutita impermeable entre superficie de contacto horizontal con la capa permeable y con la superficie de contacto vertical con el pozo.

El E_d , se desarrolla en la superficie de contacto entre la zona invadida y la no invadida en la capa permeable.

Los potenciales Electrocinéticos E_{mc} y E_{sb} , se desarrollan a través del mudcake y en una capa de lutita adyacente al pozo, que por lo general son pequeños y es posible que sean despreciados.

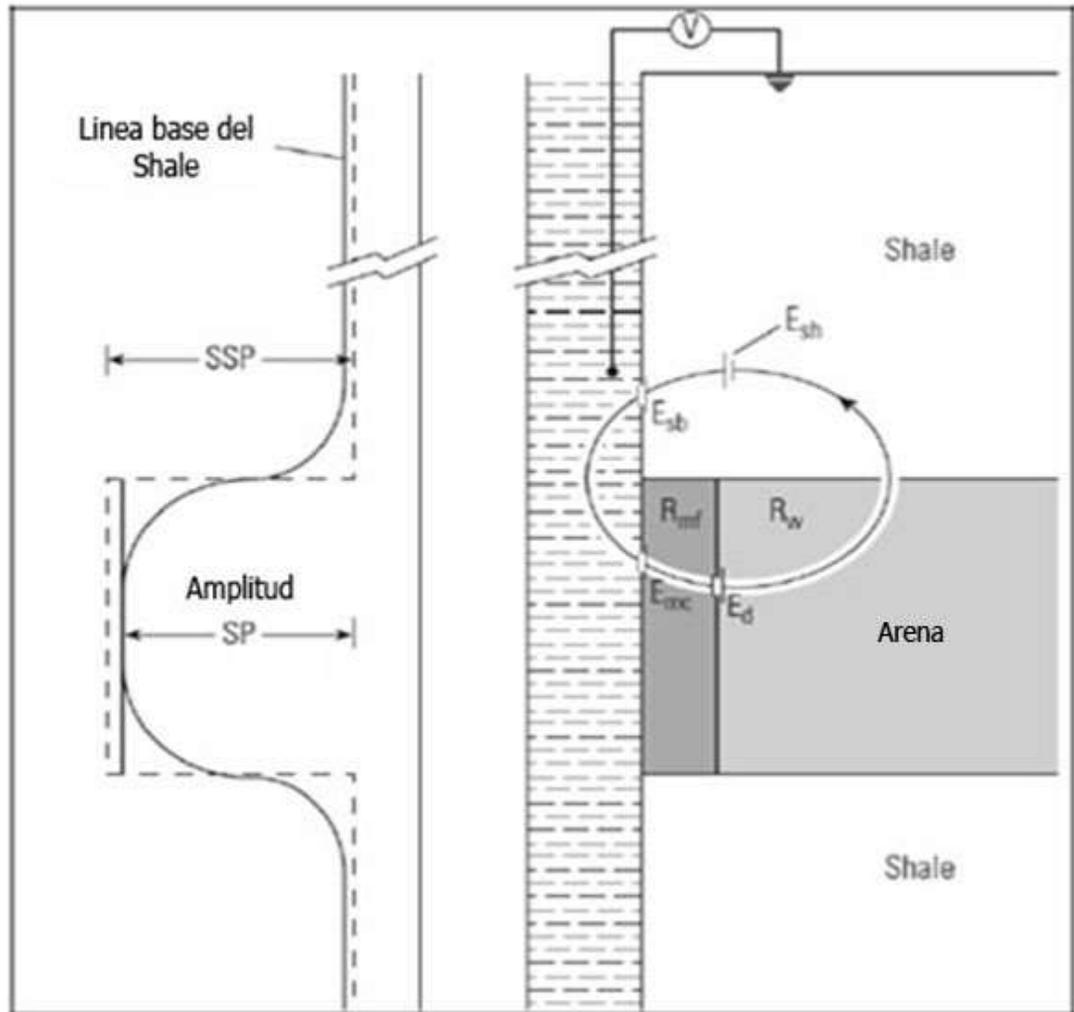


Figura 1. Representación de potencial espontaneo de un pozo.
Fuente. Ellis y Singer. 2008

Potencial espontaneo a hueco abierto

El SSP, es un elemento necesario para determinar el valor exacto de la resistividad del agua y el volumen de Shale. Un pseudo estático potencial espontaneo (PSP) es la respuesta a la curva del potencial espontaneo si hay Shale presente. En la siguiente ilustración se muestra la respuesta de la curva SP demostrando la presencia de capas delgadas y/o gas.

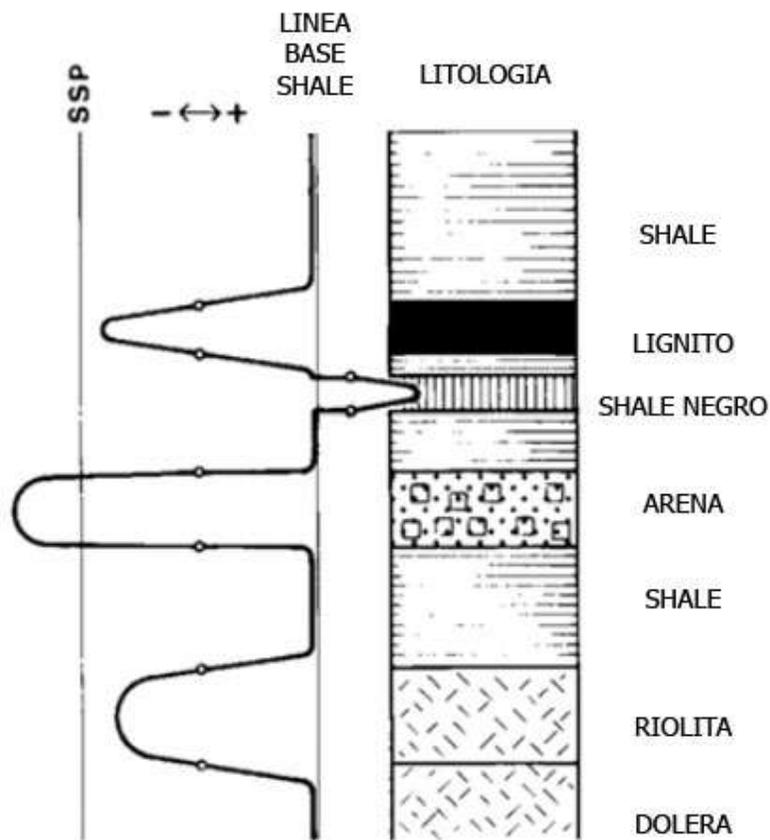


Figura 2. Representación de potencial espontaneo de un pozo a hueco abierto.

Fuente. Registros eléctricos, es.scribd.com

Factores que pueden afectar la curva SP:

- El espesor de la capa
- Arcillosidad de las formaciones
- Resistividad de la formación
- Profundidad de la invasión
- Resistividad del lodo
- Diámetro del pozo

Es necesario tener presente que no se puede formar una curva SP en lodos no conductivos

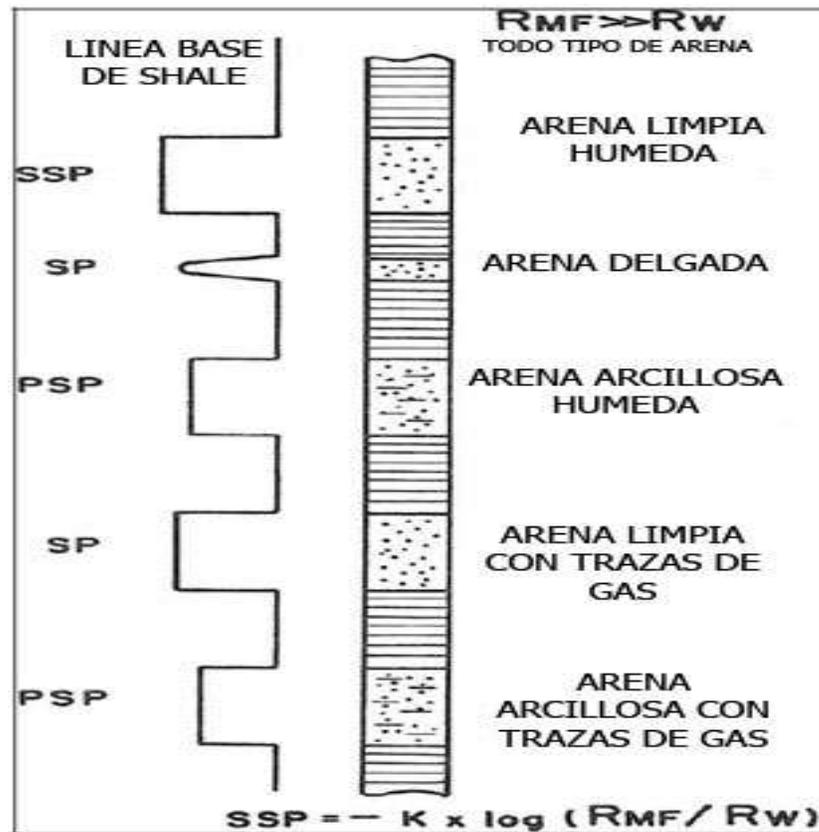


Figura 3. Deflexión del SP con una resistividad del lodo filtrado (Rmf).

Fuente. Ellis y Singer. 2008

1.2 REGISTROS DE POROSIDAD

En estos registros también se incluyen los sónicos, densidad y neutrón. Los sónicos miden la porosidad de la matriz y los otros miden la porosidad total.

Registros Sónicos

Fueron introducidos en primera instancia para determinar la velocidad sísmica. Estos registros de velocidad fueron usados ampliamente en la exploración de petróleo y una vez desarrollados fue descubierto un valor confiable de porosidad de formación y puede ser extraído de la respuesta de este registro. Mientras que las herramientas sónicas convencionales miden el recíproco de la velocidad de la onda compresional.

Los registros sónicos determinan la porosidad en areniscas en formaciones consolidadas y carbonatos con porosidad intergranular o porosidad intercristalina, mirando el intervalo del tiempo (Δt) el cual es recíproco de la velocidad dependiendo de la litología y la porosidad, por ende la velocidad de la matriz de formación debe ser conocida para obtener la porosidad sónica.

$$\phi_{sonic} = \frac{(\Delta t_{log} - \Delta t_{ma})}{(\Delta t_f - \Delta t_{ma})}$$

Donde:

- ✓ ϕ_{sonic} , Porosidad sónica obtenida.
- ✓ Δt_{ma} , intervalo de tiempo de la matriz.
- ✓ Δt_{log} , intervalo de tiempo de formación.
- ✓ Δt_f , intervalo de tiempo del en el pozo.

El intervalo de tiempo de una formación incrementa debido a la presencia de hidrocarburos los cuales deben ser corregidos, de lo contrario la porosidad sónica obtenida puede resultar muy alta. Para corregir la presencia de hidrocarburos fueron propuestas las siguientes correlaciones:

$$\begin{aligned}\phi &= \phi_{\text{sonic}} \times 0.7 \text{ (gas)} \\ \phi &= \phi_{\text{sonic}} \times 0.9 \text{ (aceite)}\end{aligned}$$

La siguiente tabla muestra las diferentes velocidades y tiempos para matrices usadas en la fórmula de porosidad sónica.

Tabla 1. Velocidades y tiempos para matrices comunes.

MATRIZ	V_{ma} (ft/s)	ΔT_{ma} (μsec/ft)
Arenisca	18.000 a 19.500	55.5 a 51
Caliza	21.000 a 23.000	47.6
Dolomita	23.000 a 26.000	43.5
Anhidrita	20.000	50
Sal	15.000	67
Revestimiento (hierro)	17.500	57

Fuente. Assad, 2008.

Las primeras herramientas de registros sínicos estaban equipadas con un solo receptor, el cual tenía un sistema por un pulso que era iniciado por un transmisor situado a una distancia del receptor.

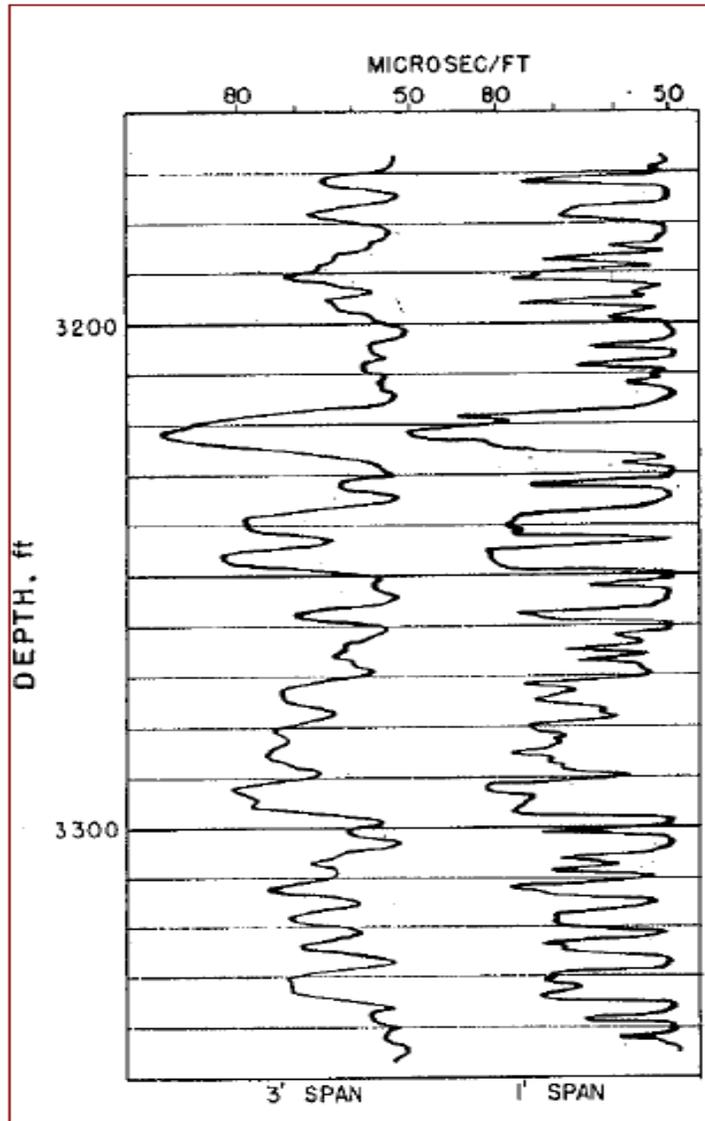


Figura 4. Esquema de herramienta sónica con doble sistemas de receptores.

Fuente. Reinterpretación litológica a partir de registros de pozo cuenca llanos, Reinaldo Ríos. Tesis de grado.

2009

Se debe conocer que los perfiles sónicos se pueden ver afectados por dos tipos de anomalías:

Saltos cíclicos:

En teoría los receptores se activan con el primer arribo de energía sónica, pero en la práctica este arribo puede ser demasiado débil para los receptores, por esta razón se activan con el segundo arribo. Debido a que el receptor más cerca del trasmisor se activa con un impulso de energía y al mismo tiempo llega al trasmisor más lejano.

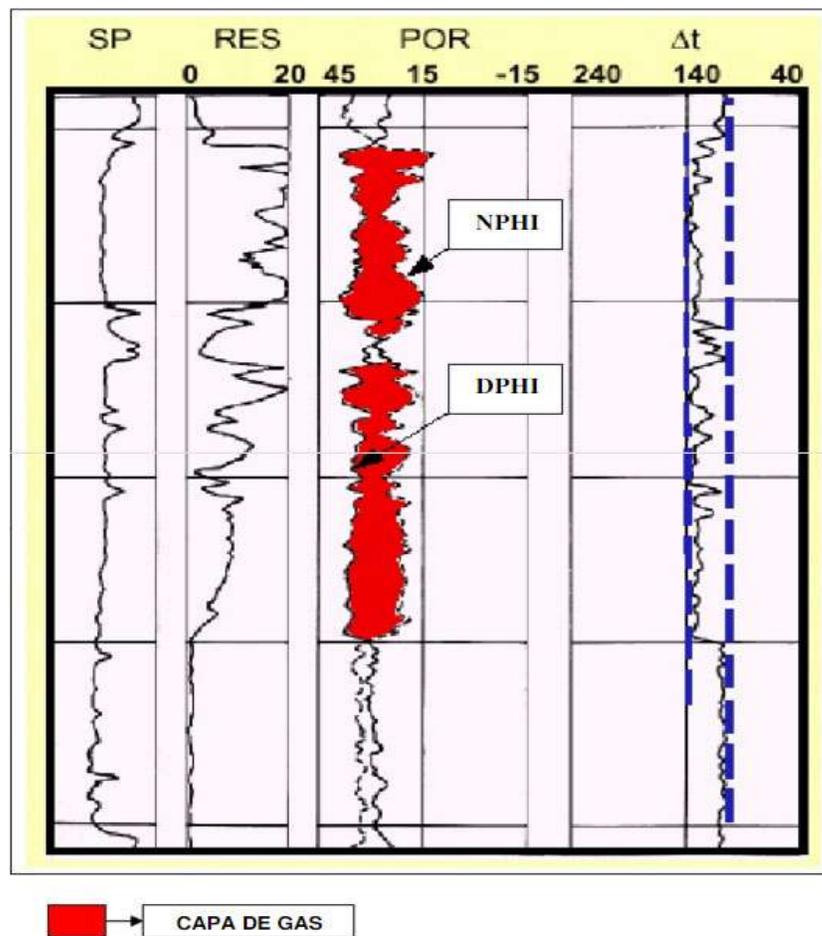


Figura 5. Perfil sónico mostrando salto de ciclos con gas.

Fuente. PDVSA, 1997

Efecto de las cavernas:

El tiempo consumido por la onda sónica, desde el transmisor hasta la pared del pozo y desde la pared al receptor, no queda incluido en el tiempo de tránsito de la formación registrado, debido a que están eliminados por el registro de la diferencia en los tiempos de llegada a los dos receptores.

Registro de Densidad:

Esencialmente es usado para la determinación de la porosidad de la formación, sin embargo también es usado con otros perfiles, por ejemplo para evaluar formaciones litológicas complejas, formaciones arcillosas, identificación de minerales y detección de gas en los yacimientos. Este registro mide la densidad de electrones a través de la porosidad, ayudando a identificar la densidad de hidrocarburos. El registro de densidad consta de un dispositivo que tiene una fuente de energía de rayos gamma que se emiten hacia la formación.

Cuando esto sucede una fuente de rayos gamma bombardea la roca; colisionando con los electrones en la formación, perdiendo energía. La cantidad de estos GR atenuados a una distancia fija es inversamente proporcional a la densidad de electrones de la formación.



Figura 6. Sonda de registro.

Fuente. Registros eléctricos, es.scribd.com

La densidad aparente puede ser relacionada con la densidad de electrones de la formación en g/cc.

$$\phi_{den} = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f}$$

Donde:

ϕ_{den} = densidad porosidad calculada.

ρ_{ma} = densidad de la matriz.

ρ_b = densidad aparente de la formación.

ρ_f = densidad del fluido (1.1 para lodo y para gas 0.7).

Tabla 2. Densidades de matriz, litologías usadas en la ecuación de porosidad.

Matriz	ρ_{ma} (g/cc)
Arenisca	2.648
Caliza	2.710
Dolomita	2.876
Anhydrita	2.977
Sal	2.0

Fuente. Registros eléctricos, es.scribd.com

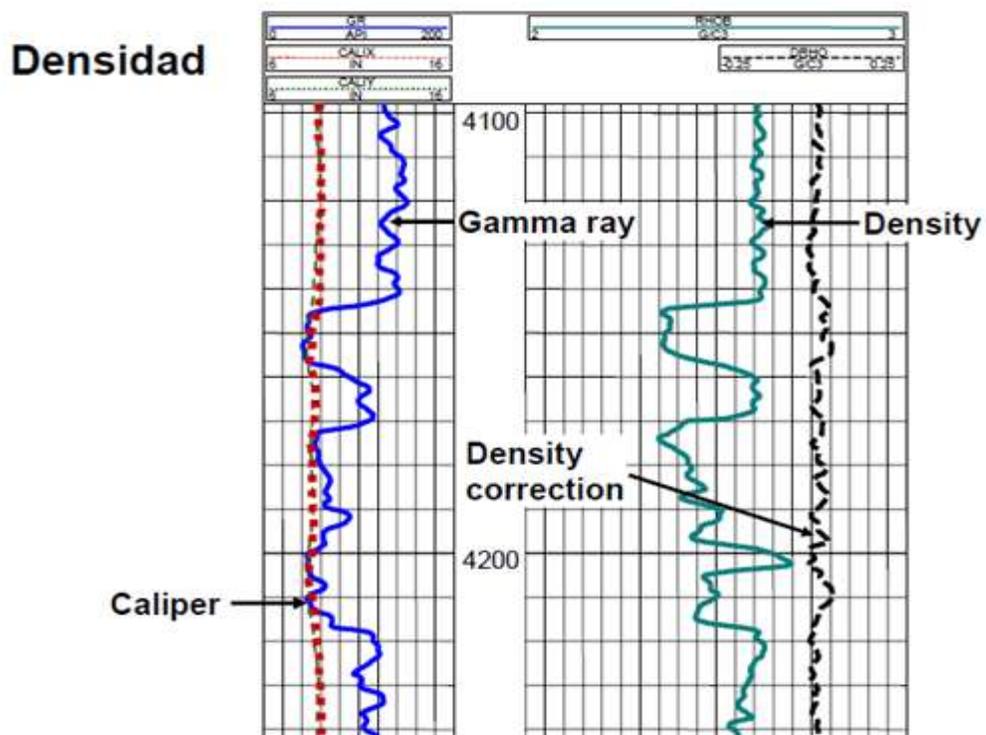


Figura 7. Registros eléctricos a hueco abierto.

Fuente. Reinterpretación litológica a partir de registros de pozo cuenca llanos, Reinaldo Ríos. Tesis de grado.

2009

Para la lectura del registro de densidad se debe de tener en cuenta la siguiente información:

Efecto de los hidrocarburos

Si en la zona en investigación resulta con hidrocarburos residual, como crudo liviano o gas, la presencia de estos puede afectar la lectura del perfil. Pero puede pasar desapercibida si la densidad promedio del hidrocarburo y la del filtrado está muy cercana a la unidad. Si por el contrario, hay una saturación apreciable de gas residual, este disminuye el valor de ρ_b e incrementa el valor de la porosidad.

Efecto de las arcillas

Esta interpretación puede verse afectada por la presencia de arcillolitas o lutitas en la formación. Cabe resaltar que las propiedades de la lutita varían según la formación. Las densidades de las capas de estas en intercalaciones laminares están entre 2.2 y algo mayor de 2.65 g/cc. Estas densidades suelen ser menores a profundidades superficiales donde las fuerzas de compactación no son tan grandes, mientras que las arcillas en arenas su efecto depende de la densidad ρ_{sh} y casi siempre disminuye la densidad aparente registrada.

Perfil de Litodensidad

Este perfil proporciona una curva de absorción fotoeléctrica Pe . Esta curva refleja el número atómico promedio de la formación, y es por lo tanto un buen indicador del tipo de matriz de roca. (PDVSA, 1997).

La medición de ρ_b y Pe , se hace a través de la selección de energía de los rayos gamma que llegan hasta el detector lejano.

La medición de la densidad básica se toma solo registrando aquellos rayos gamma de alta energía que lleguen como los de la región H. También tienen tres formaciones con la misma densidad total pero con diferentes índices de absorción volumétricas U: alta, media y baja que se muestran en la siguiente figura.

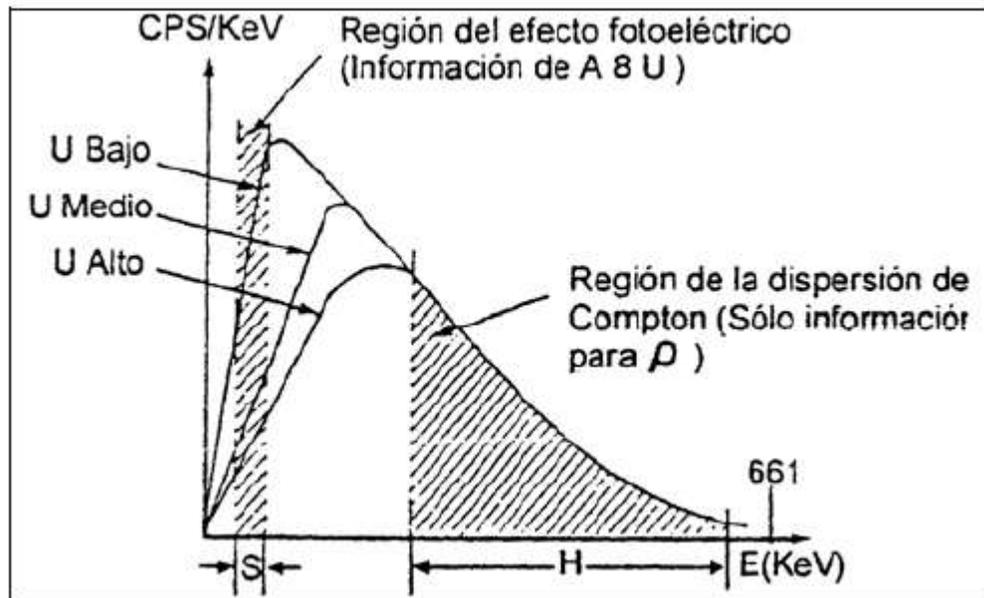


Figura 8. Curva de absorción fotoeléctrica.

Fuente. PDVSA, 1997

Registros neutrón

Puede correrse en un hueco abierto como entubado y con cualquier fluido dentro del pozo. Actualmente los dispositivos que se usan son dos detectores neutrónicos que pueden ser termales o epitermales, y/o en su defecto ambos sistemas. El neutrón es eléctricamente neutro y su masa es igual a la del átomo del hidrógeno. Cuando se emplea para los registros de pozo los neutrones son:

- Emitidos por una fuente radioactiva a velocidades relativamente altas.

- Emisores hacia la formación que chocan con otros núcleos atómicos. Cada colisión produce una pérdida de energía o una disminución en la velocidad termal, donde es absorbido por el núcleo de átomos tales como cloro, silicio, hidrogeno, etc.

El método de registro sónico neutrónico comprende una fuente de neutrones y dos detectores. Los detectores están situados a una distancia de la fuente que permite que el número de neutrones lentos detectados por los detectores sea inversamente proporcional a la concentración de hidrógenos en la vecindad del pozo, puesto que la presencia del hidrogeno se debe casi enteramente a los fluidos de la formación y el volumen de los fluidos es el volumen poroso.

Registro eléctrico a hueco abierto

La fuente y dos detectores están montados en una herramienta, la cual está presionada contra las paredes del hueco. De la relación de neutrones detectados por los detectores (lejano y cercano), se determina empíricamente la cantidad de átomos de hidrogeno en la formación. La herramienta asume que todos los átomos de H están presentes en el espacio poroso (agua o HC).La herramienta está calibrada para leer porosidad en calizas saturadas con agua. Estas porosidades son computadas en unidades de porosidad (p.u.).

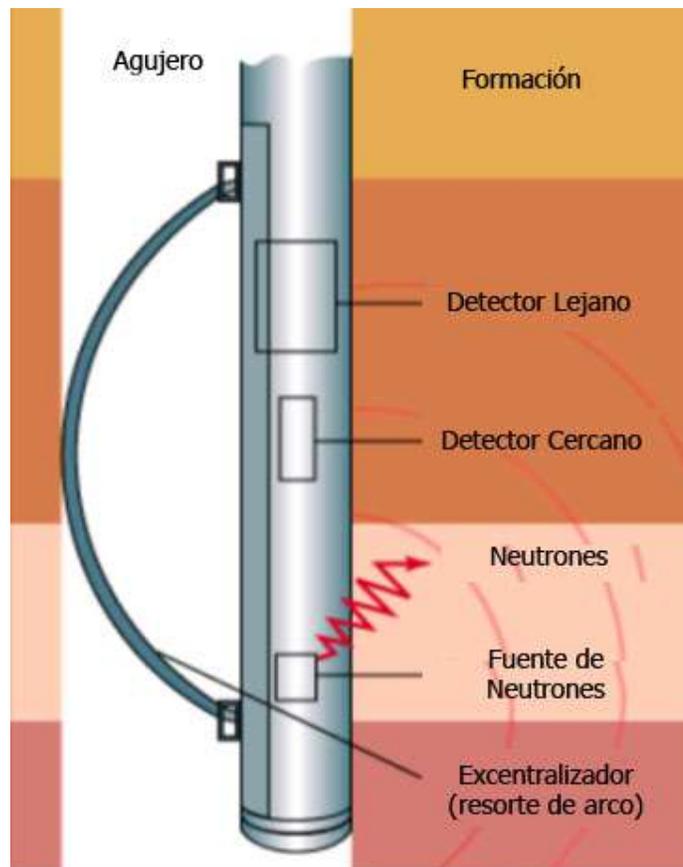


Figura 9. Herramienta detección..

Fuente. Registros eléctricos, es.scribd.com

Efecto del gas: La sustitución de líquido por gas en el espacio poroso de una roca reduce la concentración de hidrogeno del fluido en los poros. Como resultado de esto la curva del perfil neutrónico calibrada en la función de la porosidad saturada de líquido dará una porosidad irregularmente baja.

Registro neutrón de doble porosidad

Para optimizar tanto la respuesta del gas como la interpretación frente a la representación de elementos absorbentes como el boro y el gadolinio en las formaciones, el dispositivo de doble porosidad agrega además de los detectores termales, dos detectores neutrónicos epidermales, obteniendo así dos mediciones separadas de la porosidad, una por cada par de electrones.

En las formaciones limpias por lo general las porosidades medidas concuerdan, mientras que en las formaciones arcillosas que contienen un gran número absorbentes neutrónicos termales la porosidad medida por los epidermales tiene lecturas más bajas.

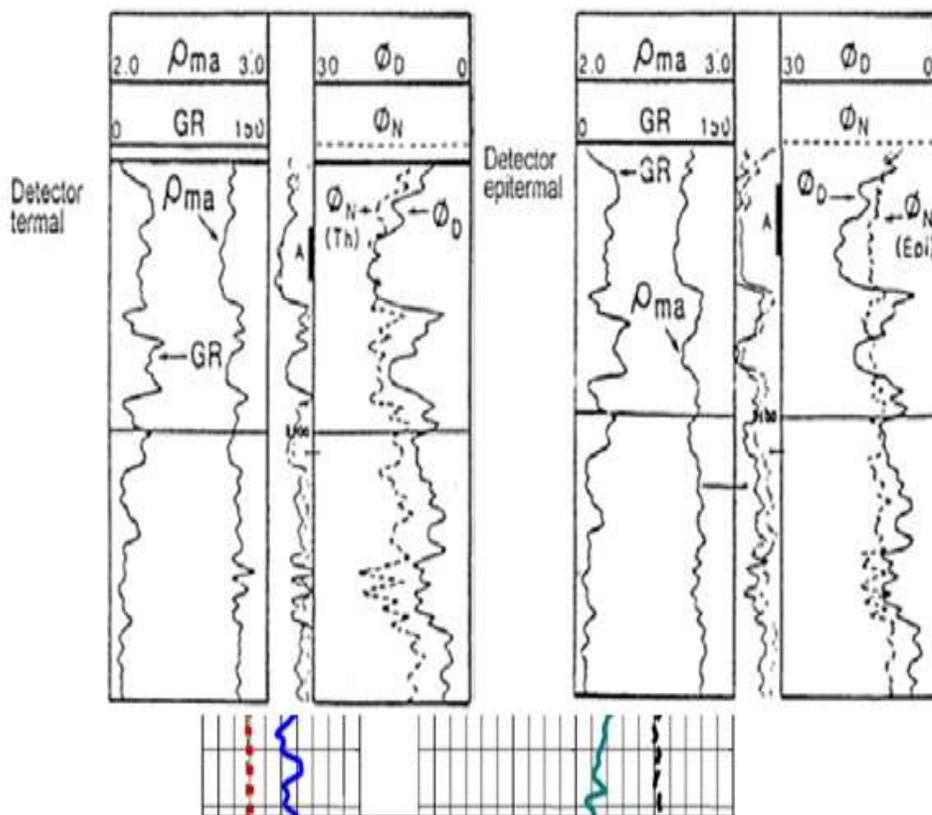


Figura 10. Comparación de porosidades, detectores termales y epidermales.

Fuente. PDVSA, 1997

Combinación Densidad/Neutrón a hueco abierto

En reservorios con contenido de gas la porosidad neutrón es menor y la densidad se reduce (aumenta la porosidad densidad). La separación resultante con Neutrón a la derecha y Densidad a la izquierda se llama separación de gas.

Las lodolitas tienen un efecto invertido (separación de shale). Debido al agua que está químicamente adjunta a las partículas de arcilla la herramienta neutrón registra alta porosidad, donde en realidad no existe porosidad efectiva.

1.3 REGISTROS GAMMA RAY

Este registro mide de manera continua la radioactividad natural de las formaciones penetradas por un pozo vs la profundidad debido a que todas las rocas poseen radioactividad. El material radioactivo es producido por rocas ígneas, la fuente más común de radioactividad es el K^{40} , por ejemplo el uranio y el torio son elementos radioactivos.

Los registros RG pueden aplicarse en pozos entubados o abiertos, pueden estar vacíos o llenos de cualquier tipo de fluidos. La curva de RG se presenta en escala lineal en el primer track. Es usado habitualmente por registros de porosidad (densidad, neutrón, sónico).

Las radiaciones naturales son emitidas espontáneamente por algunos elementos radioactivos como: el Uranio, el Potasio y el Torio que están presentes en las formaciones. Las formaciones que contienen mayor concentración de sales radioactivas son las lutitas, siendo más radiactivas que las arenas, calizas y las dolomitas. Sin embargo, hay unas excepciones de un alto nivel radioactivo que no siempre es asociado con la presencia de minerales arcillosos, tales casos como son las sales potásicas.

Anteriormente con el dispositivo convencional de RG era difícil determinar si la radiación Gamma de la lutita se debía a un elemento en particular, debido a que poseía varios elementos radioactivos. No obstante, actualmente existen nuevos dispositivos con espectrometría de RG que pueden fraccionar las cantidades de Uranio, Potasio y el Torio.

El perfil RG se mide en unidades API, habitualmente las arenas limpias y carbonatos tienen niveles de radiactividad entre 15 a 20 unidades API, mientras que en las lutitas la fluctuación es entre 120 y 140 unidades API.

En las formaciones fracturadas el perfil RG puede mostrar anomalías, por altos niveles de radiactividad explicados por la depositación de sales durante las circulaciones de aguas en las fracturas.

Perfil de rayos gamma espectral

Este perfil muestra la concentración individual de los elementos Uranio, Torio y Potasio presentes en la formación. Cuando las rocas reservorio contienen isótopos radiactivos no asociados con arcillas se corre Gamma Ray Espectral, la cual identifica la fuente y mide la contribución de cada uno de los elementos.

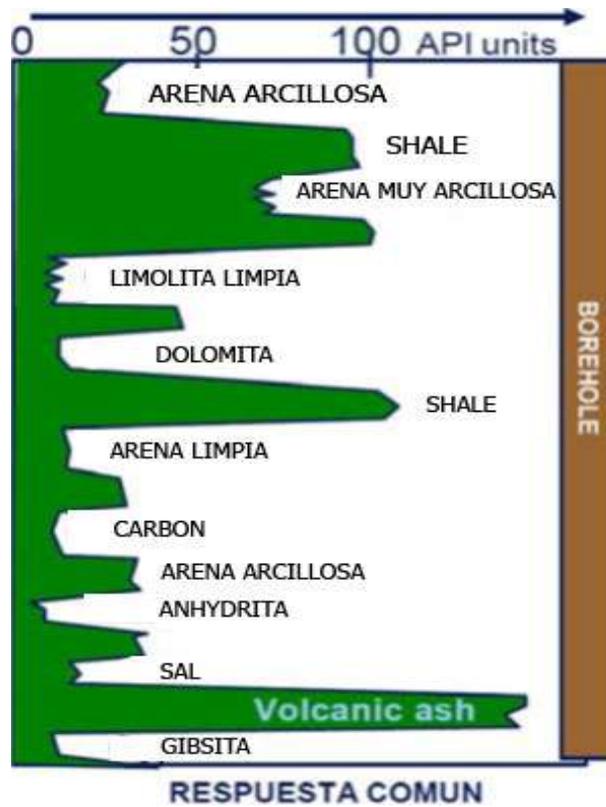


Figura 11. Perfil de rayos gamma espectral.
Fuente. Registros eléctricos, es.scribd.com

- Areniscas ricas en micas, feldespato potásico, glauconita, fosfatos.
- Areniscas con contenido de minerales arcillosos.
- Areniscas/calizas donde se ha precipitado/adsorbido Uranio.

La proporción de K, Th y U para la calibración es de 4% K, 22 ppm Th, 12 ppm U = 200 API.

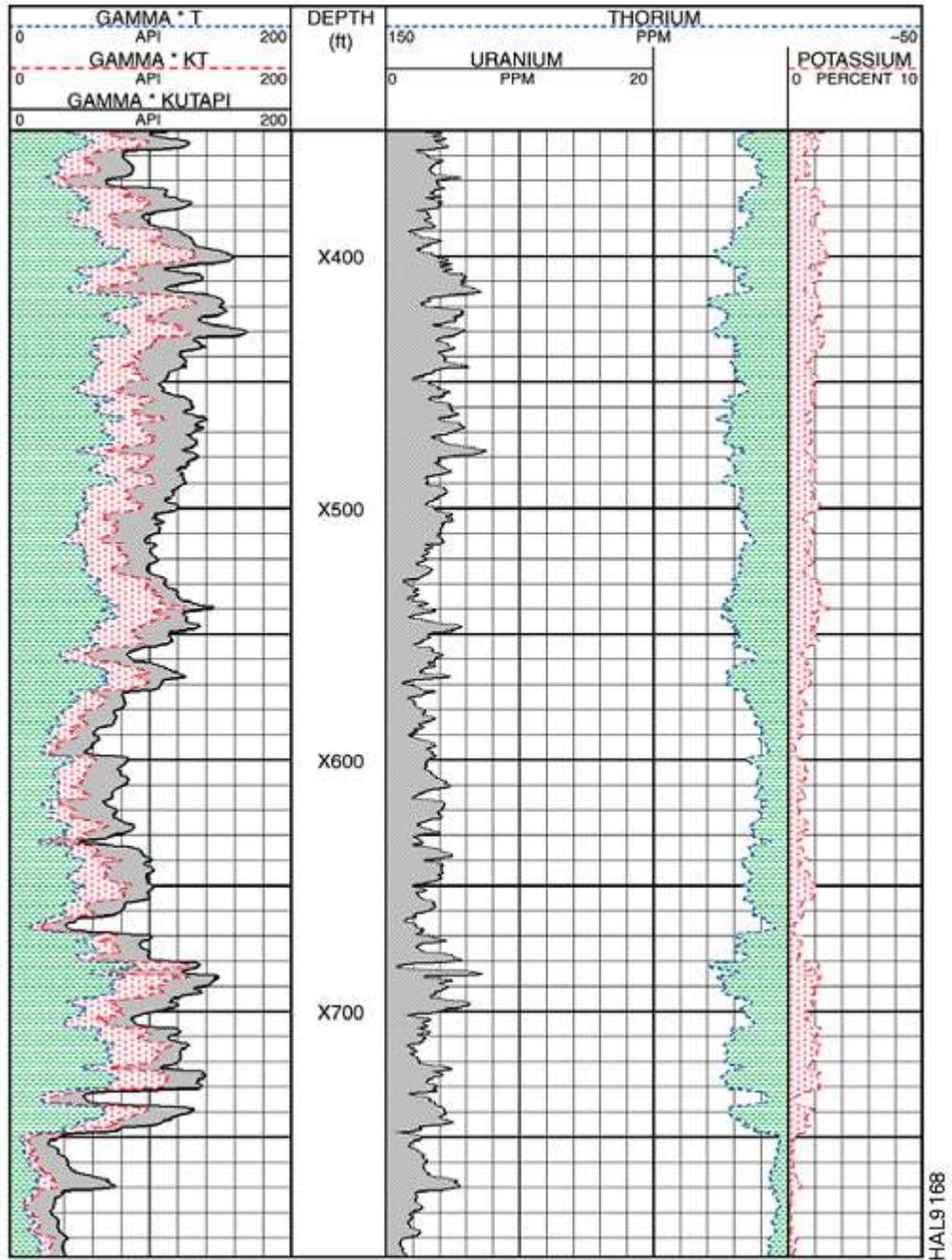


Figura 12. Perfil de rayos gamma.

Fuente. Registros eléctricos, es.scribd.com

1.4BROCAS DE PERFORACION, ASPECTOS GENERALES.

Principio de funcionamiento.

Para realizar el proceso de perforación, las brocas funcionan basándose en dos principios básicos:

- Romper o fallar la roca presente en la formación venciendo su resistencia, utilizando esfuerzos de corte.
- Comprimir la roca hasta romperla.

Teniendo en cuenta el mecanismo en que se base las brocas, se clasifican en dos tipos en dos tipos: de conos móviles (RollerCone Bit) y cortadores fijos (FixedCutters).

El mecanismo principal de las brocas de conos móviles, ya sea de dientes o insertos, es de triturar por impacto. La acción de la broca se realiza mediante la incrustación de sus dientes en la formación y posteriormente en el corte de la roca al desplazarse dentro de ella. Esto causa que la roca falle por compresión.

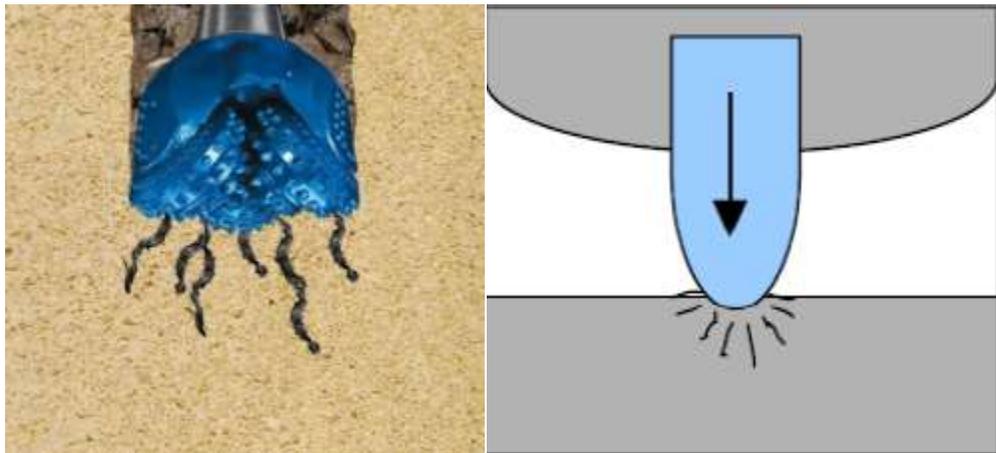


Figura 13. Fallo de la roca por esfuerzos compresivos.

Fuente: PEMEX. Guía para la selección de brocas.

Por otra parte, las brocas de cortadores fijos (FixedCutters) poseen un mecanismo de acción por corte, raspando la roca. Esto causa que la roca falle por esfuerzos de corte.

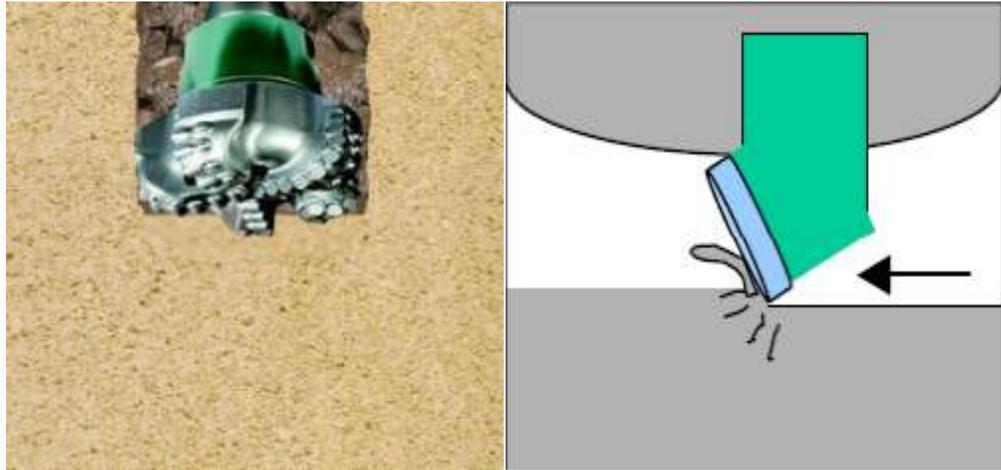


Figura 14. Fallo de la roca por esfuerzos de corte.

Fuente: PEMEX. Guía para la selección de brocas.

Tipos de Brocas

Las brocas usadas para la perforación de pozos petroleros, son clasificadas de acuerdo a su diseño y principio de acción; mencionadas anteriormente como brocas de cortadores fijos, brocas de conos móviles y algunas brocas especiales que combinan principios de acción o diseño.

Las brocas de cortadores fijos no tienen piezas móviles, consta de fragmentos en forma de aleta fijas a la matriz de la broca y que rotan de manera simultánea a la sarta de perforación. Las brocas de conos móviles constan de cómo su nombre lo indica conos provistos de dientes o insertos con la capacidad de rotar en su eje, mientras la sarta de perforación esrotada. Poseen 2 o más conos en su estructura pero las más comunes y de mayor uso tienen tres conos y son llamadas tricónicas.

Las brocas especiales son usadas para operaciones específicas tales como corazonamiento, ensanchamiento, fresado o rimado de sólidos del pozo (milling), Etc.

1.4.1. BROCAS DE CONOS MÓVILES.

Clasificación

Las brocas de conos móviles llamadas triconicas (Comúnmente utilizadas en la industria) cuentan con tres conos cortadores que giran sobre su propio eje. Varían en su clasificación de acuerdo a su estructura de corte, pueden tener dientes de acero o insertos de carburo de tungsteno. También se clasifican de acuerdo a su sistema de rodamiento ya sea por cojinete estándar, cojinete sellado, de fricción, etc.

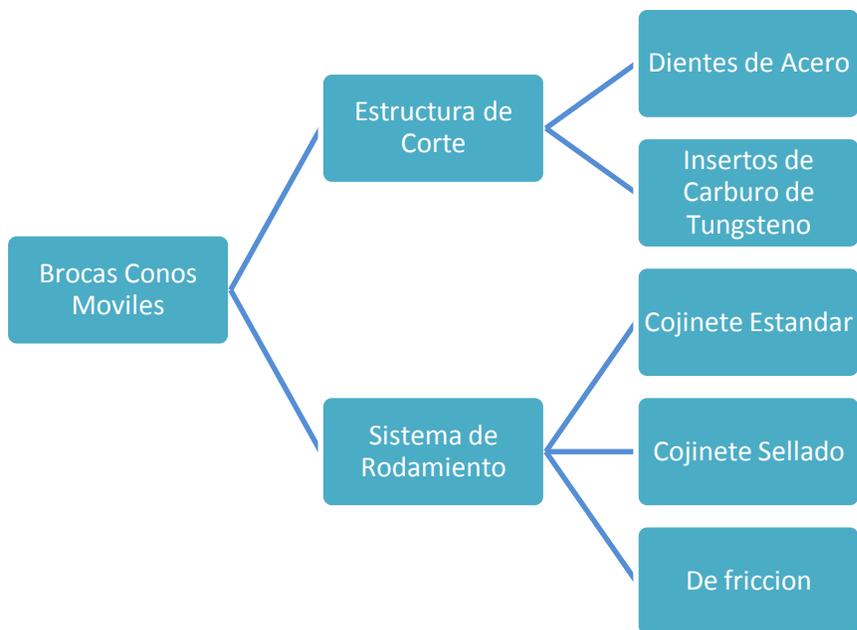


Figura 15. Diagrama de clasificación de las brocas de conos móviles.

Fuente: PEMEX. Guía para la selección de brocas.

Componentes

Para mejor entendimiento las brocas de conos móviles constan de cuatro componentes:

- Cuerpo de la broca.
- La estructura de corte.
- Los cojinetes.
- Sistema de compensación de presión.

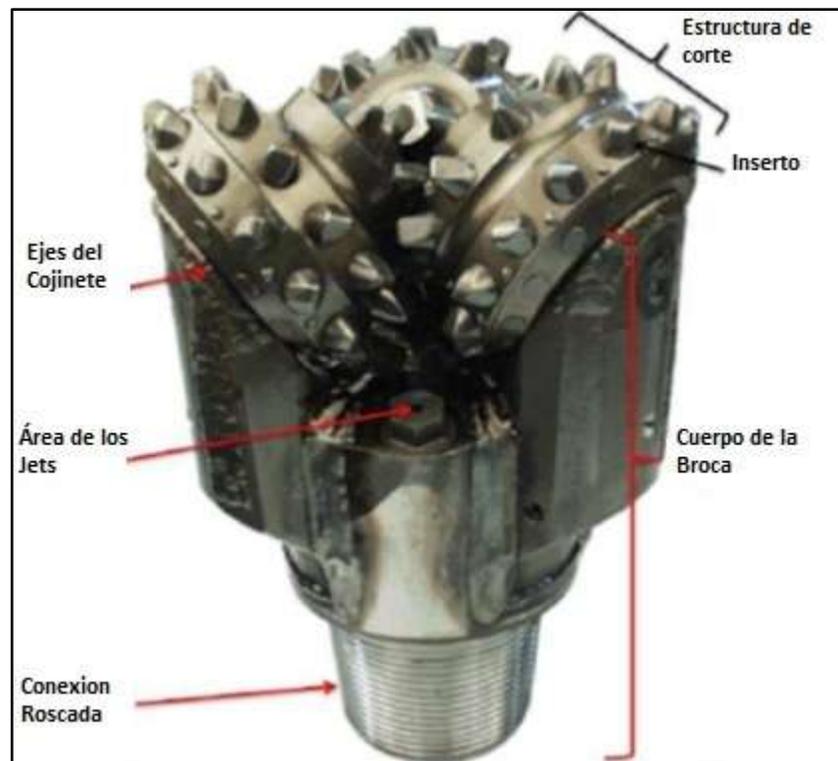


Figura 16. Componentes de una broca de conos móviles.

Fuente: Halliburton, Roller Cone Spec Sheets

Cuerpo de la broca

El cuerpo de la broca consta generalmente de una conexión roscada (tipo macho) que une la broca con la tubería de perforación. Los ejes de rodamiento en donde van montados los conos y el área de los jets a través de los cuales el fluido de perforación fluye para limpiar del fondo los recortes generados por la perforación.

Estructura de corte

La estructura de corte o cortadores, se encuentran ubicados sobre los cojinetes y estos sobre pernos los cuales constituyen el cuerpo móvil.

Las cargas radiales generadas por la perforación son absorbidas por los cojinetes y los rodamientos los cuales además de lidiar con las cargas mantienen los conos en su sitio.

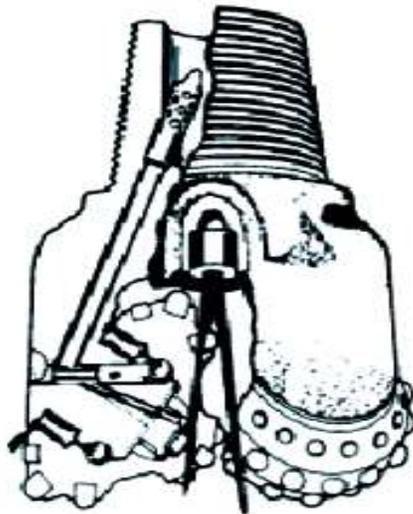


Figura 17. Representación cuerpo de la broca de conos móviles.

Fuente: IADC Drilling Manual. Ebook versión (V.11).

Los cortadores consisten en hileras circunferenciales de dientes que se extienden por la superficie del cono y se entrelazan con sus iguales de los conos adyacentes. Se distinguen entre 2 tipos de cortadores, de acero manufacturado desde una estructura cónica básica, de insertos ubicados mediante presión sobre la estructura del cono.

Cortadores de acero.

Para diseñar o seleccionar una broca con cortadores de acero debemos tener en cuenta la dureza de la formación, debido a que este tipo de brocas utilizan velocidad de rotación y no peso sobre la broca WOB para mantener una óptima ROP. Las formaciones se clasifican en Blandas, Medias y Duras las cuales poseen su correspondiente tipo de broca de cortadores de acero y características particulares.

Para el caso de una formación blanda el diseño de la broca se basa en rodamientos pequeños, una longitud de dientes mayor (dientes largos) y un amplio espaciado entre dientes para facilitar la acción de raspado. Generalmente para prolongar la vida útil de la broca se usan velocidades altas y bajo peso, opcional se realiza endurecimiento a los dientes o cortadores.

Para formaciones de dureza media el diseño se basa en dientes de tamaño reducido o mediano en mayores cantidades y por ende menor espaciado entre ellos, esto debido a la necesidad de aplicar mayor peso sobre la broca WOB, el diente corto ofrece mayor resistencia al peso y posible ruptura de este.

En las formaciones más duras se utilizan dientes más cortos y poco espaciados debido a la necesidad de aplicar mayor peso sobre la broca WOB, prevenir el desgaste de los dientes o ruptura de estos y mantener el ROP.

- En ocasiones se aplica endurecimiento a los dientes de acero disminuyendo el desgaste pero aumentando las probabilidades de astillamiento o rotura del diente.
- Para formaciones blandas alta velocidad y poco peso, formaciones medias velocidades medias y aumento en el peso, y formaciones duras baja velocidad y alto peso.

El siguiente esquema muestra una típica configuración para cada uno de los tipos de formación:

Tabla 3. Tipos de Brocas Triconicas de Dientes de Acero.Fuente: Halliburton, AEC RollerCone

BROCAS TRICONICAS CON DIENTES DE ACERO				
CLASIFICACIÓN DE LA BROCA	FORMACIÓN	ESTRUCTURA DE CORTE	TAMAÑO DEL RODAMIENTO Y ESPESOR DEL CONO	ACCIÓN DE CORTE
FORMACIÓN BLANDA	Formaciones suaves con baja resistencia compresiva y alta perforabilidad (lutita suave, arcilla, red beds, sales, caliza, formación no consolidada, etc.)	Dientes extendidos largos para una penetración profunda; Uso de diseños para remoción y limpieza	Rodamientos más pequeños, armazón del cono más delgado para dientes más largos que resulta en mayores ratas de penetración.	RASPAR
FORMACIÓN MEDIA-BLANDA	Formaciones suaves a medias o suaves con intercalaciones duras (firme, no consolidada, o lutita arenosa, red beds, sal, anhídrita, caliza suave, etc.)	eficiente, menos acero en el fondo para una rápida penetración.		

Elaborado por: López, C.

Continuación Tabla 3. Tipos de Brocas Triconicas de Dientes de Acero.

CLASIFICACIÓN DE LA BROCA	FORMACIÓN	ESTRUCTURA DE CORTE	TAMAÑO DEL RODAMIENTO Y ESPESOR DEL CONO	ACCIÓN DE CORTE
FORMACIÓN MEDIA-DURA	Formaciones medias a medias duras (lutita más firme, lutita arenosa, lutita alternada con intercalaciones de arena y caliza, etc.)	Dientes muy largos, poco espaciamiento, mayor dureza, resistentes al rompimiento.	Rodamientos y espesor del armazón del cono medio, para peso medios alto con longitud de diente media.	ASTILLAR
FORMACIÓN DURA	Formación media dura y abrasiva a formación dura (roca con alta resistencia compresiva, dolomita, caliza dura, lutita dura color pizarra, etc.)	Dientes pequeños, gruesos, poco espaciados, para una acción de triturado con máxima resistencia al quiebre.	Rodamientos grandes y espeso armazón del cono, para alto peso, necesario para superar formaciones más duras.	TRITURAR

Fuente: Halliburton, AEC RollerCone

Insertos de carburo de tungsteno.

Las brocas de insertos de carburo de tungsteno se diseñaron para perforar rocas de alta dureza que no podían ser perforadas por las brocas tricónicas convencionales de dientes de acero debido a que la ROP y su vida útil era muy baja, traduciéndose en mayor cantidad de brocas usadas y mayores costos.

La alta dureza que presentan los insertos de carburo de tungsteno y su forma de diente afilado característica logra perforar sin problemas las formaciones duras sin necesidad de aumentar los costos.

Para su diseño se tiene en cuenta el tipo de formación a perforar, de igual manera que con las brocas de dientes de acero usando diferentes tipos y configuraciones de insertos de acuerdo a la dureza de la roca presente.



Figura 18. Insertos de carburo de tungsteno.

Fuente: Halliburton, AEC RollerCone

Formaciones blandas: forma de diente afilado, diente formado, forma cónica alargada.

Formaciones medias: diente en forma de uña, forma cónica de mediana extensión, forma cónica de corta extensión.

Formaciones duras: forma cónica doble de 90 grados, forma cónica doble de 120 grados, forma esférica.



Figura 19. Tipos de Insertos de carburo de tungsteno.

Fuente: Halliburton, AEC RollerCone.

La siguiente tabla muestra las configuraciones más comunes para las formaciones blanda, media y dura.

Tabla 4.Tipos de Brocas Triconicas con insertos.

BROCAS TRICONICAS CON INSERTOS DE CARBURO DE TUNGSTENO				
CLASIFICACIÓN DE LA BROCA	FORMACIÓN	ESTRUCTURA DE CORTE	TAMAÑO DEL RODAMIENTO Y ESPESOR DEL CONO	ACCIÓN DE CORTE
FORMACIÓN BLANDA	Formaciones suaves con baja resistencia compresiva y alta perforabilidad(lutita suave, arcilla, red beds, sales, caliza, formación no consolidada, etc.)	Dientes extendidos largos para una penetración profunda	Rodamientos generalmente más pequeños, armazón del cono más delgado para dientes más largos que resulta en mayores ratas de penetración.	RASPAR
FORMACIÓN MEDIA-BLANDA	Formaciones suaves no consolidadas, con baja resistencia compresiva alta perforabilidad, arcilla lutita, sal, etc. Con intervalos considerables.	Inserto suave, máxima extensión de los insertos suaves dentados.	Inserto suave provee sección de armazón más delgada y rodamientos más pequeños	

Fuente: Halliburton, AEC RollerCone

Elaborado por: Trujillo, J.

Continuación Tabla 4. Tipos de Brocas Triconicas con insertos.

CLASIFICACIÓN DE LA BROCA	FORMACIÓN	ESTRUCTURA DE CORTE	TAMAÑO DEL RODAMIENTO Y ESPESOR DEL CONO	ACCIÓN DE CORTE
FORMACIÓN MEDIA	Segmento más suave de las formaciones duras (cal, dolomita, y lutita arenosa dura)	Inserto medio; Inserto tipo cuña de extensión media.	Inserto medio provee un armazón más grueso para mayor resistencia.	ASTILLAR
FORMACIÓN MEDIA DURA	Segmento medio de las formaciones duras (chert, granito, basalto, formaciones cuarzosas)			
FORMACIÓN DURA	Las más duras de las formaciones abrasivas y duras (cuarzo y arenas cuarzosas)	Inserto duro; de extensión media, con forma cónica, inserto con la máxima resistencia.	Inserto duro provee rodamientos largos con sección de la armazón gruesa.	TRITURAR

Fuente: Halliburton, AEC RollerCone

Cojinetes

Existen cuatro (4) tipos de diseños de rodamiento o cojinetes principales:

- Estándar con rodillos y balines.
- Sellados autos lubricados.
- De fricción auto lubricados.

El tipo del sistema depende de la economía de aplicación y en función del lugar y la formación a perforar.



Figura 20. Cojinete estándar abierto.

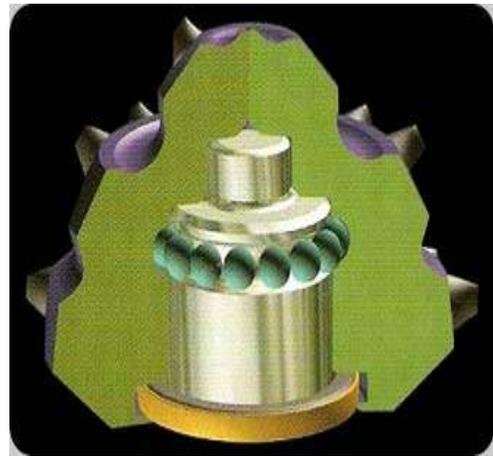


Figura 21. Cojinete sellado.

Fuente: PEMEX. Guía para la selección de brocas.

Cojinete Estándar

Rodamientos estándar o de serie, creados simultáneamente a las brocas de conos móviles, el rodamiento funcionaba de forma abierta y la lubricación la proporcionaba el fluido de perforación. Su duración variaba dependiendo las propiedades del fluido y el tiempo de maniobras. Un fluido de perforación inadecuado podría erosionar, dañar la estructura del cojinete, y un tiempo excesivo de trabajo causar fatiga en la estructura.

Cojinete sellado

Un rodamiento mejorado donde el fluido de lubricación se encuentra sellado dentro de la estructura, permitiendo que su operación se realice en un ambiente limpio. La estructura se compone del rodamiento, un sello y un depósito de grasa. El sello mantiene al lubricante dentro y al lodo fuera del rodamiento, mientras que el depósito de grasa provee de lubricante el interior del rodamiento y reemplaza el lubricante usado.

Cojinete por fricción

Usa sólidos bujes o conos de fricción directa. El rodamiento de fricción ofrece una ventaja mecánica distinta, sobre los rodamientos de rodillos y es que presenta un área de contacto más grande en el punto de carga del rodamiento, por lo tanto un menor desgaste.

Sistema de compensación de presión

El compensador de presiones mantiene igual presión tanto dentro como fuera del rodamiento. El flujo del fluido de perforación es a través de la tapa del depósito de grasa, la cual permite actuar a la presión hidrostática sobre el diafragma flexible. El movimiento del diafragma resulta en una igualación de presiones de todo el sistema y asegura que el lubricante alimente los rodamientos.

1.4.2 BROCAS DE CORTADORES FIJOS

A diferencia de brocas de conos móviles, estas no poseen partes móviles (conos), básicamente es una sola estructura. Su principio de acción es mediante cizallamiento con un continuo movimiento de raspado. Se clasifican según el material del cuerpo de la broca y según el material de los cortadores.

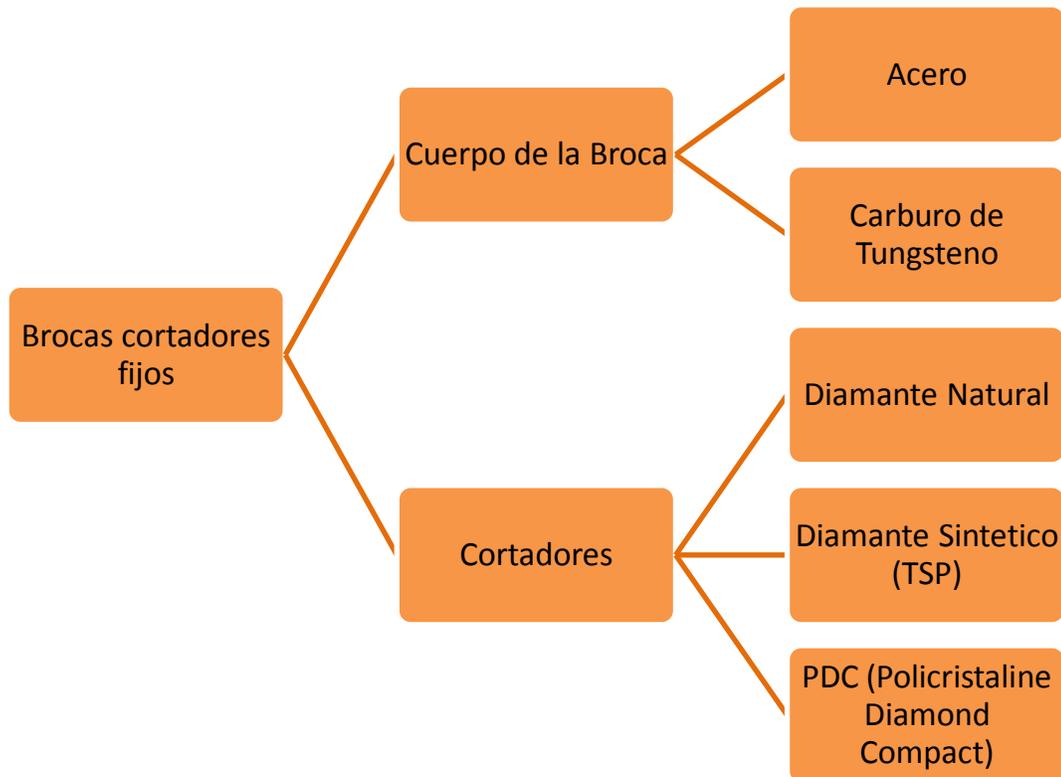


Figura 22. Diagrama de clasificación de las brocas de cortadores fijos.

Fuente: PEMEX. Guía para la selección de brocas.

Componentes

En las brocas de cortadores fijos se encuentra en la sección superior de la broca una ranura para la conexión, la cual no se requiere en la broca de conos móviles. Se observan ranuras de alivio, recesos de la cara y los colectores que son todos ampliamente definidos como áreas huecas. Están diseñados para ayudar a los recortes perforados y al fluido a moverse a través de la cara de la broca y el calibre “gauge” y luego ascender por el espacio anular. Los conductos de fluido se diseñan para optimizar la hidráulica disponible, para la mayor limpieza y enfriado de la broca.

El calibre “gauge” está localizado encima del perfil y se observa que es una extensión del perfil de la broca. La forma vertical y cilíndrica del calibre ofrece a la broca estabilización manteniendo el diámetro mientras se perfora.

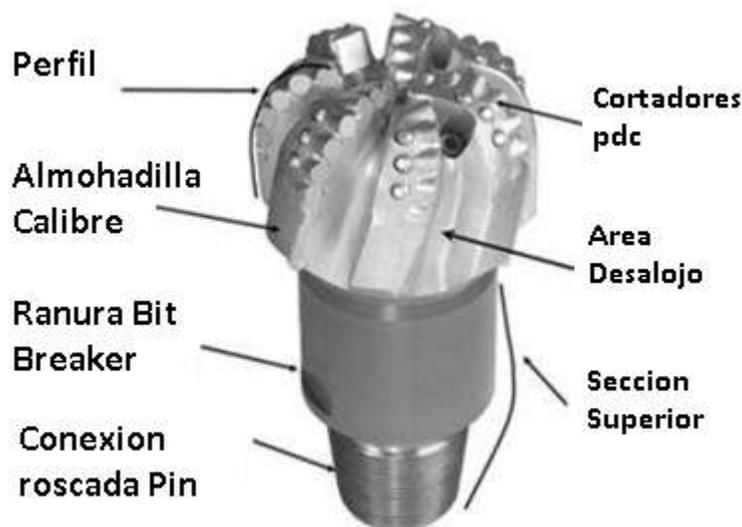


Figura 23. Representación componentes de una broca cortadores fijos.

Fuente: Halliburton, Level 1 Fixed Cutter

El perfil se divide en diferentes secciones, una de ellas el hombro, es el área del perfil de una broca de cortadores fijos, que se encuentra entre la nariz y la sección del calibre, debido a su ubicación esta área puede presentar una gran cantidad de desgaste ya que los elementos de corte en el hombro se mantienen en contacto por más tiempo que los elementos de corte cerca del centro de la broca durante la perforación. La nariz y el cono, también forman parte del perfil y es la primera porción de este, está ubicada cerca del fondo de la pieza. La nariz unida a los conos y hombros, es generalmente convexa. En la *figura 24* y *figura 25* se observan la representación de una broca PDC de cuerpo entero.

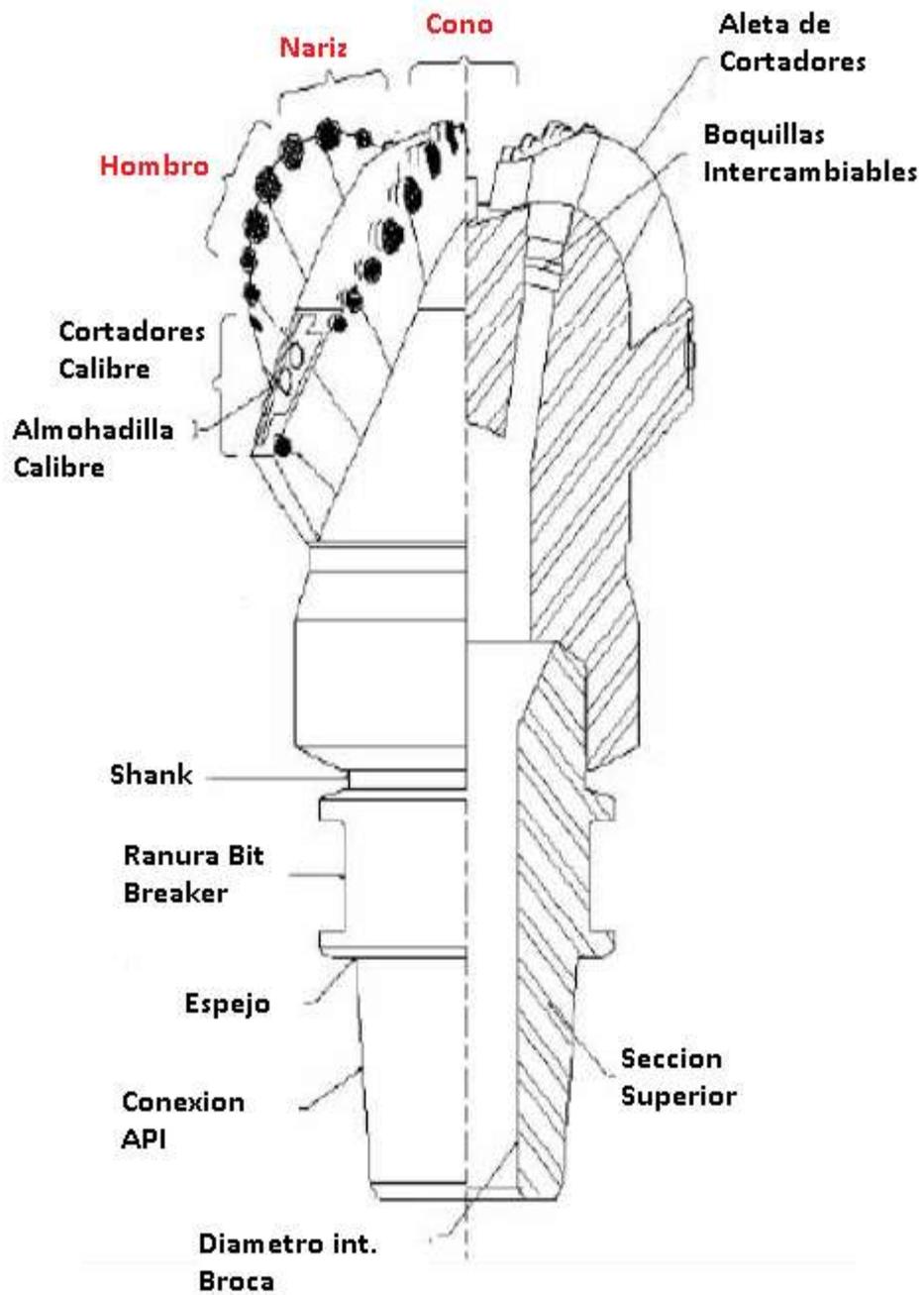


Figura 24. Broca PDC de cuerpo de acero.
 Fuente: Halliburton, Level 1 Fixed Cutter

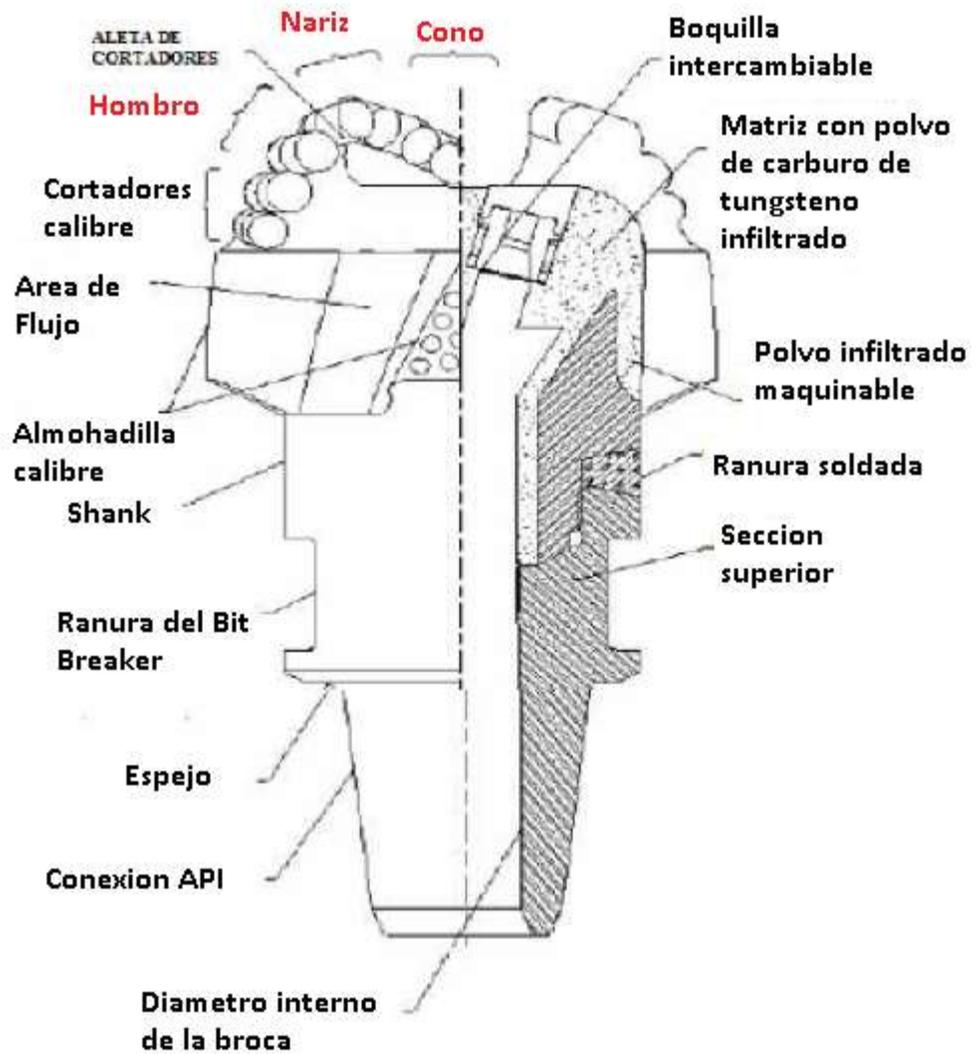


Figura 25. Broca PDC de cuerpo de carburo de tungsteno (Matriz).

Fuente: Halliburton, Level 1 Fixed Cutter

Cortadores

Los elementos cortadores describen el material fijado en la cara de la broca. Entre los materiales más comunes tenemos diamante sintético o diamante natural esto dependiendo de los requisitos del trabajo de perforación. El tamaño de los cortadores interviene en la agresividad de estos y por ende la durabilidad del cuerpo de la broca. Las características del tamaño del cortador influyen en cuatro (4) aspectos, relacionados con el desempeño de la broca, la agresividad, durabilidad, respuesta direccional y el volumen de diamante. La siguiente figura muestra la relación de los cuatro aspectos.

Características Tamaño del Cortador		
13mm	16mm	19mm
-	Agresividad	+
+	Respuesta direccional	-
+	Durabilidad	-
-	Volumen Diamante	+

Figura 26. Características tamaño del cortador.

Fuente: Halliburton, Level 1 Fixed Cutter

En la actualidad se pueden encontrar brocas de cortadores fijos, con tres tipos de cortadores:

Brocas con cortadores fijos de diamante natural

Como su nombre lo indica este tipo de brocas usan cortadores elaborados de diamante natural (forma cristalina y pura de carbón redondeados), su tamaño varía dependiendo el tipo de diseño de la broca y la dureza de la formación, entre más dura y abrasiva sea la formación más pequeños serán los diamantes a usar. El uso de estas brocas está limitado a formaciones de alta dureza o para trabajos de corazonamiento.

Brocas con cortadores de diamante térmicamente estable (TSP)

Este tipo de brocas utiliza cortadores elaborados de diamante sintético. Pequeños cortadores triangulares, su densidad, tamaño y tipo son características que determina cada fabricante. Son usadas para perforar formaciones altamente duras y su uso es más común en la industria que las de diamante natural.

Brocas con cortadores de compacto de diamante policristalino (PDC)

Este tipo de brocas utiliza diamante sintético. El diseño de sus cortadores es en forma de pastillas(compacto de diamante) y son montados en el cuerpo de los cortadores de la broca; a diferencia de las brocas de diamante natural y las TSP, el diseño hidráulico se realiza con sistemas de jets para lodo, al igual que las brocas tricónicas.

Las brocas PDC cuentan con una gran gama de tipos y fabricantes, para cada tipo de formación, desde muy suaves hasta muy duras, y diferentes diámetros según lo requiera el diseño del pozo.

Perfil de una Broca de Cortadores Fijos

El “perfil” describe las distintas formas de cada aleta de la broca. El perfil de una broca de cortadores fijos inicia en el calibre (“gauge”) e incluye la cara de la broca (corona), cortadores, cursos de fluidos y áreas de flujo. El diseño de los perfiles se basa en aumentar el rendimiento de la broca modificando su longitud o forma.

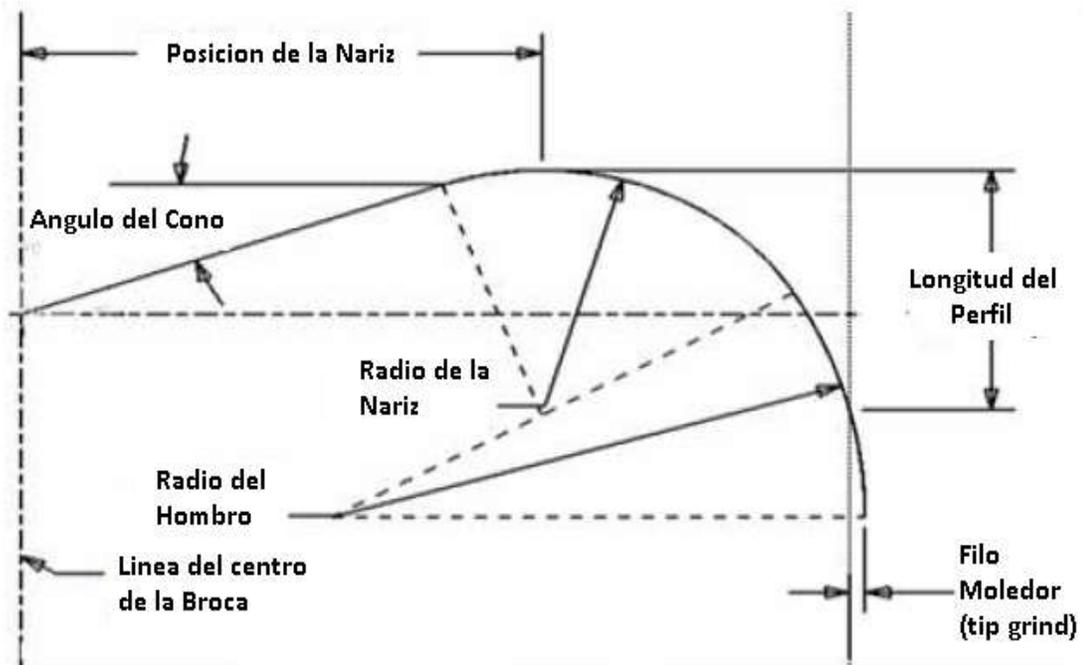


Figura 27. Perfil de una broca de cortadores fijos.

Fuente: Halliburton, Level 1 Fixed Cutter

Para distinguir en sus características un perfil se deben tener en cuenta las siguientes relaciones:

$$\text{Tamaño del perfil} = \frac{\text{Diámetro de la Broca}}{\text{Altura del Perfil}}$$

$$\text{Profundidad del cono} = \text{en función del ángulo del cono}$$

Según el ángulo del cono, poco profundo (<25°) o profundo (>25°) existen diferentes tamaños de perfiles.

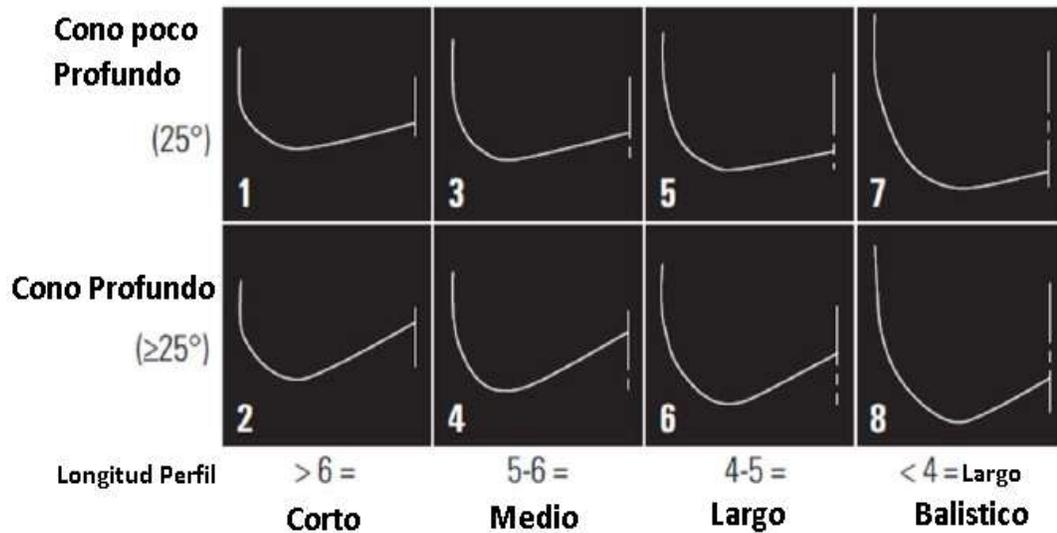


Figura 28. Tipos de Perfiles.

Fuente: Halliburton, the Bit Runner's Handbook

En figura anterior se observa que el Perfil No.2 tiene menos dientes debido a que tiene una altura de perfil más pequeño, proporcionando una menor área de contacto para los cortadores en comparación con el perfil 8. Se concluye que la broca con perfil 2 es más agresiva gracias a su perfil pero será menos durable que la broca con Perfil No.8.

Las características del tamaño del perfil intervienen en 4 aspectos relacionados con el desempeño de una broca: la agresividad, la respuesta direccional, la durabilidad y la densidad de los cortadores. En la siguiente figura se observa la relación de estos aspectos.

Características Perfil Broca		
Perfil 1	Perfil 2	Perfil 5
+	← Agresividad →	-
+	← Respuesta direccional →	-
-	→ Durabilidad/Densidad →	+

Figura 29. Características Perfil Broca Cortadores Fijos.

Fuente: Halliburton, the Bit Runner's Handbook

Según su perfil una broca se puede comportar de dos formas, de manera agresiva o no agresiva.

- **Agresiva:** una broca menos estable, posee un perfil corto, ángulo de cono poco profundo y un radio de nariz corto.
- **No agresiva:** broca más estable, perfil largo, ángulo de cono más profundo y radio de nariz grande.

1.4.3 NOMENCLATURA Y CÓDIGO IADC

Cada compañía fabricante de brocas posee un código para nombrar el tipo de broca y sus características, de acuerdo a un código generalizado expedido por la asociación internacional de contratistas de perforación IADC; que con el fin de evitar la confusión de productos de los diferentes fabricantes y unificar la nomenclatura, estandarizo dicho código en el cual se simbolizan con letras y números, generalmente 3 o 4, presenta el tipo y las características de la broca.

Código IADC para brocas de cortadores fijo

La IADC desarrolló un sistema de codificación para nombrar e identificar las brocas de cortadores fijos, el cual comprende todos los tipos de brocas de esta clase. El código se basa en 4 caracteres, una letra y tres (3) dígitos de los cuales el primer dígito y una letra se usan para distinguir el material de el que está construido y constituido el cuerpo de la broca.

M: Matriz.

S: Acero (Steel).

D: Diamante.

El segundo caracter es un número que indica la formación para la que es apta la broca del material a perforar. El tercer carácter es un número que muestra la estructura de corte de la broca. La siguiente tabla muestra las equivalencias para cada uno de los caracteres.

Tabla 5. Código IADC, tipo de formación y estructura de corte, broca PDC.

Tipo de formación		Estructura de corte	
1	MUY SUAVE	2	PDC, 19mm
		3	PDC, 13mm
		4	PDC, 8mm
2	SUAVE	2	PDC, 19mm
		3	PDC, 13mm
		4	PDC, 8mm
3	SUAVE A MEDIA	2	PDC, 19mm
		3	PDC, 13mm
		4	PDC, 8mm
4	MEDIA	2	PDC, 19mm
		3	PDC, 13mm
		4	PDC, 8mm
5	No código		
6	MEDIA A DURA	1	Diamante natural
		2	TSP
		3	Combinación
7	DURA	1	Diamante natural
		2	TSP
		3	Combinación
8	EXTREMADAMENTE DURA	1	Diamante natural
		2	Diamante impregnado

Fuente: PEMEX. Brocas e Hidráulica de Perforación.

Elaborado por: Trujillo, J.

El último carácter (4), un número identifica el perfil de la broca.

Tabla 6. Código IADC para el Perfil de una broca PDC.

Perfil de la broca	
1	Corta (fishtail)
2	Perfil corto
3	Perfil medio
4	Perfil largo

Fuente: PEMEX. Brocas e Hidráulica de Perforación.

Elaborado por: Trujillo, J.

Ejemplos de nomenclatura IADC para una broca PDC cortadores fijos.

•Broca de cortadores fijos PDC, cuerpo de acero, diseñada para formaciones de dureza media, tiene un código IADC S332.

S - cuerpo en acero.

3 -tipo de formación media.

3 – estructura de corte PDC de 13mm.

2- perfil de la broca bajo.

•Broca de cortadores fijos PDC, cuerpo en matriz, diseñada para formaciones de dureza media tiene un código IADC M434.

S - cuerpo en Matriz.

4 - tipo de formación media.

3 – Estructura de corte PDC de 13mm.

4 - Perfil de la broca largo.

•Broca de cortadores fijos, cuerpo en diamante, diseñada para formaciones de dureza alta tiene un código IADC D713.

D - cuerpo en Diamante.

7- tipo de formación dura.

1– Estructura de corte diamante natural.

3- Perfil de la broca medio.

Código IADC para brocas de conos móviles

En el código IADC para las brocas de conos móviles, los 3 primeros caracteres son numéricos y designan la serie, el tipo y diseño de los rodamientos de la broca.

Para el primer carácter tenemos el tipo de diente o inserto (serie):

Tabla 7. Código IADC para el tipo de diente o inserto Brocas conos móviles.

Tipo de incrustación	
Dientes de acero	1-3
Insertos	4-8

Fuente: PEMEX. Brocas e Hidráulica de Perforación.

Elaborado por: López, C.

El segundo carácter indica el tipo y aumenta con respecto a la dureza de la formación:

Tabla 8. Código IADC, característica y tipo de formación, broca triconica.

BROCAS TRICONICAS DE DIENTES		
Serie	Características de la formación	Tipo de formación
1	Formaciones suaves baja resistencia compresiva	1- Lutita muy suave. 2- Lutita suave. 3- Lutita medianamente suave. 4- Caliza y Lutita de dureza media.
2	Formaciones medias-duras Alta resistencia compresiva	1, 2- Caliza de dureza media 3- Caliza de dureza Media-Dura
3	Formaciones duras Formaciones semi-Abrasivas	1- Caliza dura 2- Caliza dura / dolomita 3- Dolomita dura

Fuente: PEMEX. Brocas e Hidráulica de Perforación.

Elaborado por: López, C.

Continuación Tabla 8. Código IADC, característica y tipo de formación, broca triconica.

BROCAS TRICONICAS DE INSERTOS		
Serie	Características de la formación	Tipo de formación
4	Formaciones suaves Baja resistencia compresiva	1- Lutita muy suave. 2- Lutita suave. 3- Lutita medianamente suave. 4- Caliza y Lutita de dureza media.
5	Formaciones suaves–Medias Duras Baja resistencia compresiva	1.- Lutita muy suave -arena 2.- Lutita suave -arena 3.- Lutita medianamente suaves
6	Formaciones medianamente duras –duras Alta resistencia compresiva	1- Caliza de dureza media - lutita 2- Caliza medianamente dura 3- Caliza medianamente dura
7	Formaciones duras, semi- abrasivas y abrasivas	1- Caliza dura-dolomita 2- Arenisca dura-dolomita 3- Dolomita dura
8	Formaciones extremadamente duras y abrasivas	1- Chert duro 2- Chert muy duro 3- Granito duro

Fuente: PEMEX. Brocas e Hidráulica de Perforación.

Elaborado por: López, C.

El tercer carácter del código indica el diseño del rodamiento/calibre:

Tabla 9. Código IADC, diseño del rodamiento, broca triconica.

Rodamiento/Calibre	
1	Rodamientos no sellados de rodillos estándar
2	Rodamiento de rodillos enfriado por aire
3	Rodamiento no sellado de rodillos con calibre protegido
4	Rodamiento sellado de rodillos
5	Rodamiento sellado de rodillos con calibre protegido
6	Rodamiento sellado de fricción
7	Rodamiento sellado de fricción con calibre protegido

Fuente: PEMEX. Brocas e Hidráulica de Perforación.

Elaborado por: López, C.

El siguiente caracter de letras es usado como el cuarto para indicar características adicionales de diseño. Es opcional y no siempre se usa. Si la broca tiene más de una característica adicional, entonces se usa la letra del código para designar la característica principal o se usan dos o más letras del código.

A - Aplicación con aire

B - Sello especial del rodamiento

C - Chorro central

D - Control de desviación

E - Boquillas con tubos alargados

G - Protección extra calibre /cuerpo

H- Aplicación horizontal/direccional

J - Deflexión de Chorro

L - Asiento estabilizador

M - Aplicaciones con motor

S - Modelo estándar de dientes de acero

T - Broca de dos conos

W - Estructura de corte aumentada

X - Inserto en forma de cincel

Y - Inserto en forma cónica

Z - Insertos de otras formas

Ejemplos de código IADC para brocas Tricónicas.

Una broca de dientes de acero sellada, diseñada para formaciones medias-duras usa un código IADC 224S.

2 - Serie 2

2- Tipo 2

4 - Rodamiento sellado de rodillos

S - Modelo de dientes de acero estándar

Si esta broca está equipada con boquillas extendidas, entonces el código IADC sería 124E.

Una broca para formaciones blandas de insertos y rodamientos de fricción con los insertos en forma de dientes usa un código IADC 427Y.

4 - Serie 4

2 - Tipo 2

7 - Rodamiento de fricción con calibre “gauge” protegido

Y - Insertos en forma de cónica.

Una broca para formaciones medias de insertos y Rodamiento sellado de rodillos con los insertos en forma de dientes usa un código IADC 534X.

5 - Serie 5

3 - Tipo 3

4 - Rodamiento sellado de rodillos

X - Insertos en forma de cincel.

1.4.4 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Y CALIFICACIÓN IADC PARA EL DESGASTE DE LAS BROCAS

Con el fin de maximizar el uso de las brocas y evaluar el grado de daño, la IADC estableció un sistema de clasificación base, con el cual las compañías pueden conocer de forma precisa el estado de las brocas y reportar de manera objetiva por qué una broca fue sacada o una corrida fue terminada.

El sistema de clasificación IADC se puede aplicar a todos los tipos de brocas de conos móviles, así como todos los tipos de cortadores fijos. Brocas con dientes de acero, insertos de carburo de tungsteno, cortadores de diamantes naturales o sintéticos también pueden ser descritas con este sistema.

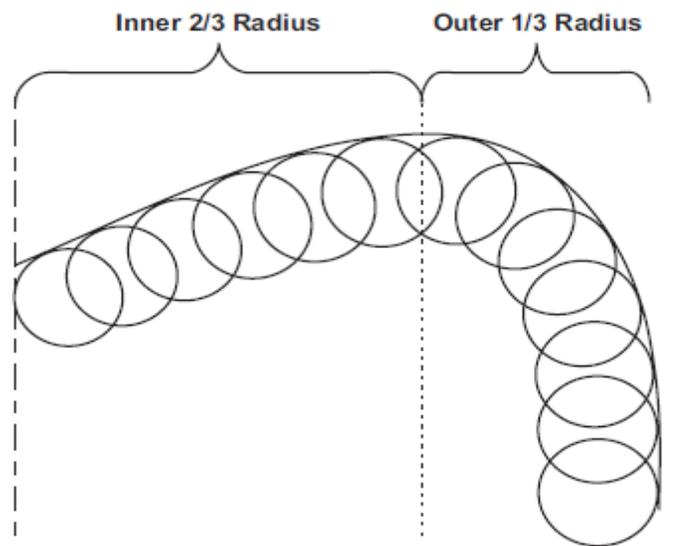
Calificación IADC, broca de cortadores fijos

Para calificar y caracterizar el desgaste de una broca de cortadores fijos se utiliza el estándar IADC conformado por 8 columnas donde mediante números y letras se evalúa la condición en la que sale la broca.

Columna 1: parte interna (I-Inner) se usa para reportar la condición del elemento cortante interno que no toca la pared del hueco ($2/3$ del diámetro del elemento), se califica mediante una escala lineal que va de 0 a 8.

Columna 2: parte externa (O-Outer) se usa para reportar la condición del elemento cortante remanente ($1/3$ del diámetro del elemento) el cual se encuentra tocando la pared del hueco, se califica mediante una escala lineal que va de 0 a 8.

Para ambos ítems **columna 1** y **columna 2** el grado de calificación revela la condición del elemento siendo 0 (cero) desgaste nulo o no desgaste, aumentando progresivamente, y 8 (ocho) total desgaste o ausencia de la estructura del elemento cortante.



**Inner / Outer Body Designation
PDC Bits / Impregnated Bits**

Figura 30. Ubicación de los insertos en una broca PDC.

Fuente: GeoDiamond Dull Grading Manual.

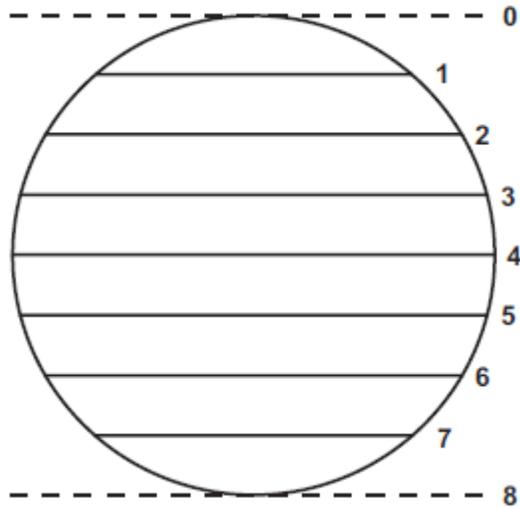


Figura 31. Escala desgaste del elemento cortante.

Fuente: GeoDiamond Dull Grading Manual.

Columna 3: Características desgaste - Estructura de corte, se utiliza un código de dos letras en donde se indica la mayor característica de desgaste presentada en la estructura de corte, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 10. Características y nomenclatura del desgaste.

CARACTERÍSTICAS DEL DESGASTE			
*BC	Broken cone-cono roto	LT	Lost teeth/cutter-Cortador perdido
BT	Broken teeth/cutter-Cortador roto	*LC	Lost cone-Cono perdido
BU	Balled up bit-Embolamiento	NO	No característica de desgaste
CR	Cored	OC	Off center wear- Desgaste
CT	Chipped teeth/cutters-Cortadores astillados	PN	Plugged Nozzle /Flow Passage-Boquilla tapada

Continuación Tabla 11. Características y nomenclatura del desgaste.

CARACTERÍSTICAS DEL DESGASTE			
*CC	Cracked cone- Cono Partido	PB	Pinched bit- Estrellamiento
*CD	Cone dragged- Cono Atascado	RG	Rounded Gauge- Calibre Redondeado
CI	Cone interference- Interferencia de Conos	SD	Shirttail damage-Daño en el shirttail
ER	Erosión	SS	Self-sharpening wear- Desgaste en Forma de Afilamiento
FC	Flat crested wear- Diente/Inserto Aplanado	TR	Tracking-Rastreo
HC	Heath checking- Sobrecalentamiento	WO	Washedout bit-Lavado
JD	Junk damage-Daño por basura	WT	Worn teeth/cutter-cortadores gastados
LN	Lost nozzle-Boquilla perdida		
	*, Mostrar número del cono, ubicación del cono. Solo se ingresa una característica de desgaste.		

Fuente: GeoDiamond Dull Grading Manual.

Elaborado por: López, C.

Columna 4: Localización del desgaste, se usa un código de una letra indicando la ubicación donde ocurre la mayor característica de desgaste.

- C – Cono (Cone): cortadores de todas las filas ubicadas en la zona del cono, son los más centrales.
- N – Nariz (Nose): Son los elementos de corte que están en la nariz de la broca, los más cercanos al fondo del hueco.
- T - Flanco (Taper): Aquellos elementos de corte que están en la línea entre la nariz y el hombro de la broca.
- S - Hombro (Shoulder): Elementos de corte que se encuentran en la parte lateral más externa de la broca.
- G – Calibre (Gauge): Aquellos elementos de corte que se encuentran en la parte del calibre de la broca.
- A - Todas las Zonas (All areas): Abarca toda la estructura de corte de, también para indicar que dos o más zonas han sido afectadas.

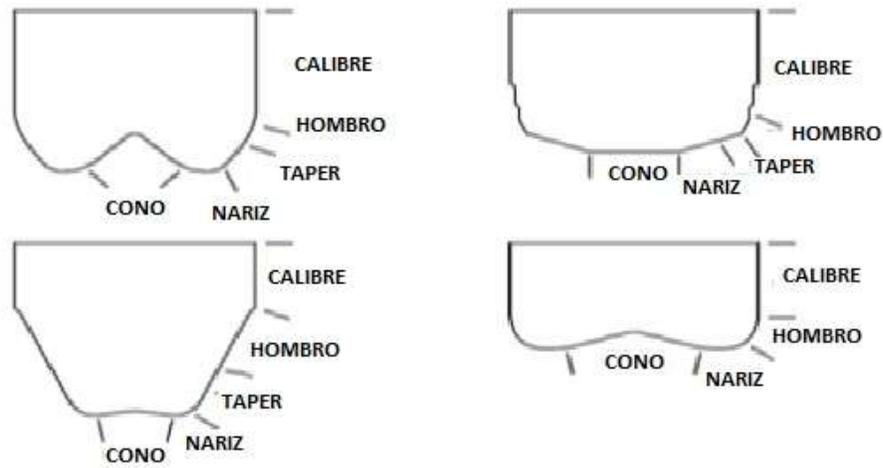


Figura 32. Localización del desgaste en una broca de cortadores fijos.

Fuente: GeoDiamond Dull Grading Manual.

Columna 5: Rodamientos-Sellos, Esta casilla solo se utiliza para brocas de cono móvil. Se marcara con “X” para todas las brocas de cortadores fijos.

Columna 6: Se utiliza para indicar la condición del calibre de la broca. Se usa “IN” si la broca todavía se encuentra en el rango de calibre. De otra forma, la cantidad de la broca que está por debajo de calibre se indica con el 1/16 de pulgada más cercano.

Columna 7: Se utiliza para registrar otras características de desgaste como evidencia secundaria de desgaste de la broca. La evidencia secundaria puede identificar la causa de la característica de desgaste primaria en la tercera columna.

Columna 8: Razón de salida de la broca, se usa para registrar la razón por la cual la broca fue sacada o termino su corrida.

Tabla 12. Razones y nomenclatura para salida de la broca.

RAZÓN DE SALIDA DE LA BROCA			
BHA	Change Bottom Hole Assembly- Cambiar el ensamblaje de fondo	LIH	Left in Hole- Pérdida o dejada en el hueco
CM	Condition Mud- Condición del lodo	LOG	Run Logs- Corrida de registros
CP	Core point- Punto de Core	PP	Pump Pressure- Presión de la bomba
DMF	Downhole Motor Failure- Falla de motor de fondo	PR	Penetration Rate- Rata de penetración
DP	Drill Plug- Perforar tapón	RIG	Rig Repair- Reparación taladro
DSF	Drill String Failure- Falla de la sarta de perforación	TD	Total Depth/Casing Depth- Profundidad total /Profundidad de casing

DST	Drill Stem Testing- Prueba de la sarta de perforación	TQ	Torque- Torque
DTF	Downhole Tool Failure- Falla de herramienta de fondo	TW	Twist Off- Desconexión de la sarta
FM	FormationChange- Cambio de formación	WC	Weather Conditions- Condición del clima
HP	HoleProblems- Problemas en el hueco	WO	Washout in Drill String- Lavado de la sarta
HR	Hours- Horas de perforación		

Fuente: Halliburton, the Bit Runner's Handbook

Tabla 13. Cuadro estándar de la IADC para calificar el desgaste de una broca.

Estructura de corte				Condición rodamientos	Calibre	Otras características de desgaste	Razón de salida de la broca
Interna	Externa	Característica de desgaste	Ubicación desgaste				
Col 1	Col 2	Col 3	Col 4	Col 5	Col 6	Col 7	Col 8

Fuente: Halliburton, the Bit Runner's Handbook

Calificación IADC de una broca de conos móviles

Para calificar y caracterizar el desgaste de una broca de conos móviles se utiliza el estándar IADC conformado por 8 columnas donde mediante números y letras se evalúa la condición en la que sale la broca.

Columna 1: Parte interna (I-Inner), se usa para reportar la condición del elemento cortante interno que no toca la pared del hueco. Se califica mediante una escala lineal que va de 0 a 8.

Columna 2: Parte externa (O-Outer), se usa para reportar la condición del elemento cortante que se encuentra tocando la pared del hueco. Se califica mediante una escala lineal que va de 0 a 8.

Para ambos ítems **columna 1** y **columna 2** el grado de calificación revela la condición del elemento siendo 0 (cero) desgaste nulo o no desgaste, aumentando progresivamente, y 8 (ocho) total desgaste o ausencia de la estructura del elemento cortante.

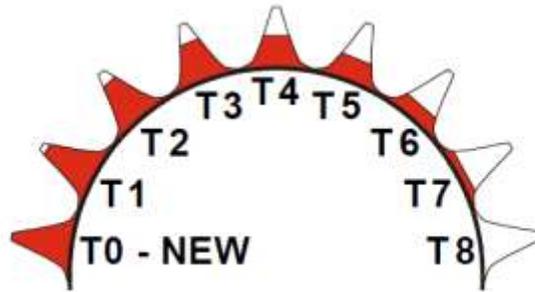


Figura 33. Medidas para la longitud del diente.

Fuente: GeoDiamond Dull Grading Manual.

Columna 3: Características desgaste - Estructura de corte, se utiliza un código de dos letras en donde se indica la mayor característica de desgaste presentada en la estructura de corte, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 14. Nomenclatura, características del desgaste.

CARACTERÍSTICAS DEL DESGASTE			
*BC	Broken cone-cono roto	LT	Lost teeth/cutter-Cortador perdido
BT	Broken teeth/cutter-Cortador roto	*LC	Lost cone-Cono perdido
BU	Balled up bit-Embolamiento	NO	No característica de desgaste
CR	Cored	OC	Off center wear- Desgaste
CT	Chipped teeth/cutters-Cortadores astillados	PN	Plugged Nozzle /Flow Passage-Boquilla tapada
*CC	Cracked cone- Cono Partido	PB	Pinched bit- Estrellamiento
*CD	Cone dragged- Cono Atascado	RG	Rounded Gauge- Calibre Redondeado
CI	Cone interference- Interferencia de Conos	SD	Shirttail damage-Daño en el shirttail
ER	Erosión	SS	Self-sharpening wear- Desgaste en Forma de Afilamiento
FC	Flat crested wear- Diente/Inserto Aplanado	TR	Tracking-Rastreo
HC	Heath checking-Sobrecalentamiento	WO	Washedout bit-Lavado
JD	Junk damage-Daño por basura	WT	Worn teeth/cutter-cortadores gastados
LN	Lost nozzle-Boquilla perdida		
*, Mostrar número del cono, ubicación del cono. Solo se ingresa una característica de desgaste.			

Fuente: GeoDiamond Dull Grading Manual.

Columna 4: Localización del desgaste. Se usa un código de una letra indicando la ubicación donde ocurre la mayor característica de desgaste.

G - Fila del Calibre (Gauge Row) - aquellos elementos de corte que tocan la pared del hueco

N - Fila de la Nariz (NoseRow) - aquellos elementos de corte que son más centrales en la broca

M - Fila Media (Middlerow) - son los elementos que están entre la nariz y el calibre

A - Toda las Filas (All) - abarca las tres filas mencionadas anteriormente.

Generalmente, el cono # 1 contiene el elemento de corte más central. Los conos # 2 y # 3 siguen en un giro a la derecha.

Sin embargo, la determinación precisa del cono #1, en cualquier broca de conos móviles por examen visual, no siempre es posible.

Columna 5: Rodamientos-Sellos. Esta casilla se utiliza para evaluar la condición de los rodamientos y el montaje del sello.

Rodamientos no sellados: se evalúa con escala lineal 0-8 estimando la vida útil del rodamiento.

Rodamientos sellados: para el caso de los rodamientos sellados se evalúade la siguiente manera:

E- Seals effective- sello efectivo

F- Seals failed- sello fallido

N- Not able to grade- incapaz de calificar

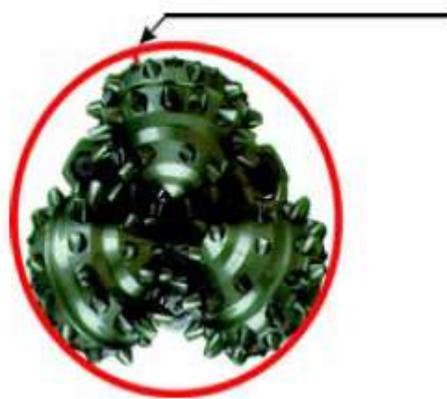
- Si cualquiera de los componentes en el montaje ha fallado, entonces el código es F.
- Si alguna parte del rodamiento está expuesta o ha desaparecido, se considera una (F) de montaje ineficaz.
- Utilice N si no puede determinar el estado de ambos componentes

Ítems para comprobar la hora de determinar la eficacia sello / rodamiento

- Habilidad para rotar el cono.
- Elasticidad del cono.
- Chirrido en el cono.
- Sonidos internos.
- Escape de grasa.
- Quemadura de shale.
- Empaquetamiento shale.
- Brechas - cara trasera o en la garganta.

Columna 6: Se utiliza para indicar la condición del calibre de la broca. Se usa “IN” si la broca todavía se encuentra en el rango de calibre. De otra forma, la cantidad de la broca que está por debajo de calibre se indica con el 1/16 de pulgada más cercano.

Para evaluar la condición se utiliza la regla de los 2/3, la cual consiste en requerir la utilización de un anillo calibrador, donde este es halado para que contacte dos de los conos en sus puntos más extremos. Luego la distancia entre el punto más extremo del tercer cono y del anillo calibrador se multiplica por 2/3 y se redondea al 1/16 de pulgada más cercano para dar la correcta reducción del diámetro.



Distancia medida

**Cantidad fuera de calibre =
Distancia medida X 2/3**

Figura 34. Forma de medir el calibre de la broca.

Fuente: GeoDiamond Dull Grading Manual.

Columna 7: Se utiliza para registrar otras características de desgaste como evidencia secundaria de desgaste de la broca. La evidencia secundaria puede identificar la causa de la característica de desgaste primaria en la tercera columna.

Columna 8: Razón de salida de la broca. Se usa para registrar la razón por la cual la broca fue sacada o terminó su corrida.

Tabla 15. Razones y nomenclatura para salida de la broca.

RAZÓN DE SALIDA DE LA BROCA			
BHA	Change Bottom Hole Assembly- Cambiar el ensamblaje de fondo	LIH	Left in Hole- Pérdida o dejada en el hueco
CM	Condition Mud- Condición del lodo	LOG	Run Logs- Corrida de registros
CP	Core point- Punto de Core	PP	Pump Pressure- Presión de la bomba
DMF	Downhole Motor Failure- Falla de motor de fondo	PR	Penetration Rate- Rata de penetración
DP	Drill Plug- Perforar tapón	RIG	Rig Repair- Reparación taladro

Fuente: Halliburton, the Bit Runner's Handbook

Continuación Tabla 14. Razones y nomenclatura para salida de la broca.

RAZÓN DE SALIDA DE LA BROCA			
DSF	Drill String Failure- Falla de la sarta de perforación	TD	Total Depth/Casing Depth- Profundidad total /Profundidad de casing
DST	Drill Stem Testing- Prueba de la sarta de perforación	TQ	Torque- Torque
DTF	Downhole Tool Failure- Falla de herramienta de fondo	TW	Twist Off- Desconexión de la sarta
FM	FormationChange- Cambio de formación	WC	Weather Conditions- Condición del clima
HP	HoleProblems- Problemas en el hueco	WO	Washout in Drill String- Lavado de la sarta
HR	Hours- Horas de perforación		

Fuente: Halliburton, the Bit Runner's Handbook

Tabla 16. Cuadro estándar de la IADC para calificar el desgaste de una broca.

Estructura de corte				Condición rodamientos	Calibre	Otras características de desgaste	Razón de salida de la broca
Interna	Externa	Característica de desgaste	Ubicación desgaste				
Col 1	Col 2	Col 3	Col 4	Col 5	Col 6	Col 7	Col 8

Fuente: Halliburton, the Bit Runner's Handbook

Características especiales en el desgaste de los cortadores

Usualmente las brocas presentan desgaste homogéneo en los cortadores, sin embargo, algunas veces por malas prácticas de perforación generan características de daño como: anillamiento (RO), inserto aplanado (FC), astillamiento (CT), cortador roto (BT), entre otros.

Anillamiento: Se considera anillamiento cuando una fila circular de cortadores se encuentra desgastada, rota o perdida.



Figura 35. Anillamiento en una broca PDC.

Fuente: GeoDiamond Dull Grading Manual.

Inserto aplanado: El desgaste plano en el inserto es una reducción en altura sobre un elemento de corte. Las superficies desgastadas serán "planas" y tendrán poco o nada del radio en los flancos del diente o inserto. No ocurre en toda la estructura de corte.



Figura 36. Inserto aplanado.

Fuente: GeoDiamond Dull Grading Manual

Astillamiento: un elemento cortante se considera astillado si menos de 1/3 del elemento cortante no se encuentra o se ha perdido sin importar la causa. Generalmente sucede en el filo externo del elemento.

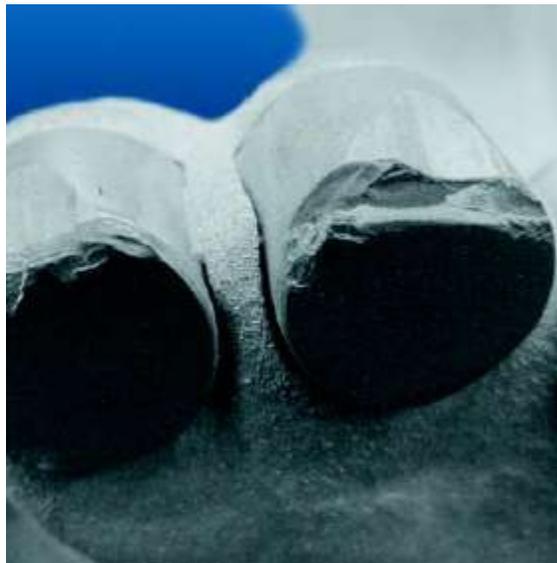


Figura 37. Astillamiento elemento cortante.

Fuente: GeoDiamond Dull Grading Manual

Cortador-Diente roto: Un elemento cortante se considera roto si más de 1/3 del elemento cortante no se encuentra o se ha perdido sin importar la causa.



Figura 38. Diente roto-Cortador roto.

Fuente: GeoDiamond Dull Grading Manual

2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE BROCA

Los principales objetivos a tener en cuenta para la selección de la broca son:

Rendimiento:

La importancia del rendimiento es que el personal perfore el pozo en el menor tiempo posible. Se busca, primordialmente, que la selección de la broca sea orientada a perforar más metros en un menor tiempo evitando el desgaste y el incremento en los costos de viaje.

Pozos direccionales:

En pozos direccionales es importante seleccionar las características adecuadas de las brocas, ya sea tricónicas o de diamante. Por lo general en este tipo de pozos se tienen secciones homogéneas prolongadas; se debe configurar la densidad de los cortadores, la cantidad de aletas, el control de la vibración y el calibre de la broca de manera apropiada.

Economía:

Este factor es elemental para la aprobación de los diseños de perforación, siempre y cuando el análisis de costos determine si es o no viable el uso de brocas especiales o básicas (diamante-conos móviles, respectivamente).

En el aspecto económico hay que hacer énfasis en los costos, porque se debe tener presente que las brocas tiene que prevalecer a un menor costo. Los Ingenieros de diseño y operación deben tener en cuenta cuándo una broca debe ser seleccionada para perforaciones de altas velocidades.

Sin embargo las brocas deben poseer las cualidades de satisfacer las necesidades básicas de su aplicación y de la compañía sin necesidad de incrementar abruptamente sus costos.

Restricciones de perforación

Cuando se va a iniciar un trabajo de perforación se deben tener en cuenta los posibles problemas que se puedan presentar por el mal uso de los datos de la broca. Para evitar esto se necesita de unos parámetros operativos que deben corresponder a una escala admisible para que la broca ofrezca los mayores beneficios.

Las restricciones de perforación más comunes son:

- **Limitaciones de peso sobre la broca (PSB).** Cuando se encuentran situaciones de PSB limitada. Una estructura de corte eficiente como un PDC tiene posibilidades de ofrecer un mayor ritmo de penetración (ROP) que una broca de conos móviles.

- **Escalas de revoluciones por minuto (RPM).** La velocidad que se espera utilizar en la broca. Indica los parámetros de vibración y resistencia al desgaste que se necesitarán para conservar un desgaste equitativo y prolongar su duración. Las brocas de diamante se pueden utilizar mejor que las brocas de conos móviles a altas velocidades de rotación.

- **Ampliación.** El ensanche excesivo puede gastar el calibre de una broca ya que las cargas de la broca se concentran en una superficie muy pequeña. Se debe considerar de igual forma la vibración lateral. La estructura de corte está sólo parcialmente

acoplada y por tanto, hay pocas oportunidades, o ninguna para que las características del diseño de la broca puedan funcionar.

•**Pozos profundos.** Los pozos con una profundidad muy alta pueden resultar en una cantidad excesiva de tiempos de viaje con respecto al tiempo de perforación. Debido a esto, la eficiencia de perforación se reduce. Se debe considerar una broca que ofrezca mayor duración y menos viajes. Para dar una mejor eficiencia general de la perforación.

Atributos del medio ambiente

En la cotidianidad los atributos del medio ambiente se pueden dividir en categorías como el tipo de roca, medio ambiente y operativos. El análisis de estas categorías indicarán los parámetros individuales de selección de brocas, sean de conos móviles o cortadores fijos. En los últimos años al momento de seleccionar una broca, se tiene en cuenta los análisis históricos para saber que broca se usó y bajo qué condiciones. Los atributos que representan el medio ambiente son:

-Tipo de roca

Se debe contar con datos precisos de la formación a perforar, el intervalo objetivo. Se podrá seleccionar con más facilidad la estructura óptima de corte y la densidad que se requiere para la aplicación, ya sea broca de conos móviles o cortadores fijos.

-Litología

La información litológica es necesaria para determinar la selección de brocas. Definido el tipo de roca se realiza la configuración de la broca teniendo en cuenta la formación

objetivo, manteniendo siempre alta la rata de penetración y evitando el desgaste de la broca. Sin embargo el tipo de roca ayuda a determinar el corte que se necesita para vencer la resistencia(al corte o compresión).

-Zonas de transición

Indica cambios en la dureza de la formación del intervalo objetivo. Este tipo de zonas provocan cargas disparejas en el perfil de la broca. La calidad y la densidad específica de los cortadores establecerán el criterio de selección.

-Tendencias de desviación

Se relaciona con formaciones de buzamiento y perforación de zonas de transición. El tipo de calibre de la broca es un criterio de selección fundamental cuando se presenta una desviación en el objetivo a perforar.

-Vibración

El control de las vibraciones forma parte integral de la tecnología y el diseño de las brocas. Influye en el rendimiento y duración de las brocas de perforación. También existen parámetros de selección de brocas que se refieren fundamentalmente al control de la vibración. La selección del calibre desempeña una función importante para determinar el nivel de control de la vibración de acuerdo con el diseño de broca ya sea de conos móviles o cortadores fijos.

3 ANALISIS DE LOS PARAMETROS DE SELECCIÓN DE BROCA

3.1 SELECCIÓN POR MEDIO DE REGISTROS FÍSICOS

Los registros físicos de los pozos son la más importante fuente de información sobre las características de las formaciones que se van perforan en un pozo. Existe una gran variedad de registros, diseñados para medir diferentes propiedades de las rocas. Los registros son: neutrones, rayos gamma, sónico y densidad. A continuación se describe cada uno de ellos.

Registro de rayos gamma

Este registro mide de manera continua la radioactividad natural de las formaciones penetradas por un pozo versus la profundidad, debido a que todas las rocas poseen radioactividad. El perfil RG se mide en unidades API, habitualmente las arenas limpias y carbonatos tienen niveles de radiactividad entre 15 a 20 unidades API, mientras que en las lutitas la fluctuación es entre 120 y 140 unidades API.

En las formaciones fracturadas el perfil RG puede mostrar anomalías, por altos niveles de radioactividad explicados por la deposición de sales durante las circulaciones de aguas en las fracturas.

En la siguiente figura se muestra el perfil común de un registro neutrónico y gamma ray. Véase figura 42-43.

Registro de neutrones

El neutrón posee carga neutra y su masa es igual a la del átomo de hidrogeno. Cuando se emplea para los registros de pozo los neutrones son emitidos por una fuente radioactiva a velocidades relativamente altas. Son emitidos hacia la formación y chocan con otros núcleos atómicos. Cada colisión produce una pérdida de energía o una disminución en la velocidad termal donde es absorbido por el núcleo de átomos tales como cloro, silicio, hidrogeno, etc. Los neutrones no pueden fluir fácilmente a través de formaciones que tengan alto contenido de hidrógeno, lo cual permite medir el hidrógeno de la formación. Esta medida se puede usar para computar la porosidad de la formación. *Véase figura 39.*

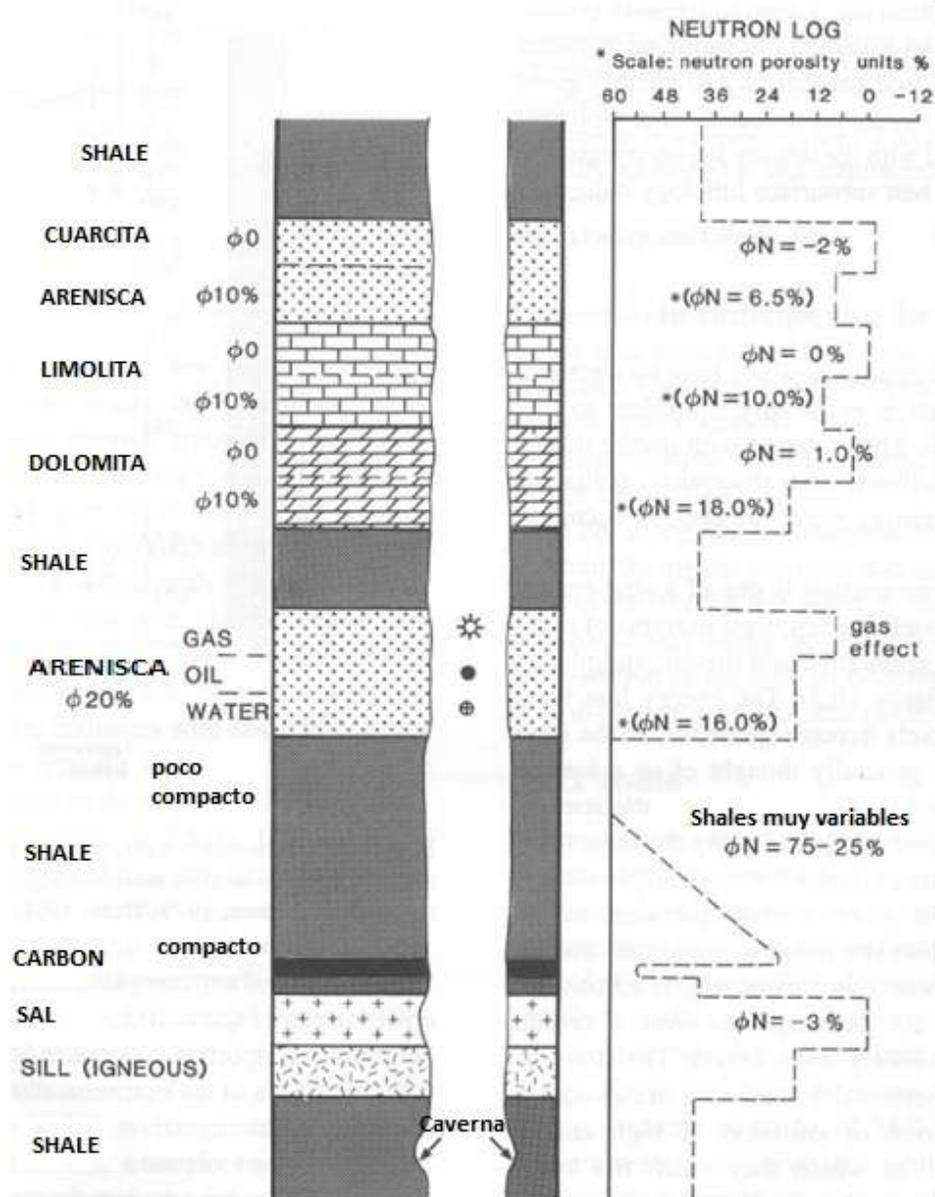


Figura 39. Registro de neutrones de diversos tipos de roca que muestra cómo la porosidad neutrón cambia con litología.

Fuente: Well Logging Introduction.

Registro de Densidad

Esencialmente es usado para la determinación de la porosidad de la formación, sin embargo también es usado con otros perfiles, por ejemplo, para evaluar formaciones litológicas complejas, formaciones arcillosas, identificación de minerales y detección de gas en los yacimientos. Este registro mide la densidad de electrones a través de la porosidad, ayudando a identificar la densidad de hidrocarburos. Véase figura 42.

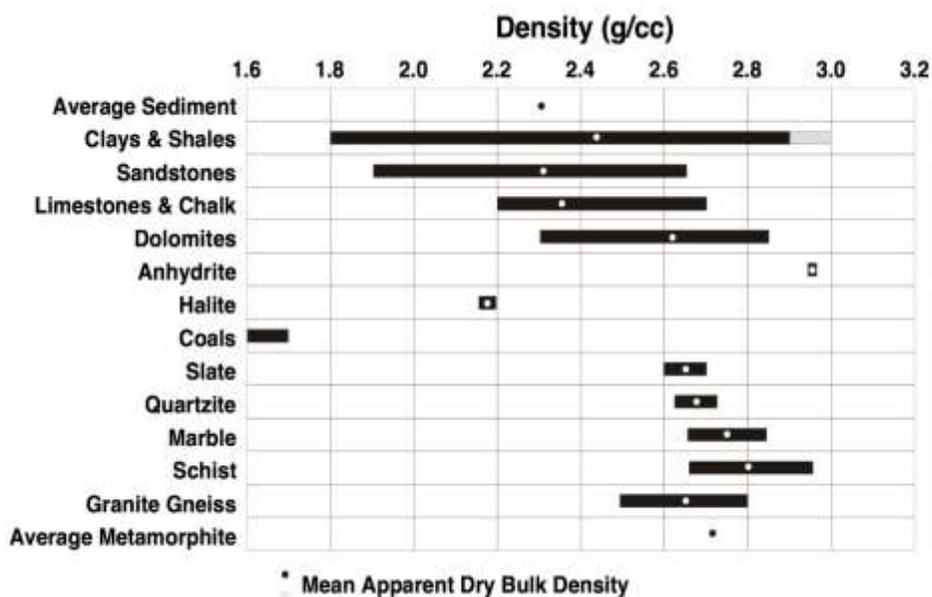


Figura 40. Tabla de densidad para los diversos tipos de litología.

Fuente: Well Logging Introduction.

Registro Sónico

Utiliza el principio de propagación de las ondas acústicas a través de la formación. Las ondas son generadas por un transmisor situado en la herramienta. Los receptores, ubicados en la herramienta, vigilan las ondas de retorno y calculan el tiempo de desplazamiento.

Mientras más corto sea el intervalo entre la emisión y la recepción de las ondas, más densa es la formación. Véase figura 44.

Material	Δt ($\mu\text{s}/\text{ft.}$)	V (ft./s)	V (m/s)
Compact sandstone	55.6 – 51.3	18000 – 19500	5490 – 5950
Limestone	47.6 – 43.5	21000 – 23000	6400 – 7010
Dolomite	43.5 – 38.5	23000 – 26000	7010 – 7920
Anhydrite	50.0	20000	6096
Halite	66.7	15000	4572
Shale	170 – 60	5880 – 16660	1790 – 5805
Bituminous coal	140 – 100	7140 – 10000	2180 – 3050
Lignite	180 – 140	5560 – 7140	1690 – 2180

Figura 41. Tabla de propiedades acústicas para los diversos tipos de litología.

Fuente: Well Logging Introduction.

Resistencia a la Compresión

Este método sirve para calcular la dureza de la roca y es muy útil para determinar cuándo se debe usar una broca PDC. Anteriormente, el análisis de la dureza de las rocas se basaba en el uso de registros de la velocidad de las ondas sonoras, obtenidos de registros sínicos, como medio para reemplazar la medición directa o el cálculo de la dureza. Últimamente se han desarrollado programas para obtener el valor correspondiente a la resistencia a la compresión de rocas no confinadas.

Algunas compañías de brocas han desarrollado un programa de cómputo que ayuda a seleccionar brocas PDC. Los datos de los registros se introducen en dichos programas en código ASCII. Esta información es la base para calcular la resistencia a la compresión de la roca a condiciones de fondo.

Estos programas definen con mayor precisión la dureza de la roca en lo referente a su dureza confinada, valor que se aproxima a la dureza de las formaciones en el fondo del pozo.

El programa genera gráficos, en formato de registros, que muestran trazas de los datos originales de los registros del lodo, la litología interpretada por el computador. *Véase figura 44.*

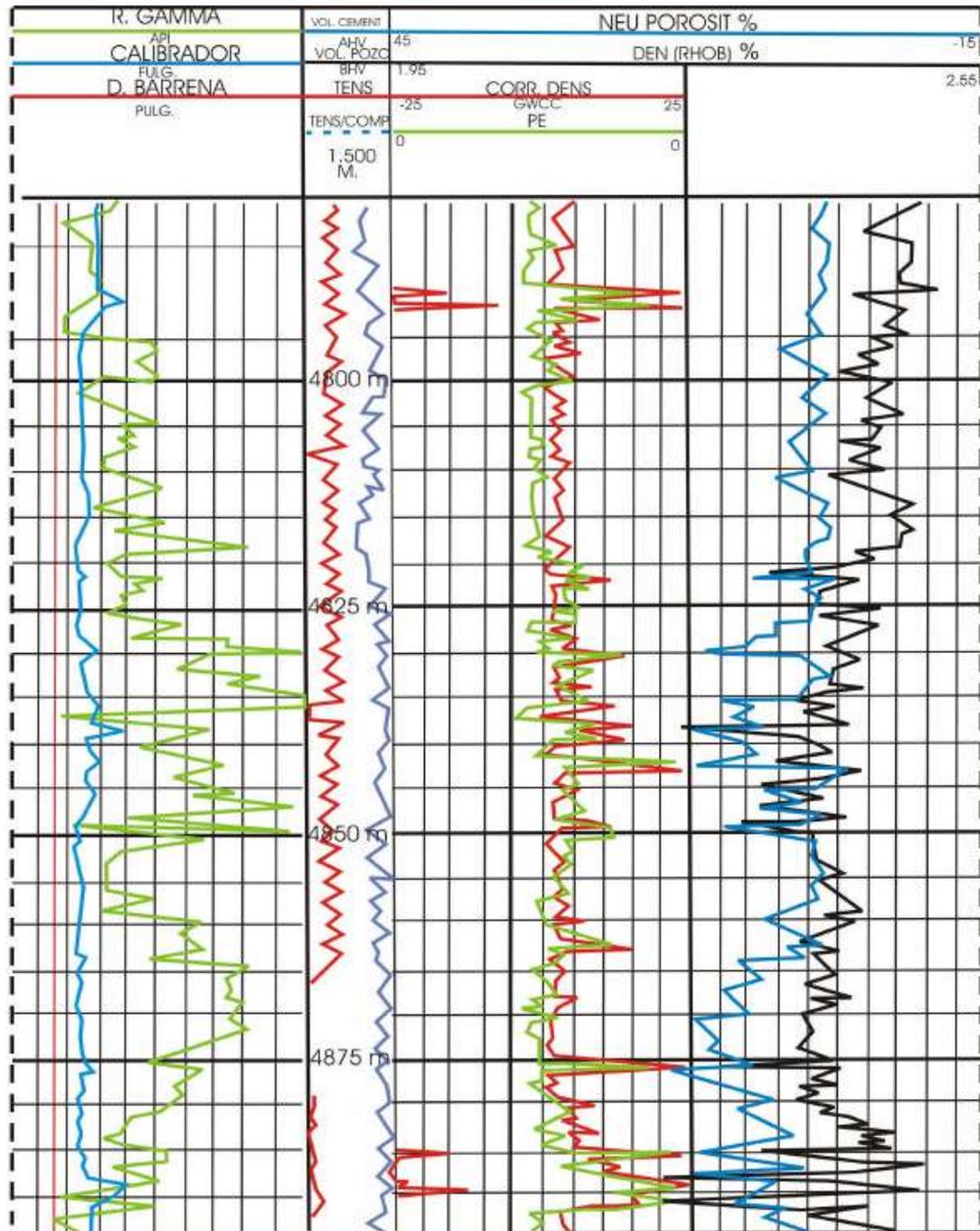


Figura 42. Registro Neutrónico, Gamma Ray y Densidad.

Fuente: PEMEX. Brocas e Hidráulica de Perforación.

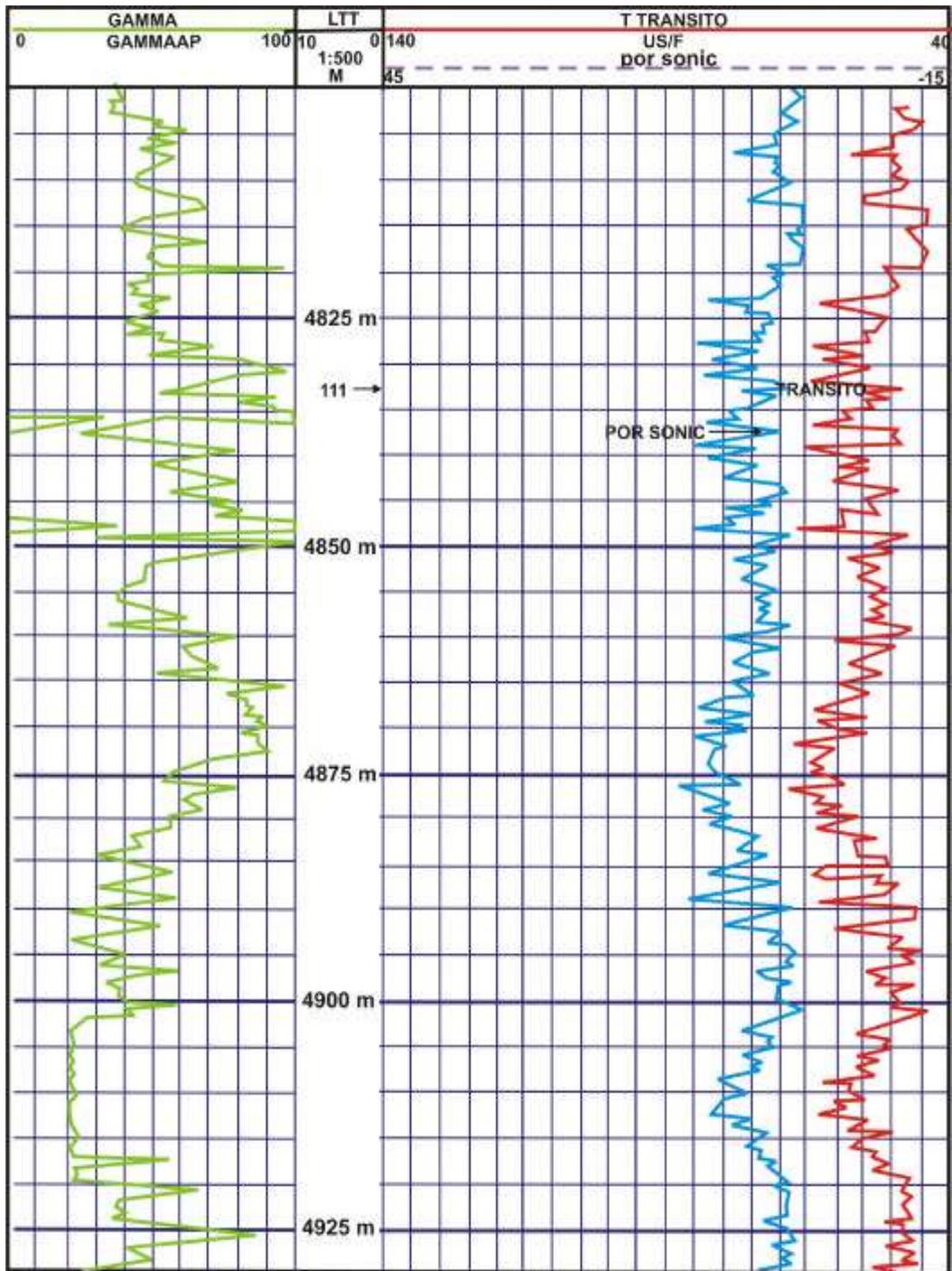


Figura 43. Perfil de un registro sónico.

Fuente: PEMEX. Brocas e Hidráulica de Perforación.

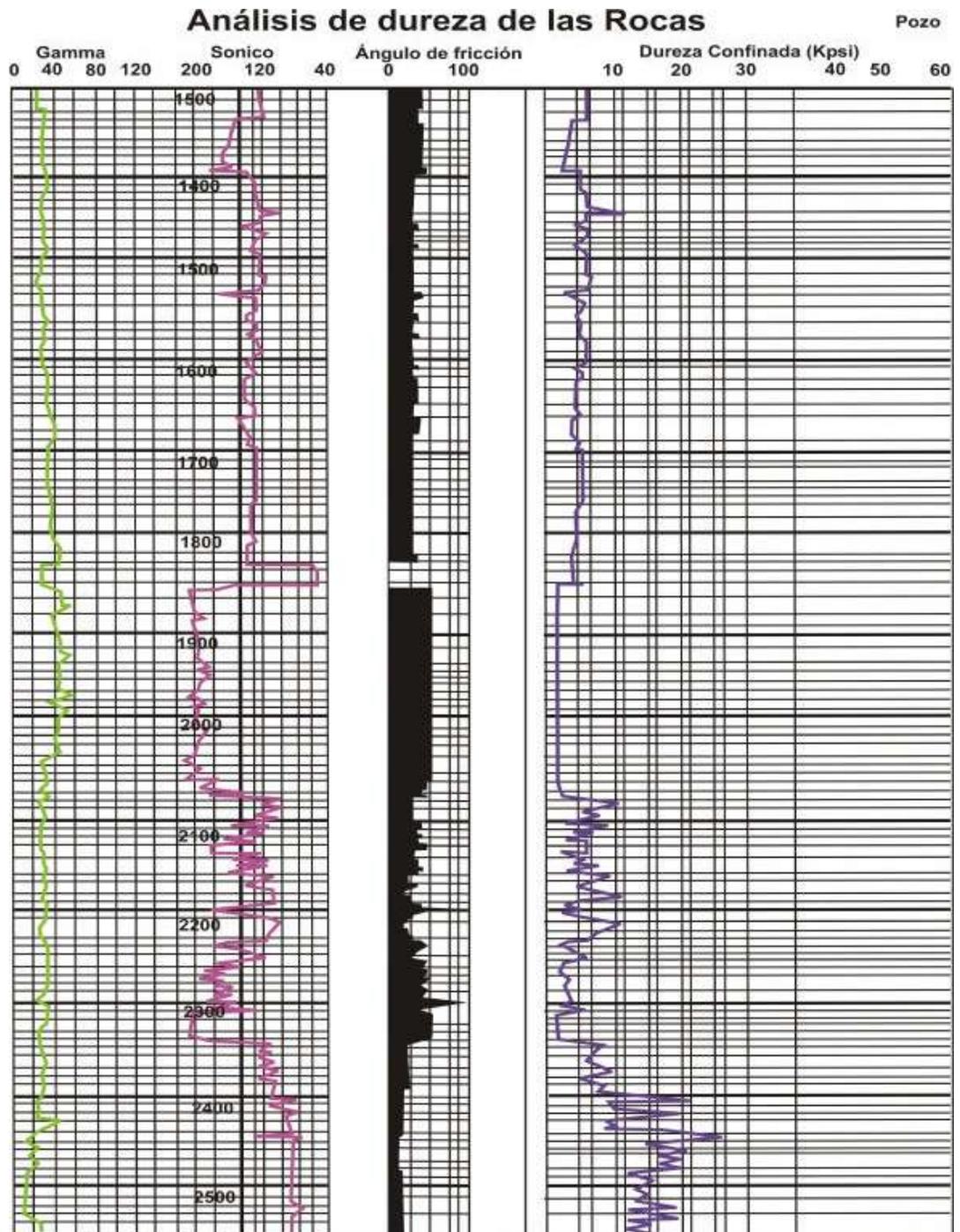


Figura 44. Registro de análisis de dureza de las rocas.

Fuente: PEMEX. Brocas e Hidráulica de Perforación.

3.2 SELECCIÓN EN FUNCIÓN DE LA FORMACIÓN A PERFORAR

Lo más importante al seleccionar una broca es tener una completa descripción de la formación que se va a perforar. El conocimiento de las propiedades físicas demuestra algunos indicativos sobre el tipo de brocas que se debe seleccionar en intervalos determinados. Si la formación es demasiado elástica, tendera a deformarse cuando se comprima, en lugar de fracturarse siendo posible que la broca no genere recortes fácilmente, y es recomendable usar brocas con cortadores grandes. Se debe tener en cuenta el mecanismo de perforación que se va a usar apropiado a la litología (esfuerzo compresivo o esfuerzo de corte).

Las brocas PDC se desarrollaron principalmente para perforar formaciones sedimentarias blandas a medianas que anteriormente se perforaban con brocas de conos móviles y con brocas con insertos de carburo de tungsteno. En las formaciones blandas, las brocas PDC logran rayas de penetración hasta tres veces más altas que usando brocas de conos móviles, que por tener partes móviles mostraban una tendencia a fallar con más frecuencia que una broca de cortadores fijos.

A continuación se muestran algunas de las formaciones más comunes encontradas al momento de realizar una perforación en orden ascendente dependiendo su dificultad al perforar:

- | | |
|------------------------------|----------------------|
| 1.Arcilla. | 9.Anhidrita. |
| 2.Barro compacto (mudstone). | 10.Caliza. |
| 3.Marla. | 11.Dolomita. |
| 4.Evaporita. | 12.Conglomerado. |
| 5.Yeso. | 13.Horsteno. |
| 6.Lutita. | 14.Rocas volcánicas. |
| 7.Limo. | |
| 8.Arenisca. | |

3.3 PROPIEDADES DE LA ROCA

•**Areniscas:** Roca aglomerada que está formada de arenas unidas por un cemento de naturaleza variable. Es una roca constituida fundamentalmente por granos de cuarzo. Presenta valores de resistencia a compresión y flexión muy variables, desde los bajos e intermedios de las areniscas más frágiles (de grano fino-medio), hasta los ciertamente altos (grano grueso) de las areniscas bien cementadas.

•**Arcillolita:** Es una roca compacta, sin visibilidad y formada por partículas del tamaño de la arcilla. No abrasiva, blanda.

•**Caliza:** Son rocas constituidas en su mayoría por carbonato cálcico (y a veces también magnésico), que proporcionan valores de resistencia a flexión, compresión, anclaje e impactos, intermedios y altos, baja abrasividad. Su densidad real es de 2,4 - 2,8 kg/dm³; su dureza oscila en torno a 3.3.

•**Conglomerados:** En geología, un conglomerado o rudita es una roca sedimentaria de tipo detrítico formada mayoritariamente por clastos redondeados tamaño grava o mayor (>2 mm).^{1 2} Dichos clastos pueden corresponder a cualquier tipo de roca. Posee una dureza de 5-6, bastante abrasiva y dura.

•**Carbón:** El carbón es una roca sedimentaria compuesta principalmente por una fracción orgánica (macerales) y, en menor proporción, por sustancias minerales, que contiene asimismo agua y gases en poros submicroscópicos. La composición y estructura de un carbón dependen del proceso particular de carbogénesis que éste ha sufrido. Dureza litotipos Vitreno 2, Dureno 7.

•**Diorita:** Roca eruptiva granulosa formada por feldespato y un elemento oscuro, cuya coloración puede ir del blanco al negro. La diorita es una roca ígnea compuesta de un feldespato y uno o varios minerales del grupo de la mica, de la anfíbolita, y del piróxeno. Es una roca dura debido a su ambiente de formación (intrusiva), por lo cual la cristalización de los minerales que la componen es compacta.

•**Lutita:** Es una roca sedimentaria compuesta por partículas del tamaño de la arcilla, grupo de la caolinita y restos de cuarzo, feldespato mica, hematita, epidota y limonita. Roca no abrasiva, dureza 2-2.4 blanda.

3.4 PROBLEMAS COMUNES DE LAS BROCAS AL PERFORAR

Durante la perforación se encuentran diversos problemas, asociados a la litología descrita; para formaciones con contenido de areniscas debido a su alta abrasividad y dureza, genera desgaste acelerado de los cortadores; en las lutitas y arcillolitas por su contenido de arcilla forma taponamiento en los jets, reaccionan con el agua produciendo hinchamiento (pega tubería) y embotamiento de la broca. Si se encuentran presurizadas generan derrumbes; los conglomerados por su heterogeneidad, tamaño del grano y dureza provoca astillamiento de los cortadores, daños en la estructura de la broca, algunos problemas y sus causas se listan en la siguiente tabla:

Tabla 17. *Problemas comunes de las brocas al perforar.*

PROBLEMA	POSIBLE CAUSA
Cono fallido	WOB y ROP inadecuados, vibración.
Alta presión	Jets tapados.
Torque alto	Falta de lubricidad, perfil del pozo.
Bajo ROP	Excesiva presencia de Boulders (rocas de gran tamaño)
Broca fuera de calibre	Vibración
Vibración	Falta de estabilizadores o no correctos
Empaquetamiento	Excesivo ROP
Embolamiento	Bajo caudal
Dientes/Cortadores rotos y astillados	Selección inapropiada de la broca, WOB excesivo, excesivo RPM, vibración, malas prácticas de perforación.
Diente/Cortador perdido	WOB excesivo, erosión, vibración.
Anillamiento	Daño por basura, erosión, selección inadecuada de la broca, vibración, horas excesivas de uso.
Diente/Cortador gastado	Excesivo RPM, hidráulica inadecuada, horas excesivas de uso.

Fuente: Geodiamond dull grade manual.

4 SELECCIÓN DE BROCA POR ANALISIS HISTORICOS

En la actualidad es importante hacer un análisis objetivo de los pozos, debido a que ofrece la oportunidad de comprender las condiciones en el fondo del pozo, las restricciones de su perforación y en algunos casos la apropiada selección de brocas. Los análisis históricos recopilan toda la información necesaria relacionada con el pozo. Se debe tener en cuenta las precauciones de los registros de las brocas ya que son representativas en la perforación del pozo objetivo.

Los análisis históricos deben ser actualizados reflejando los tipos de brocas que sean recientes. Deben mostrar principalmente la información geológica y deberá considerar el primer pozo como una referencia para las recomendaciones de las aplicaciones futuras. El análisis de los registros de las brocas puede ofrecer datos de gran valor si éstos se registran en forma precisa y completa. Dentro de los datos que se encuentra en estos registros se obtiene información acerca de las Restricciones De Perforación Y Los Atributos Del Medio Ambiente.

4.1 ANÁLISIS POZOS DE REFERENCIA

Se tienen cinco (5) pozos diferentes con sus respectivos registros. Cada uno muestra sus respectivas propiedades mediante registros de tipo Gamma Ray, SP (potencial espontáneo), la litología y el tipo de formación presente en este. Se especificará la manera de analizar cada uno de estos y cómo determinar la litología presente en sus características. Según lo analizado en los registros se hará un análisis entre el tipo de litología presente y el rendimiento de las brocas en ese intervalo, utilizando los bit records respectivos y el estado de salida de las brocas.

POZO 1

Nombre: Usco-101

Ubicación: Arauca.

Profundidad: 10500ft.

- Características del registro:

En la aplicación y explicación de los conceptos se usaran los registros Gamma Ray y SP, para obtener una mejor claridad en los conceptos.

Escala Gamma Ray, 0-150 API.

Escala SP, -80: -20 Milivoltios.

El registro se inicia a los 8400 ft y finaliza a 10500 ft de profundidad

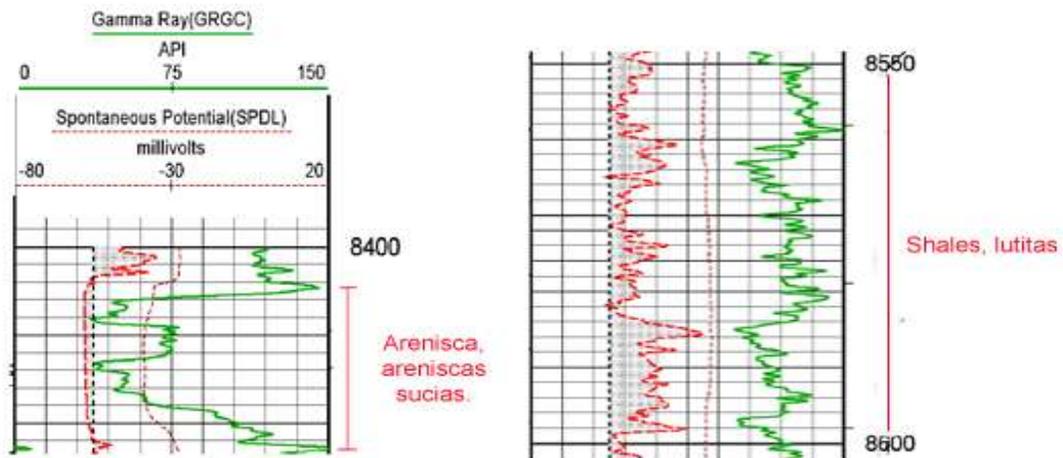


Figura 45. Fragmento registro pozo USCO-101.

- Al ver la curva del registro Gamma Ray presenta un valor entre los 30 y 45 API lo cual denota presencia de una arena, por su valor puede tratarse de una arena sucia o con contenidos de arcillas, si no se tiene certeza se observa la curva de potencial espontáneo la cual muestra un valor negativo que corrobora la presencia de una arena.

- Para obtener una buena interpretación de los registros Gamma Ray y Sp se dibuja una línea imaginaria que denote la línea base para arenas y lutitas, partiendo de esto según su aproximación se interpreta la litología.

En el registro Gamma Ray al iniciar en los 8400ft de profundidad, muestra una sección aproximadamente a 15ft de areniscas sucias y/o con presencia de arcillas, y presenta un valor de 45-75 API, siguiendo la secuencia hay un aumento en la lectura de 120-150 API, esto significa que hay un cambio de litología a los 8420ft y según el alto valor se trata de un shale que se mantiene hasta los 8470ft donde simultáneamente se presentan trazas de areniscas sucias o arcillosas aproximadamente a 15ft, hasta los 8600 ft de profundidad.

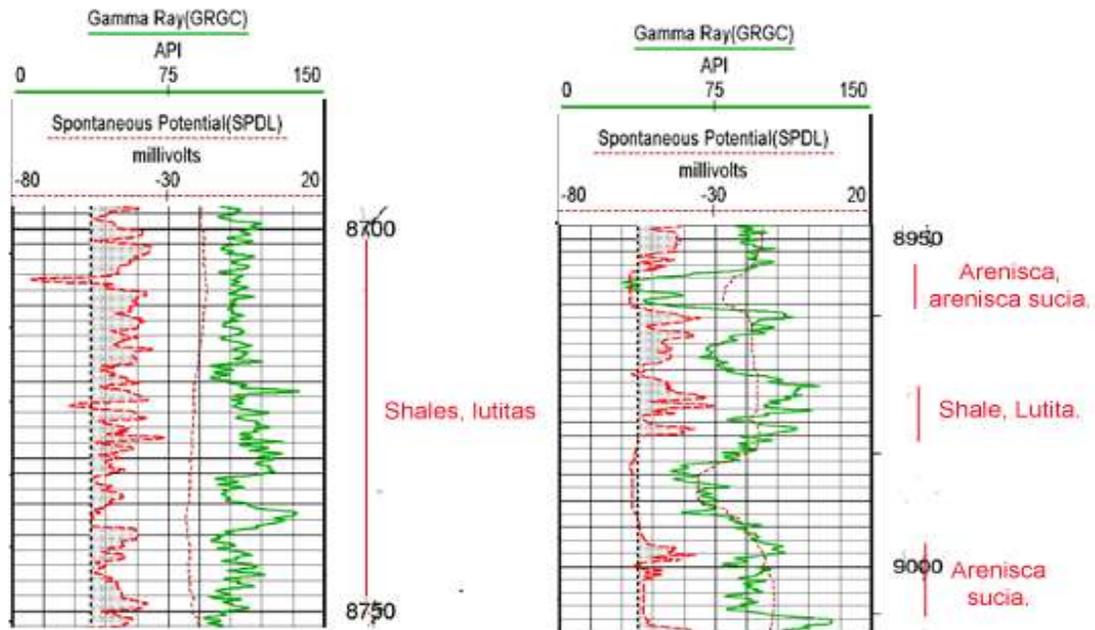


Figura 46. Fragmento registro pozo USCO-101.

- Nuevamente observando ambas curvas se nota que los valores del Gamma Ray se mantienen en un valor por encima de los 100 API lo cual muestra una formación arcillosa, se corrobora con el valor de la curva SP.
- Igualmente para la imagen contigua los valores fluctúan lo que evidencia trazas o pequeños paquetes de lutitas y areniscas arcillosas; cuando no se tiene certeza, obsérvese la línea SP que presente similitud a la Gamma Ray de no ser así podría tratarse de una interferencia en la herramienta o presencia de agua o sales.

Continuando el orden, desde los 8600ft en adelante se presenta un cambio en el valor del registro, mostrándose una disminución de 105-120 API, que evidencia aun presencia de Shales o Lutitas. Se mantiene la secuencia con pequeñas disminuciones (entre 5-10 API) hasta los 8900 ft en donde se encuentran trazas de Lutitas arcillosas (120 API), Areniscas (30 API) y Areniscas arcillosas (45-75 API), hasta los 9050 ft de profundidad. Desde los 9050ft se presentan intercalaciones entre Lutitas, Areniscas, Areniscas arcillosas y Arcillas; con espesores entre los 15ft y 30ft. Hasta los 9200ft de profundidad en donde se observa un bloque de arcillas de 50ft seguido de un cambio en la litología a los 9250ft. Véase *figura 47*.

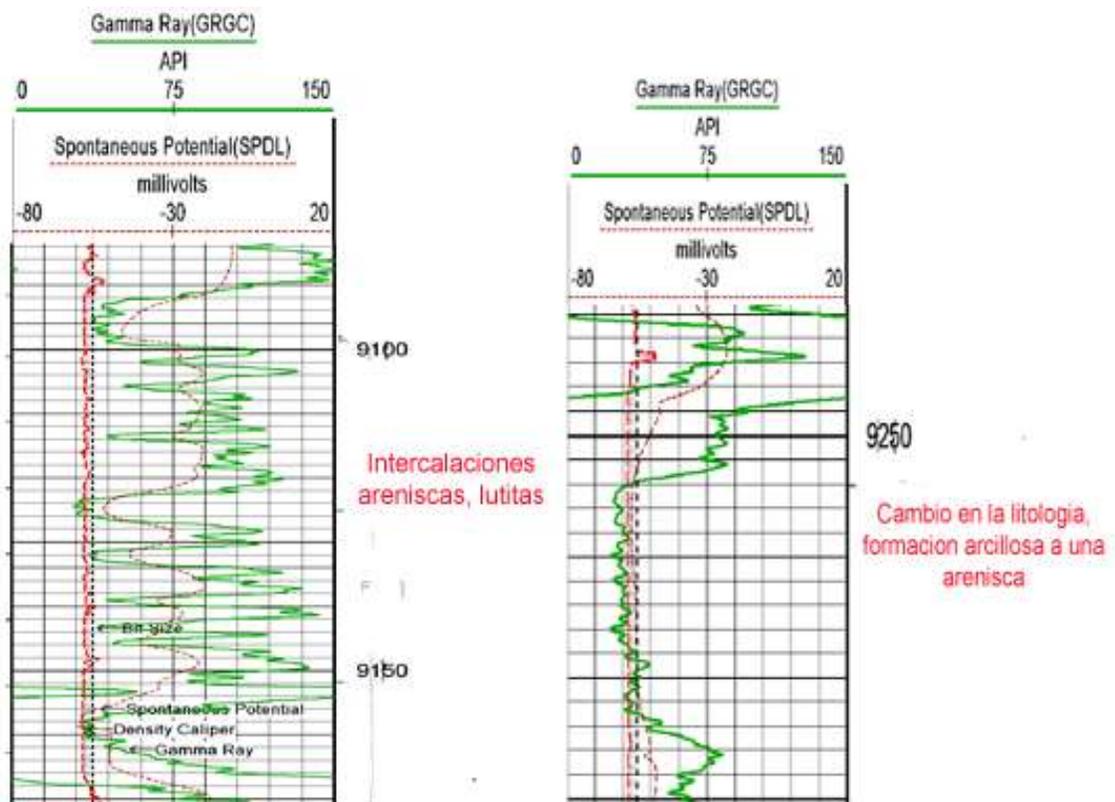


Figura 47. Fragmento registro pozo USCO-101.

A los 9250ft se presenta un cambio en el valor del registro (30 API) lo que evidencia un cambio en la formación y presencia de areniscas y cuarzo areniscas, con trazas de areniscas sucias o arcillosas y arcillolitas con espesores entre los 2 y 10ft, hasta una profundidad de 9400ft. A una profundidad de 9400ft se presenta un cambio en el valor del registro, un aumento 150 API, muestra presencia de rocas arcillosas, lutitas y arcillolitas, hasta una profundidad de 9450ft; se presentan intercalaciones de areniscas con contenido de arcillas (30-75 API), areniscas sucias (75 API), lutitas y arcillolitas (120-150 API).

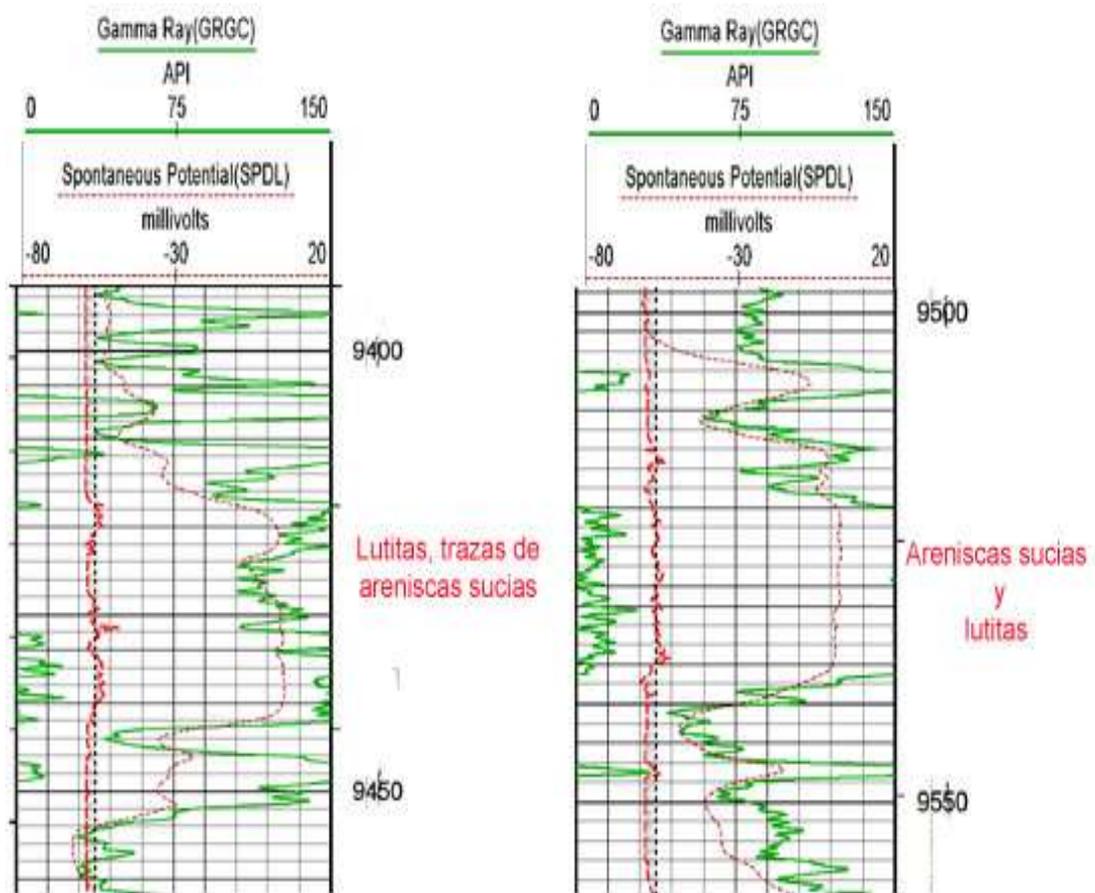


Figura 48. Fragmento registro pozo USCO-101.

Se mantiene hasta los 9600ft, donde se observa una sección de 50ft de arenisca sucia o arcillosa (45-60 API), a los 9650ft, se muestran intercalaciones de cuarzo-areniscas, areniscas sucias, lutitas y arcillolitas con espesores de 10 y 20ft.

A los 9800ft se conservan intercalaciones entre areniscas sucias, arcillolitas y lutitas, con espesores mayores a los 30ft, y así se manifiesta hasta llegar a una profundidad de 9950ft.

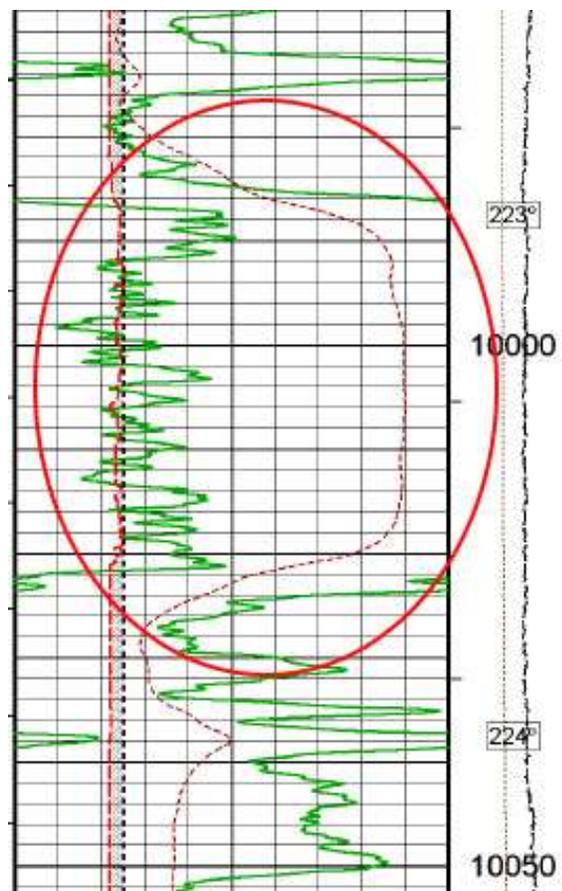


Figura 49. Fragmento registro pozo USCO-101.

Entre los 9950ft de profundidad y 10050ft se observa una discrepancia entre las curvas Gamma Ray y Sp, que se interpreta como una arena con posible presencia de agua dulce ya

que el registro Gamma muestra un valor bajo mientras que la curva Sp denota un valor alto. 100ft más adelante se encuentran intercalaciones entre areniscas sucias y lutitas. A los 10175ft de profundidad, se observa una sección de areniscas sucias con intercalaciones de arcillolitas y lutitas en pequeñas proporciones hasta los 10300ft en donde finaliza el registro, sin embargo, a los 10450ft se cuenta con una sección de areniscas y areniscas sucias, siendo una posible zona de interés.

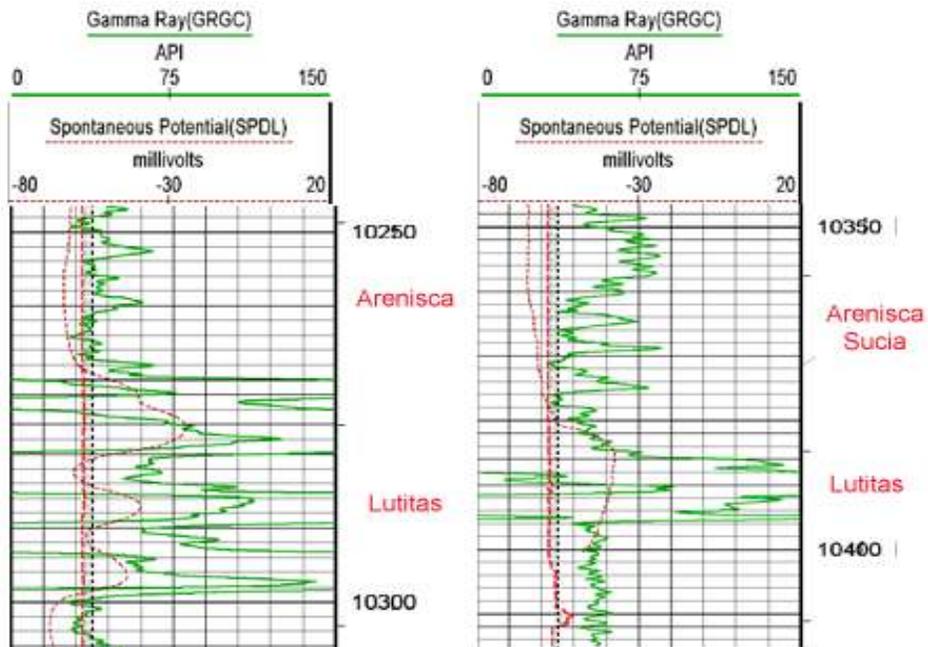


Figura 50. Fragmento registro pozo USCO-101.

Análisis litológico

Según la información aportada por los registros indica la presencia de formaciones de tipos arenosos y arcillosos. Que ostenta la siguiente litología:

Tabla 18. Litología pozo USCO-101.

Nombre/Convención	U. API	Dureza	Descripción
 Arenisca	<40	Media-Alta	De grano fino a medio.
 Arenisca Sucia	<80	Media-Baja	Arenisca con contenido de arcilla.
 Lutitas	>80	Baja	Formaciones arcillosas y blandas.

Elaborado por: López, C.

Esta coincide con la litología presente en la columna estratigráfica de la cuenca de los llanos orientales.

BIT RECORD POZO USCO-101

POZO USCO-101								
BHA No.	BROCA No.	DIAMETRO IN.	FABRICANTE	TIPO	TAMAÑO BOQUILLAS	PROFUNDIDAD		PIES
						ENTRA	SALE	PERF
1	1	8 1/2"	SMITH	M613	6 X 12	8500	10500	2000

POZO USCO-101							
HORAS Efectiva	ROP efec pie/hr	WOB klbs	RPM	GPM	SPP psi	MW lpg	VIS P cps
75,56	26,47	10-30	60-100	350-450	150-250	9,8-10,3	13

CALIFICACIÓN							
I	O	D	L	B	G	O	RP
4	5	BT	A	X	I	WT	TD

Tipo de broca: Smith M613, broca de cortadores fijos PDC, cuerpo en matriz (M) con 6 aletas y cortadores de 13 mm, para formaciones de dureza media.

Equivalencia código IADC: M333, broca, cortadores fijos con cuerpo en matriz, para formaciones de dureza media-suave, cortadores PDC 13 mm, perfil medio.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación, la broca con cuerpo de matriz brinda mayor resistencia y duración que una de acero, una broca PDC ofrece mayor ROP que una broca de conos móviles y la estructura de corte de 13 mm indica una agresividad media que otorga una mayor duración de los elementos cortantes.

Calificación salida de la broca: presenta desgaste grado 4 (medio-bajo) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 5 (medio), característica desgaste (BT) cortadores rotos, localización toda el área de la broca, rodamientos no aplica para broca PDC, condición del calibre dentro de los límites, (WT) cortadores gastados como otra característica de desgaste, condición de salida de la broca por llegada a profundidad de Casing.

Análisis de estado de Broca VS Litología: Según lo observado en el registro correspondiente al pozo USCO-101, se presentan secciones de areniscas y areniscas sucias con espesores entre los 20 y 50 ft., y un intervalo mayor de 150 ft. (9250 ft de profundidad) que no representa un problema al perforar ya que la mayor parte de la litología del pozo se caracteriza por formaciones blandas como son las lutitas.

Con base a la anterior descripción y la calificación de salida de la brocase observa un desgaste elevado y ruptura de los elementos cortantes, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP. La broca seleccionada obtuvo un buen rendimiento, el desgaste se debe en mayor parte a la profundidad que se perforo y las secciones de areniscas. No hubo necesidad de cambio y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes.

El uso de una broca PDC en lugar de una de Conos móviles se basa en la profundidad y abrasividad de las formaciones presentes en el pozo. Una broca de conos móviles por su economía sería favorable, pero factores como la ROP, profundidad y horas efectivas se verían afectadas, además por contener partes móviles presentaría más fallas y daños en el cuerpo de la broca.

POZO 2

Nombre: Usco-102

Ubicación: Bolivia.

Profundidad: 5568ft.

Características del registro:

Gamma Ray y SP.

Escala Gamma Ray, 0-150 API.

Escala SP, -80: -20 Milivoltios.

Iniciando desde 1920ft (586 m), el registro Gamma Ray muestra una sección de areniscas sucias, seguido de areniscas, cuarzo areniscas, hasta los 1970ft (600 m). Se observan intercalaciones de cuarzo areniscas y lutitas con espesores no mayores a los 20ft; la curva del registro SP no muestra grandes variaciones debido al mínimo espesor de las capas. *Véase figura 51.*

- Para obtener una buena interpretación de los registros Gamma Ray y Sp se dibuja una línea imaginaria que denote la línea base para arenas y lutitas, partiendo de esto según su aproximación se interpreta la litología.

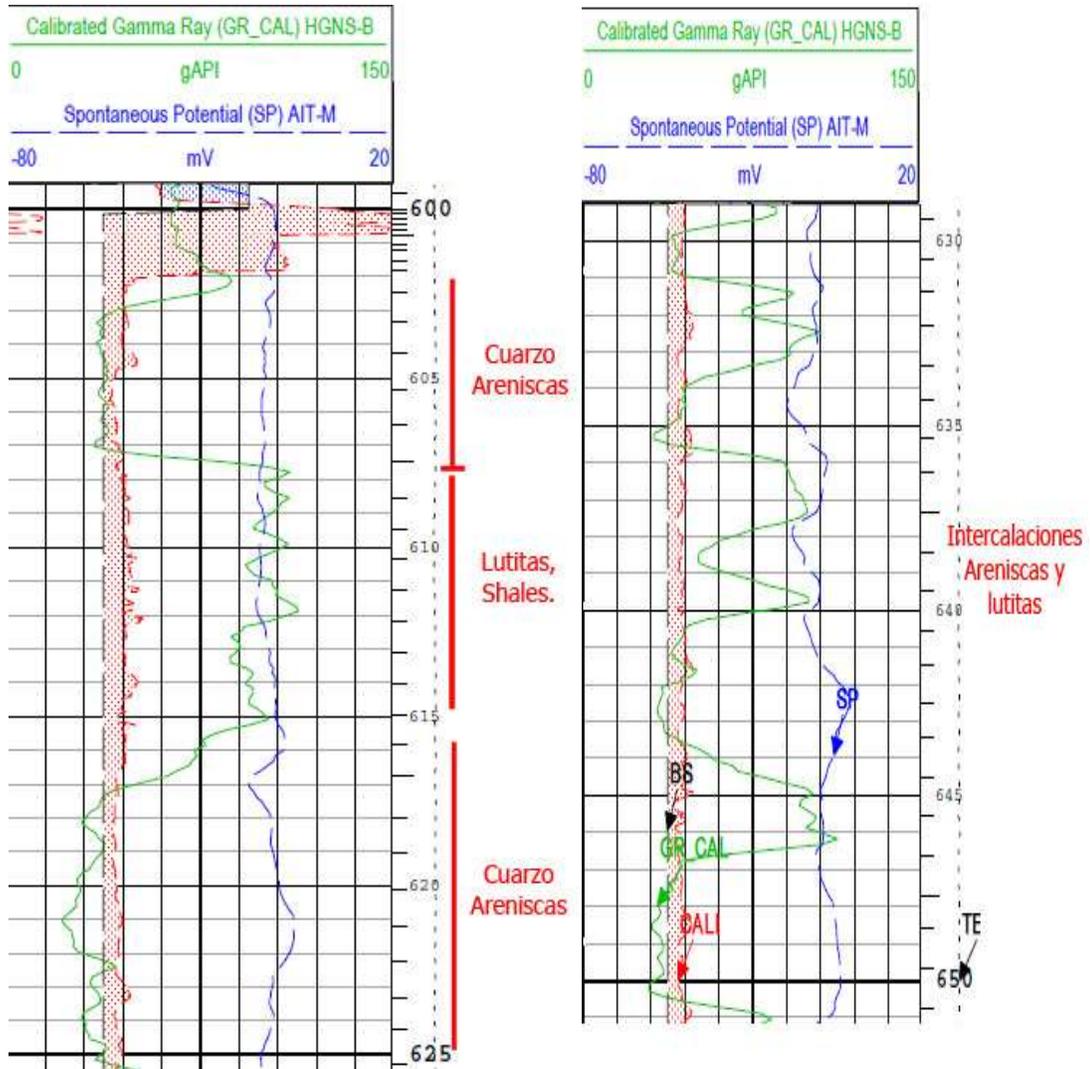


Figura 51. Fragmento registro pozo USCO-102.

Continuando la secuencia en el registro, presenta tramos de cuarzo areniscas, areniscas sucias y pequeños paquetes de lutitas.

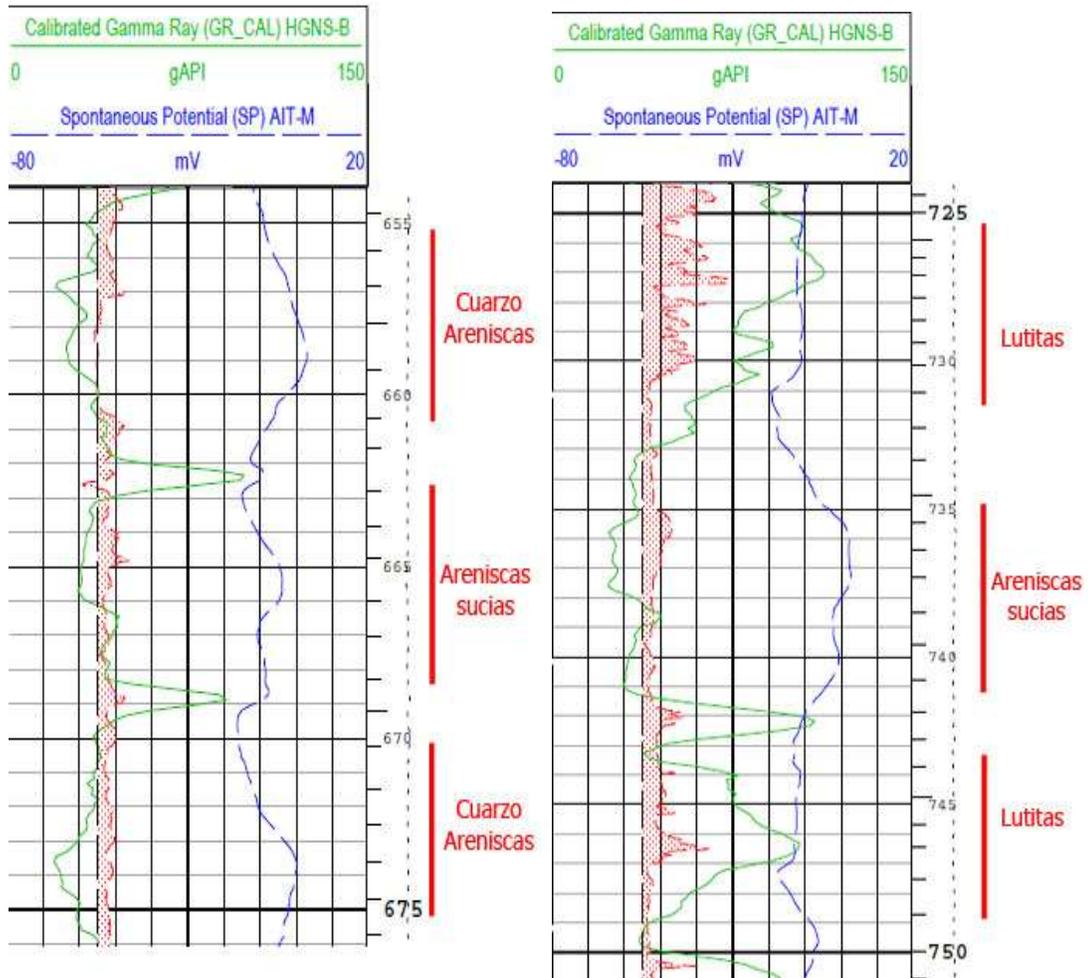


Figura 52. Fragmento registro pozo USCO-102.

Desde los 2460ft (750 m) se observa presencia en la mayoría de las formaciones arcillosas, lutitas, e intercalaciones de areniscas sucias o arcillosas.

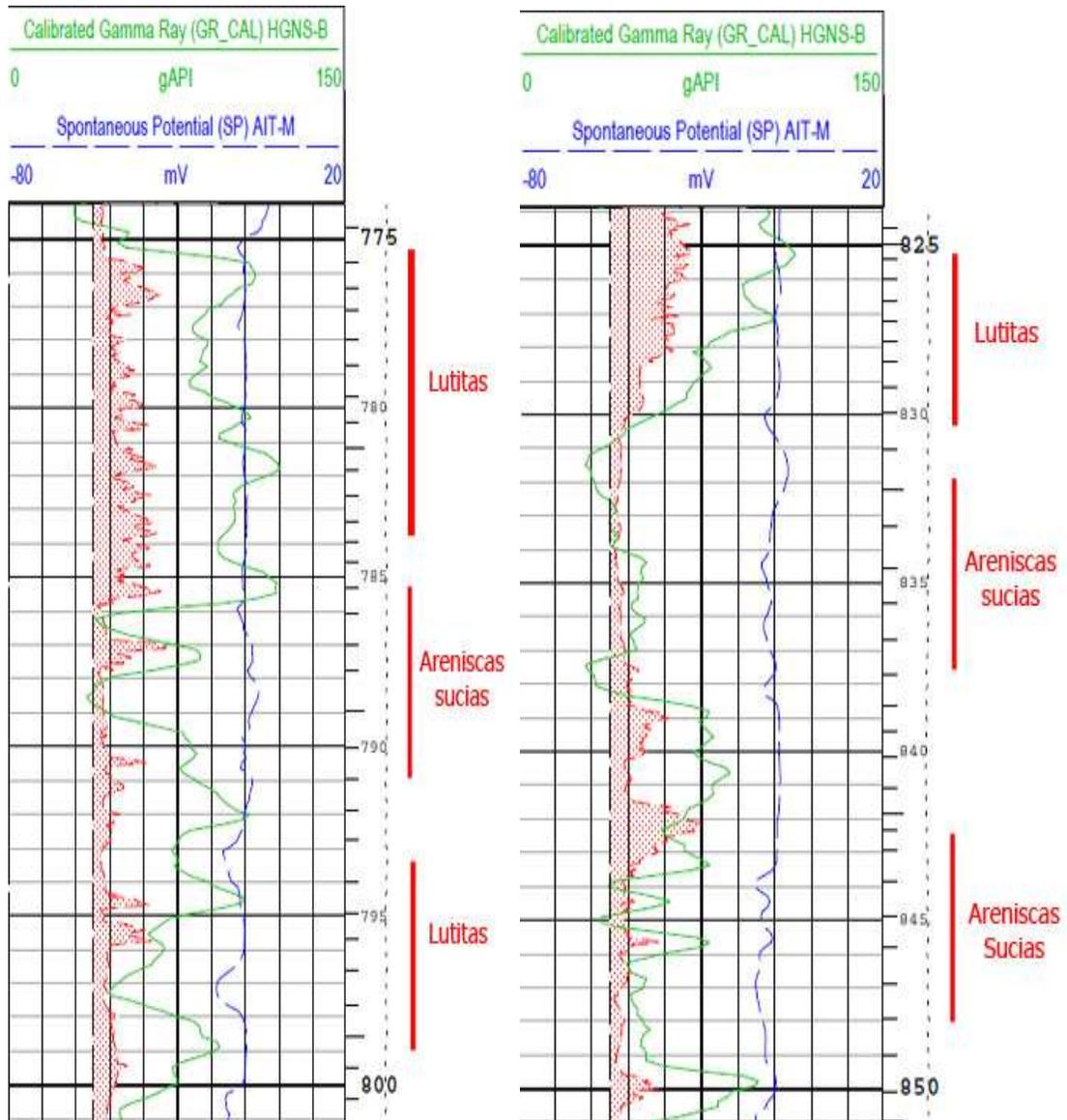


Figura 53. Fragmento registro pozo USCO-102.

Continuando la secuencia presenta intercalaciones entre areniscas sucias y lutitas, hasta los 2837ft (865 m) de profundidad.

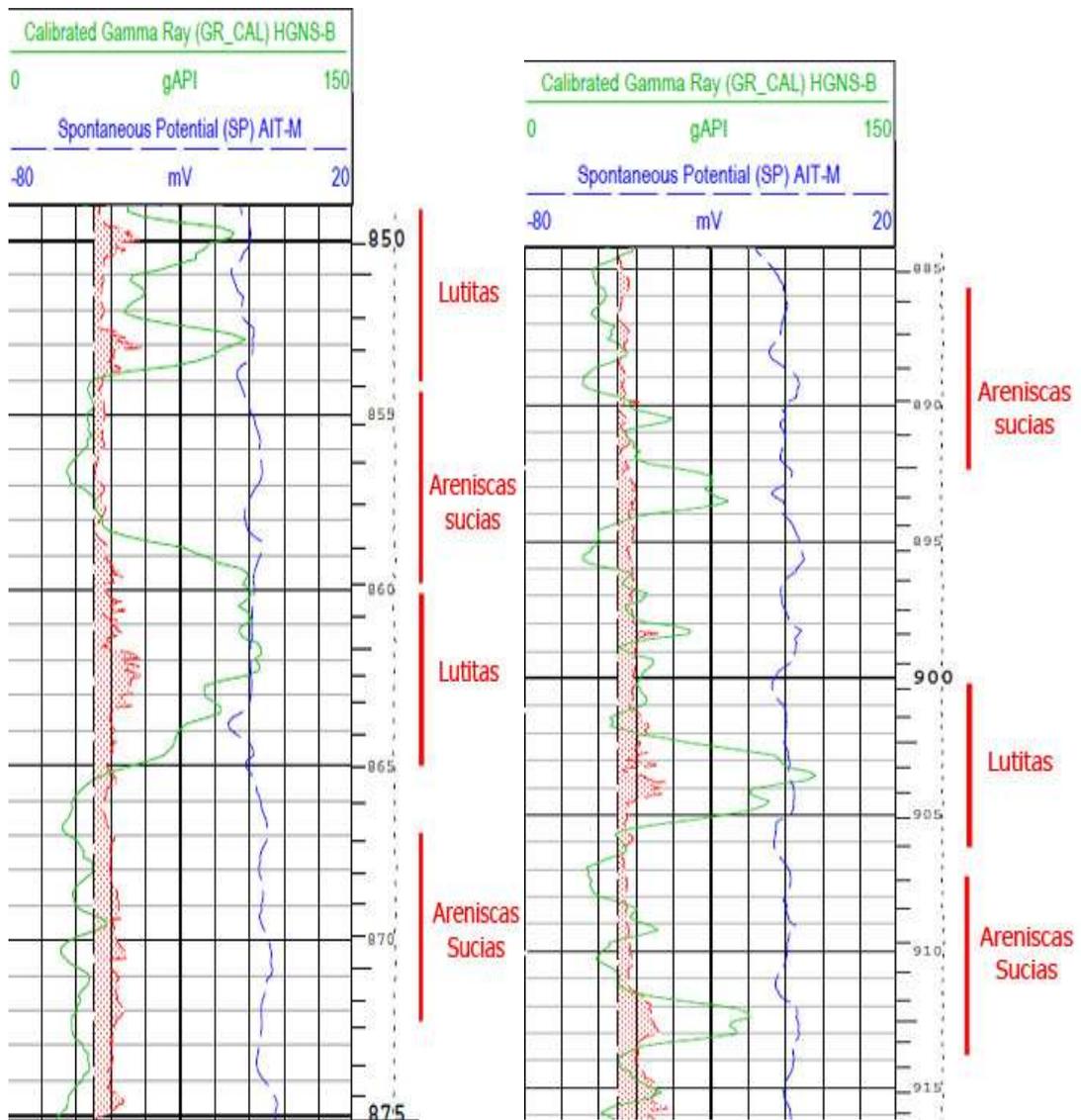


Figura 54. Fragmento registro pozo USCO-102.

A los 2900ft (884 m) se observa en la curva Gamma Ray valores bajos los cuales evidencian formaciones arenosas, y pequeños niveles más arcillosos lo que indica presencia de areniscas sucias y trazas de lutitas. Siguiendo la curva de registro Gamma Ray se encuentran intercalaciones de lutitas y areniscas sucias, en igual proporción hasta los 3500ft de profundidad.

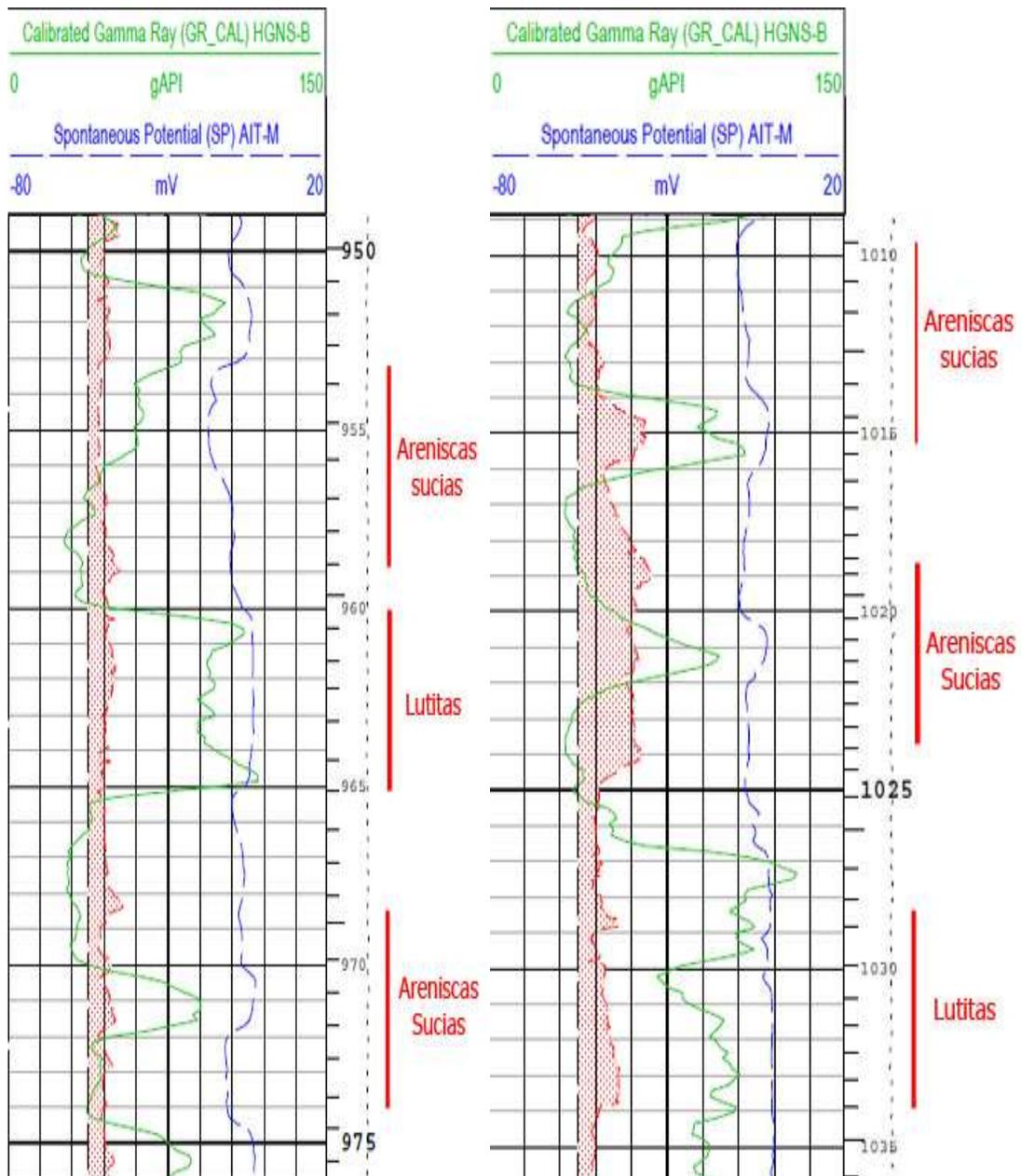


Figura 55. Fragmento registro pozo USCO-102.

A los 3500ft (1067 m) de profundidad se encuentra un paquete masivo de cuarzo areniscas y areniscas sucias, donde presenta pequeñas trazas de lutitas y formaciones arcillosas; hasta los 4700ft (1433 m), donde se denota mayor presencia de formaciones arcillosas.

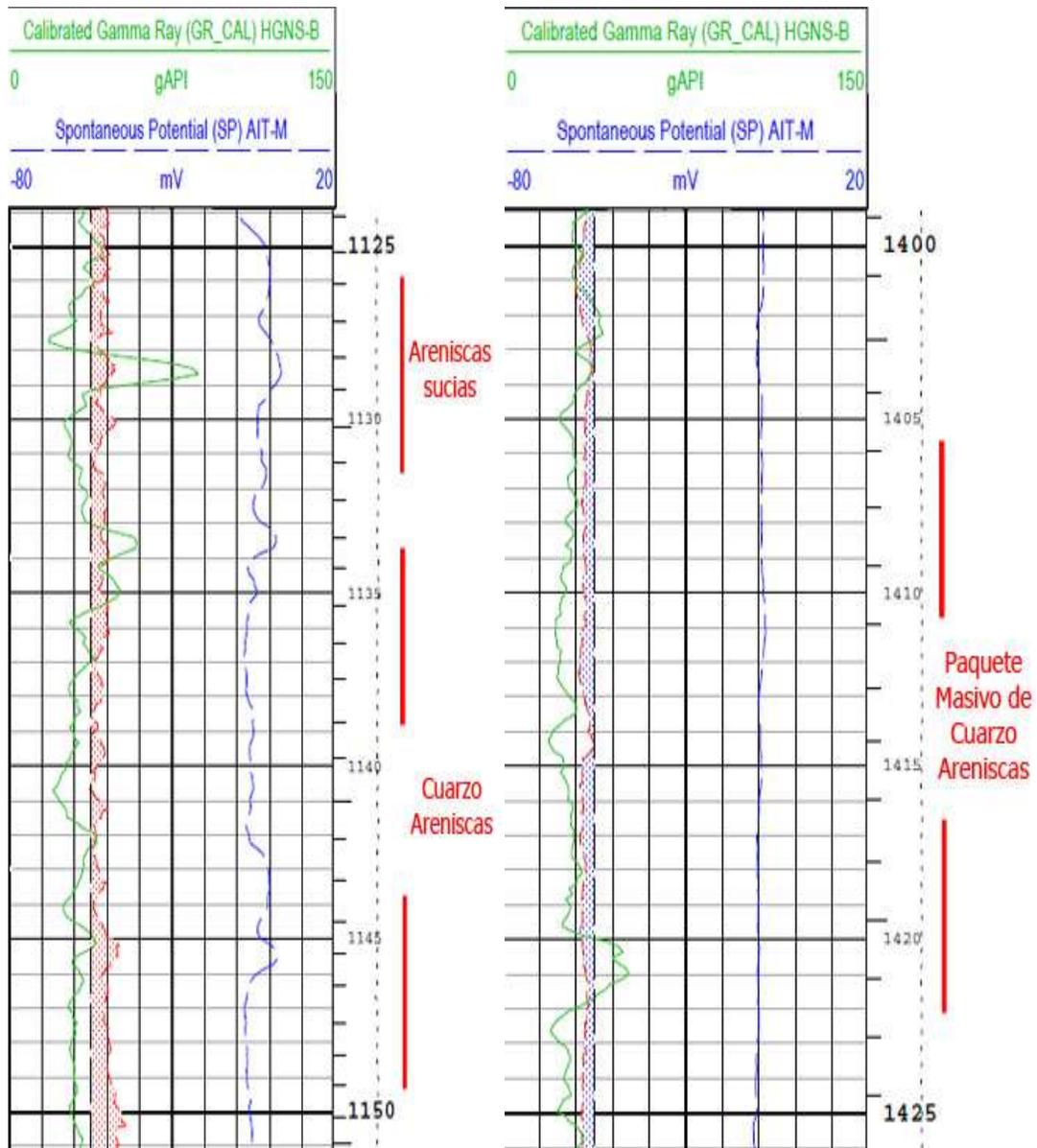


Figura 56. Fragmento registro pozo USCO-102.

Posteriormente a la profundidad de 4940ft (1506 m), se observa un cambio en la litología pasando de una formación arenosa a una más arcillosa (30 a 120 API), de areniscas arcillosas a lutitas, que se mantiene hasta los 5330ft (1686 m) de profundidad donde se indica otro cambio en la formación pasando a una arenisca sucia.

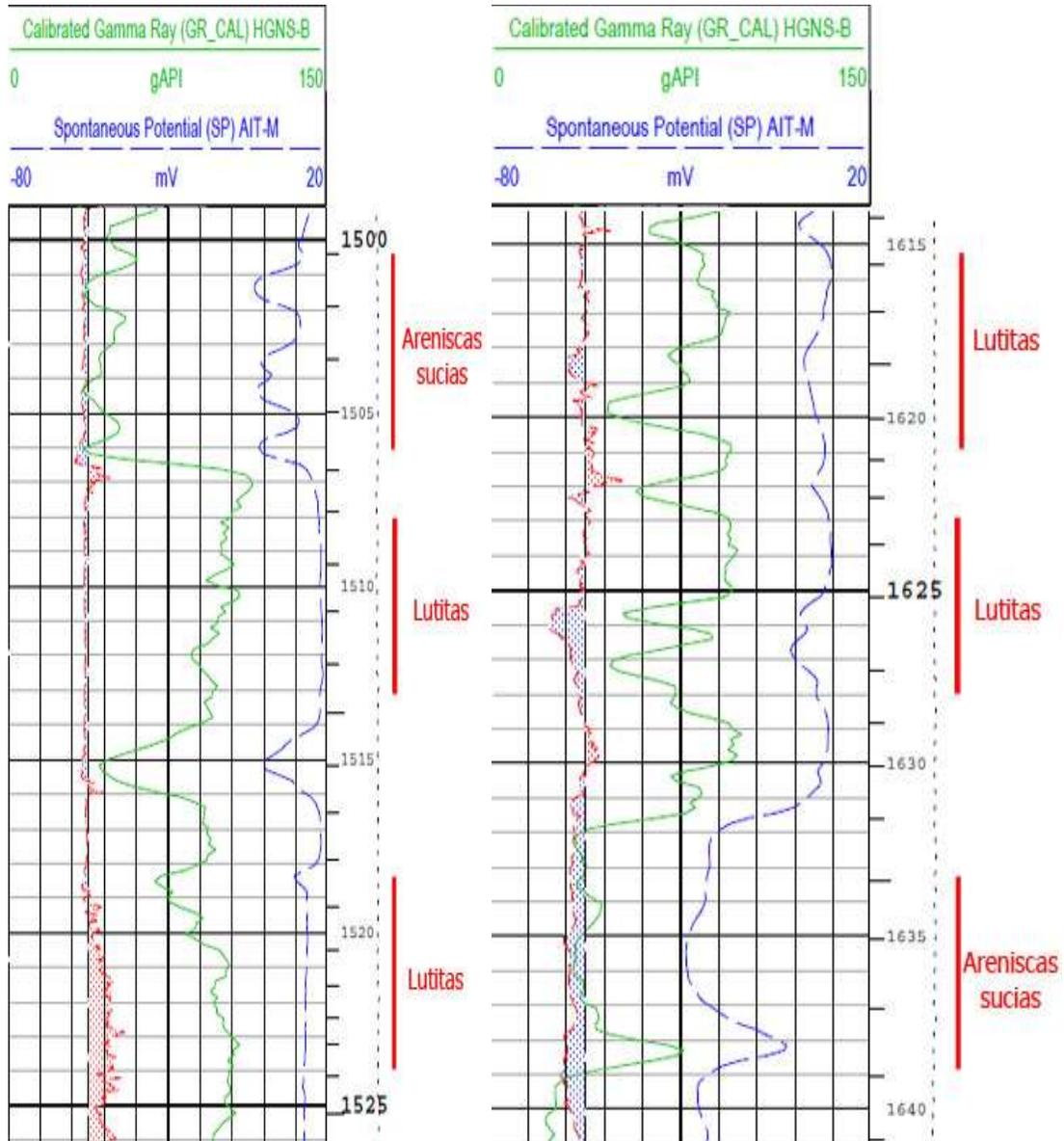


Figura 57. Fragmento registro pozo USCO-102.

Y finalmente continúa con un paquete masivo de areniscas sucias y ligeramente sucias hasta llegar a la formación de interés a 5530ft de profundidad.

Análisis litológico

Según la información aportada por los registros indica la presencia de formaciones de tipos arenosos y arcillosos. Que ostenta la siguiente litología:

Tabla 19. *Litología pozo USCO-102.*

Nombre/Convención	U. API	Dureza	Descripción
 Arenisca	<40	Media-Alta	De grano medio a grueso.
 Arenisca Sucia	<80	Media-Baja	Arenisca con contenido de arcilla.
 Lutitas	>80	Baja	Formaciones arcillosas y blandas.

Esta coincide con la litología presente en la columna estratigráfica de la cuenca Tarija en Bolivia.

BIT RECORD POZO USCO-102

POZO USCO-102								
BHA No.	BROCA No.	DIAMETRO IN.	FABRICANTE	TIPO	TAMAÑO BOQUILLAS	PROFUNDIDAD ENTRA	SALE	PIES PERF
1	1	12 1/4"	SMITH	Si616	7 X 18	0	1969	1969
2	2	8 1/2"	SMITH	M613	5 X 12	1969	5568	3599

POZO USCO-102							
HORAS Efectiva	ROP efec pie/hr	WOB klbs	RPM	GPM	SPP psi	MW lpg	VIS P cps
80,53	24,45	10-20	SUP: 60-80	400 - 550	200-300	9,4	10 - 14.
30,00	119,97	10-30	SUP: 40-80	500-650	600-1200	9,4-10,3	

CALIFICACIÓN							
I	O	D	L	B	G	O	RP
2	3	WT	A	X	I	NO	TD
2	4	BT	A	X	I	WT	TD

BHA # 1

Tipo de broca: SMITH Si616, broca de cortadores fijos PDC, cuerpo en Acero (S) con 6 aletas y cortadores de 16 mm, para formaciones de dureza media, certificación IDEAS (i).

Equivalencia código IADC: S223, broca de cortadores fijos con cuerpo en Acero, para formaciones de dureza suave, cortadores PDC 19 mm, perfil medio.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación. La broca con cuerpo de acero brinda dureza y rendimiento aceptable. Una broca PDC ofrece mayor ROP que una broca de conos móviles, la estructura de corte de 19 mm indica una agresividad baja que otorga una mayor duración de los elementos cortantes.

Calificación salida de la broca: Presenta desgaste grado 2 (bajo) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 3 (bajo), característica desgaste (WT) cortadores gastados, localización toda el área de la broca, rodamientos no aplica para broca PDC, condición del calibre dentro de los límites, (NO) no presenta otra característica de desgaste, condición de salida de la broca por llegada a profundidad de Casing.

Análisis de estado de Broca VS Litología: Según lo observado en el registro correspondiente al pozo USCO-102, se presentan areniscas y areniscas sucias dentro del intervalo comprendido entre los 0 y 1969 ft de profundidad, esta litología se caracteriza por una dureza media- baja y abrasividad considerable, se debe mantener control sobre los parámetros WOB y RPM para no desgastar excesivamente la broca.

Con base a la anterior descripción y la calificación de salida de la broca, se observa desgaste bajo, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP, la broca seleccionada obtuvo un buen rendimiento, no hubo necesidad de cambio y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes.

Al usar una broca PDC en el pozo, se obtuvo un resultado efectivo, sin embargo, se puede utilizar una broca de conos móviles por su economía, debido a que la formación es poco abrasiva, con corta profundidad y puede dar resultados aceptables. Como opción se presenta la broca BAKER GX-44C con insertos de carburo de tungsteno para formaciones medias a duras, con código IADC627. Se debe tener en cuenta que una broca de conos móviles debe ser usada con moderación y buenas prácticas de perforación para prolongar su vida útil, debido a los componentes móviles y la naturaleza de sus cortadores que afecta la ROP y las horas de trabajo.

BHA #2

Tipo de broca: SMITH M613, broca de cortadores fijos PDC, cuerpo en Matriz (M) con 6 aletas y cortadores de 13 mm, para formaciones de dureza media.

Equivalencia código IADC: M333, broca de cortadores fijos con cuerpo en matriz, para formaciones de dureza media-suave, cortadores PDC 13 mm, perfil medio.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación, la broca con cuerpo de matriz brinda mayor resistencia y duración que una de acero, una broca PDC ofrece mayor ROP que una broca de conos móviles, la estructura de corte de 13 mm indica una agresividad media que otorga una mayor duración de los elementos cortantes.

Calificación salida de la broca: presenta desgaste grado 2 (bajo) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 4 (medio), característica desgaste (BT) cortadores rotos, localización toda el área de la broca, rodamientos no aplica para broca PDC, condición del calibre dentro de los límites, como otra característica de desgaste presenta (WT) cortadores gastados, condición de salida de la broca por llegada a profundidad de Casing.

Análisis de estado de Broca VS Litología: Según lo observado en el registro correspondiente al pozo USCO-102, se presentan areniscas, areniscas sucias y lutitas dentro del intervalo comprendido entre los 1969 y 5568 ft de profundidad, esta litología se caracteriza por una dureza media- baja y abrasividad considerable, además los cambios de litología pueden generar problemas de vibración, cambio del ángulo y se debe mantener control sobre los parámetros WOB y RPM para no desgastar excesivamente la broca.

Con base a la anterior descripción se observa desgaste medio, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP, la broca seleccionada obtuvo un buen rendimiento, no hubo necesidad de cambio y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes.

Al usar broca PDC en el pozo, se obtuvo un resultado efectivo, pero también se puede utilizar broca de conos móviles por su economía, la formación es poco abrasiva con corta profundidad y puede dar resultados aceptables, como opción se presenta la broca BAKER GX-44C IADC 627, BAKER HR-44 IADC 617 con insertos de carburo de tungsteno para formaciones medias a duras, BAKER R7 IADC 321, con dientes de acero para formaciones medias a duras.

Se debe tener en cuenta que una broca de conos móviles debe ser usada con moderación y buenas prácticas de perforación para prolongar su vida útil, debido a los componentes móviles y la naturaleza de sus cortadores que afecta la ROP y las horas de trabajo.

POZO 3

Nombre: Usco-103

Ubicación: Colombia.

Profundidad: 12250ft.

Características del registro:

Gamma Ray.

Escala Gamma Ray, 0-150 API.

Se inicia el registro a 6600ft y finaliza a los 12250ft de profundidad.

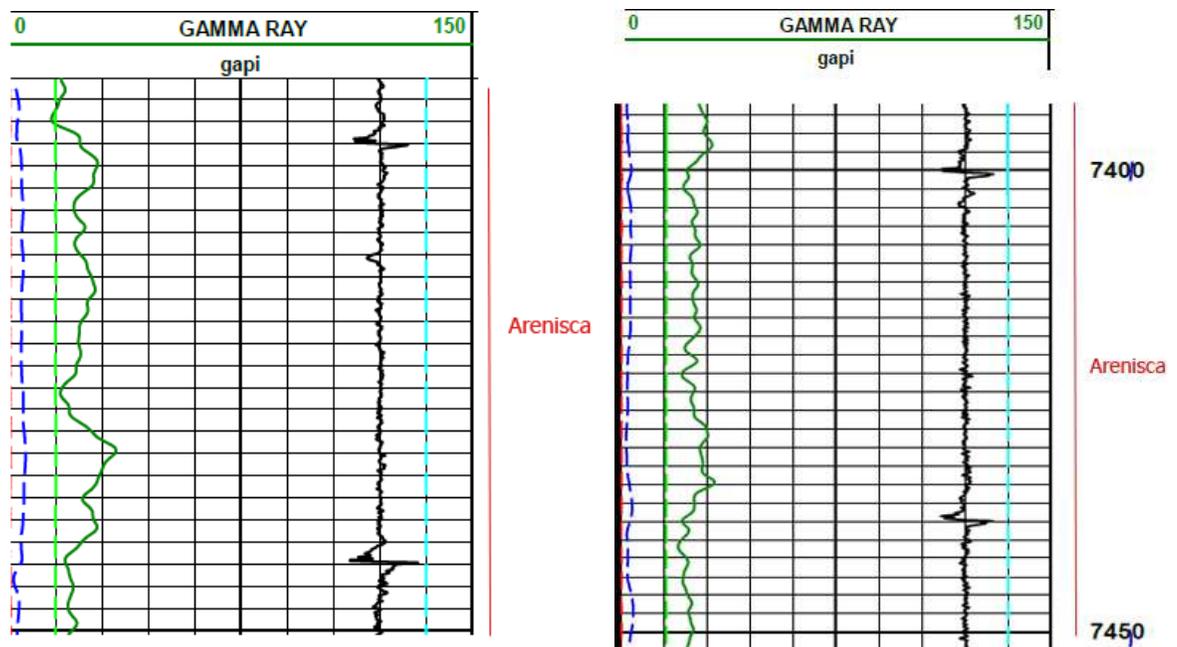


Figura 58. Fragmento registro pozo USCO-103.

En este registro se observa un paquete masivo de areniscas de grano fino o carbonatos (<30 API), que inicia a los 6600ft y se mantiene hasta los 7400ft de profundidad.

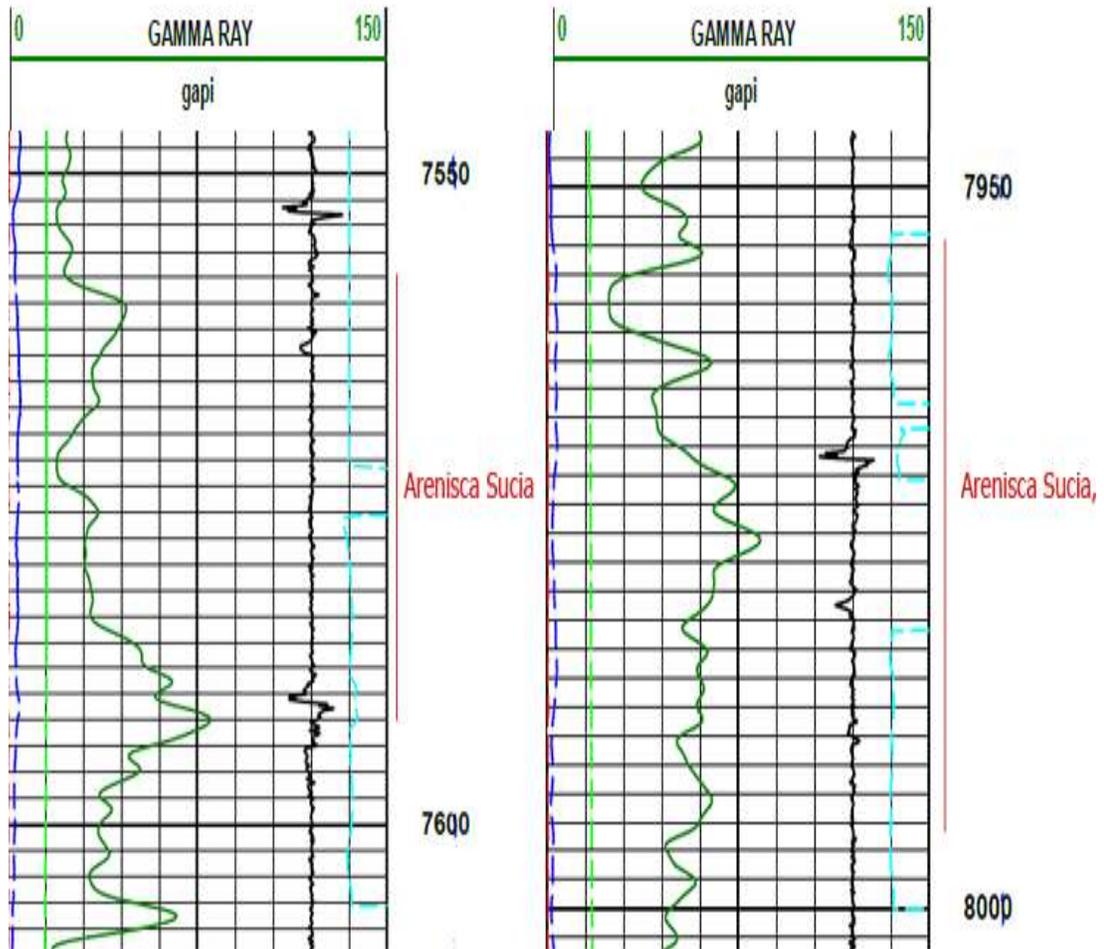


Figura 59. Fragmento registro pozo USCO-103.

Continuando con la secuencia, se presenta un cambio en la amplitud de la curva (30-75 API), lo que significa presencia de areniscas sucias con contenido de arcillas, hasta los 8200ft donde cambia la secuencia a areniscas más limpias (<45 API).

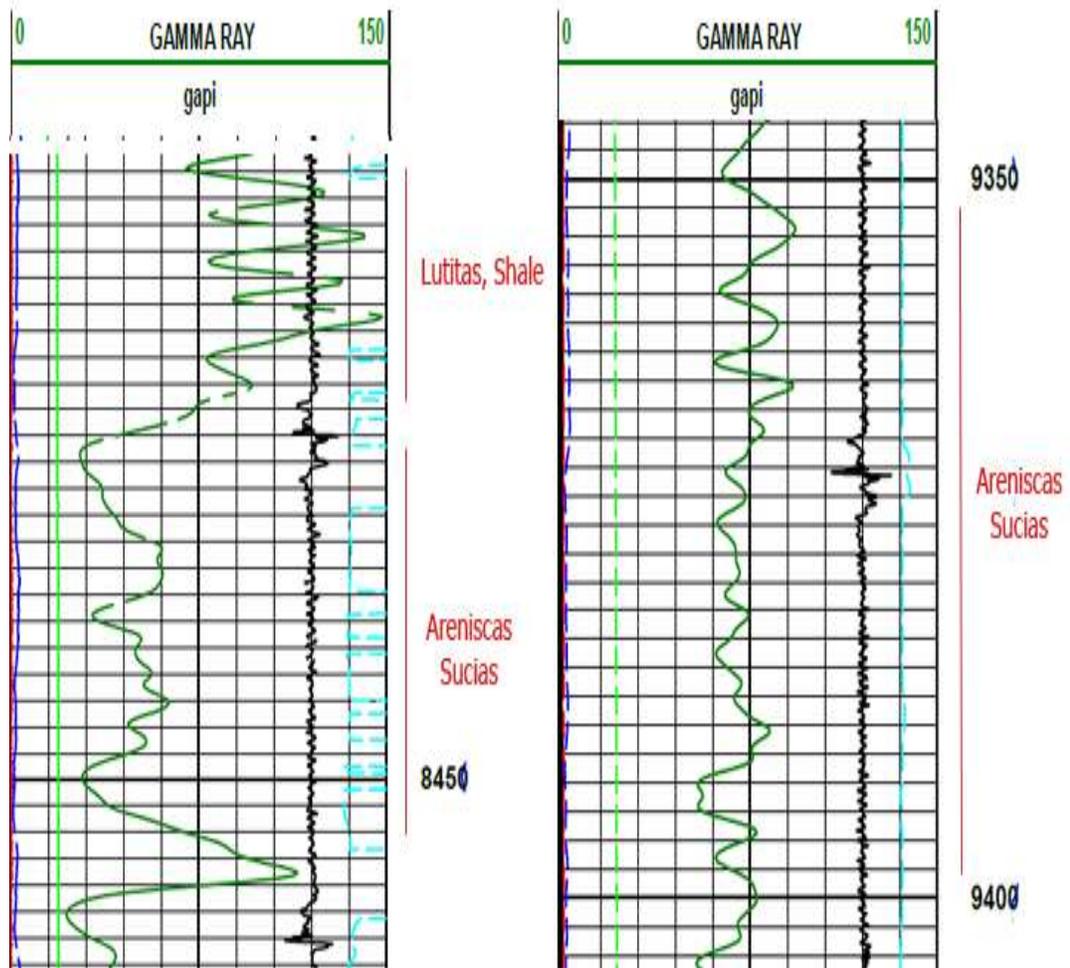


Figura 60. Fragmento registro pozo USCO-103.

A una profundidad de 8400ft se encuentran trazas de formaciones arcillosas, Lutitas o Shales con alto contenido orgánico en intercalaciones con areniscas; continuando con una sección de areniscas sucias, que se mantienen hasta 11250ft de profundidad.

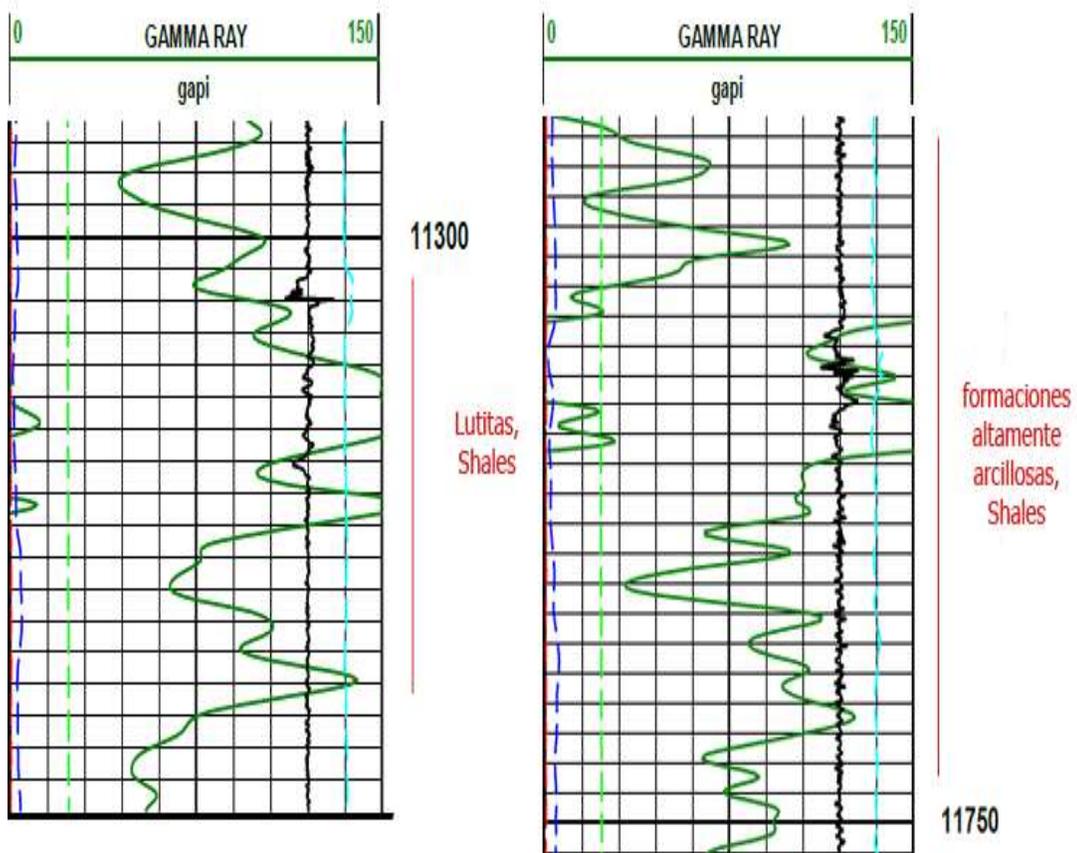


Figura 61. Fragmento registro pozo USCO-103.

- Al observar la curva de la segunda imagen donde los picos son bastante pronunciados, esta se puede sobreponer, dado que la escala tiene un límite de 150 API.

Se aprecia en el registro una sección de Lutitas, formaciones altamente arcillosas que se mantienen hasta los 11750ft de profundidad.

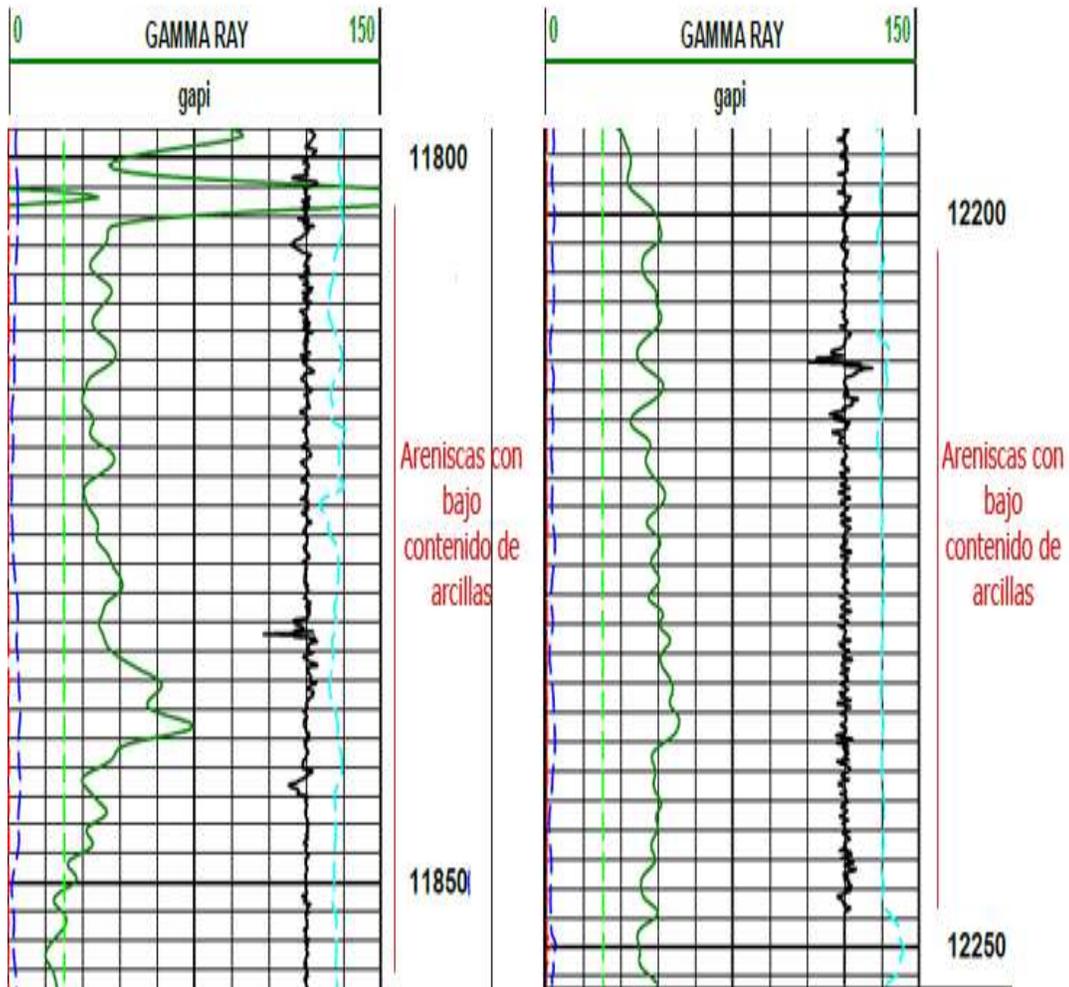


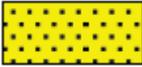
Figura 62. Fragmento registro pozo USCO-103.

Siguiendo la curva GR se nota un cambio en la litología pasando de formaciones arcillosas hacia arenas con contenido de arcillas, hasta la zona de interés a 12250ft de profundidad.

Análisis litológico

Según la información aportada por los registros indica la presencia de formaciones de tipos arenosos y arcillosos. Que ostenta la siguiente litología:

Tabla 20. Litología pozo USCO-103.

Nombre/Convención	U. API	Dureza	Descripción
 Arenisca	<40	Media-Alta	De grano fino, compacta.
 Arenisca Sucia	<80	Media-Baja	Arenisca con contenido de arcilla.
 Lutitas	>80	Baja	Formaciones arcillosas y blandas.

Esta coincide con la litología presente en la columna estratigráfica de la cuenca de los llanos orientales.

Basado en la información anterior, se concluye que las rocas presentes en el pozo USCO 103, tienen un rango de dureza media a baja.

POZO USCO-103

POZO USCO 103								
BHA No.	BROCA No.	DIAMETRO IN.	FABRICANTE	TIPO	TAMAÑO BOQUILLAS	PROFUNDIDAD ENTRA	SALE	PIES PERF
1	1	17 1/2"	BAKER	GT-20	5 X 18/32	0	1816	1816
2	2	12 1/4"	SMITH	M716	7 X 10	1816	7584	5768
3	3	8 1/2"	SMITH	S516	7 X 15	7584	12301	4717
4	4	5 7/8"	SMITH	M516	5x12	12301	13500	1199

POZO USCO 103							
HORAS Efectiva	ROP efec pie/hr	WOB klbs	RPM	GPM	SPP psi	MW lpg	VIS P cps
30,56	59,42	10-20	40-60	350-475	150 - 250	9,4	12
90,72	63,58	15-25	80-100	400 - 680	300-1500	9,4-9,7	14-16
70,38	67,02	20-30	80-120	350-650	1100-2200	10,10,4	14-18
20,62	58,15	15-35	80-10	350-500	1400-2700	11-12,1	14-22

CALIFICACIÓN							
I	O	D	L	B	G	O	RP
3	4	WT	A	E	I	BT	BHA
4	6	WT	S	X	I	BT	TD
4	5	BT	A	X	I	WT	TD
2	3	WT	A	X	I	NO	LOG

BHA # 1

Tipo de broca: BAKER GT-20, broca tricónica con insertos de carburo de tungsteno, para formaciones de dureza suave-media.

Equivalencia código IADC: 517, broca tricónica con insertos de carburo de tungsteno para formaciones de dureza suave-media baja resistencia compresiva, rodamiento sellado de fricción con calibre protegido.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación, la broca con conos móviles ofrece fiabilidad y rendimiento aceptable, amplia gama y aplicable a cualquier formación. Los insertos de carburo de tungsteno ofrecen mayor dureza para fracturar la roca.

Calificación salida de la broca: Presenta desgaste grado 3 (bajo) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 4 (medio), característica desgaste (WT) dientes gastados, localización toda el área de la broca, rodamientos con sello efectivo, condición del calibre dentro de los límites, dientes rotos (BT) como otra característica de desgaste, condición de salida de la broca por cambio de BHA.

Con base en la descripción anterior se observa un desgaste medio, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP. La broca seleccionada obtuvo un buen rendimiento, no hubo necesidad de cambio y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes.

Al usar una broca de conos móviles con insertos de carburo de tungsteno en el pozo se obtuvo un resultado óptimo, pero también se puede utilizar broca de conos móviles con dientes de acero como la VAREL CR3G IADC 137S. Se debe tener en cuenta que una broca de conos móviles debe ser usada con moderación y buenas prácticas de perforación para prolongar su vida útil, debido a los componentes móviles y la naturaleza de sus cortadores que afecta la ROP y las horas de trabajo.

BHA #2

Tipo de broca: SMITH M716, broca de cortadores fijos PDC, cuerpo en Matriz (M) con 7 aletas y cortadores de 16 mm, para formaciones de dureza media-dura.

Equivalencia código IADC: M323, broca de cortadores fijos con cuerpo en Matriz, para formaciones de dureza media-suave, cortadores PDC 16 mm, perfil medio.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación, la broca con cuerpo de acero brinda dureza y rendimiento aceptable, una broca PDC ofrece mayor ROP que una broca de conos móviles, la estructura de corte de 19 mm indica una agresividad baja que otorga una mayor duración de los elementos cortantes y un perfil bajo mayor contacto con la formación.

Calificación salida de la broca: Presenta desgaste grado 4 (medio) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 6 (medio-alto), característica desgaste (WT) cortadores gastados, localización Hombro (shoulder), rodamientos no aplica para broca PDC, condición del calibre dentro de los límites, como otra característica de desgaste (BT) presenta cortadores rotos, condición de salida de la broca por llegada a profundidad de Casing.

Análisis de estado de Broca VS Litología: Según lo observado en el registro correspondiente al pozo USCO-103, se presentan areniscas, areniscas sucias dentro del intervalo comprendido entre los 1816 y 7584 ft de profundidad. Esta litología se caracteriza por una dureza media y abrasividad considerable, se debe mantener control sobre los parámetros WOB y RPM para no desgastar excesivamente la broca.

En base a la anterior descripción se observa desgaste alto, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP. La broca seleccionada obtuvo un excelente rendimiento, no hubo necesidad de cambio y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes.

Al usar broca PDC en el pozo, se obtuvo un resultado efectivo, pero también se puede utilizar broca de conos móviles por su economía, la formación es abrasiva con alta profundidad y puede dar resultados aceptables, como opción se presenta la broca BAKER MXL-66 IADC 647 con insertos de carburo de tungsteno para formaciones medias a duras, VAREL CH-54 IADC 637X (X-inserto en forma de cincel), con insertos de carburo de tungsteno para formaciones medias a duras.

BHA #3

Tipo de broca: SMITH S516, broca de cortadores fijos PDC, cuerpo en Acero (S) con 5 aletas y cortadores de 16 mm, para formaciones de dureza media-dura.

Equivalencia código IADC: S222, broca de cortadores fijos con cuerpo en Acero, para formaciones de dureza suave, cortadores PDC 19 mm, perfil corto.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación, la broca con cuerpo de matriz brinda mayor resistencia y duración que una de acero, una broca PDC ofrece mayor ROP que una broca de conos móviles, la estructura de corte de 16 mm indica una agresividad media que otorga una mayor duración de los elementos cortantes.

Calificación salida de la broca: Presenta desgaste grado 4 (medio) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 5 (medio-alto), característica desgaste (BT) cortadores rotos, localización toda el área de la broca, rodamientos no aplica para broca PDC, condición del calibre dentro de los límites. Otra característica de desgaste que presenta (WT) son los cortadores gastados, condición de salida de la broca por llegada a profundidad de Casing.

Análisis de estado de Broca VS Litología: Según lo observado en el registro correspondiente al pozo USCO-103, se presentan areniscas sucias y lutitas dentro del intervalo comprendido entre los 7584 y 12301 ft de profundidad, esta litología se caracteriza por una dureza media- baja y poco abrasiva, además los cambios de litología pueden generar problemas de vibración, cambio del ángulo y se debe mantener control sobre los parámetros WOB y RPM para no desgastar excesivamente la broca.

Con base a la anterior descripción se observa desgaste alto, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP. La broca seleccionada obtuvo un excelente rendimiento, no hubo necesidad de cambio y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes.

Al usar broca PDC en el pozo, se obtuvo un resultado efectivo, pero también se puede utilizar broca de conos móviles por su economía, la formación es abrasiva con alta profundidad y puede dar resultados aceptables, como opción se presenta la broca BAKER MXL-44C IADC 627 con insertos de carburo de tungsteno para formaciones medias a duras.

BHA #4

Tipo de broca: SMITH M516, broca de cortadores fijos PDC, cuerpo en Matriz (M) con 5 aletas y cortadores de 16 mm, para formaciones de dureza media-dura.

Equivalencia código IADC: M323, broca de cortadores fijos con cuerpo en Matriz, para formaciones de dureza media-suave, cortadores PDC 16 mm, perfil medio.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación, la broca con cuerpo de acero brinda dureza y rendimiento aceptable, una broca PDC ofrece mayor ROP que una broca de conos móviles, la estructura de corte de 19 mm indica una agresividad baja que otorga una mayor duración de los elementos cortantes y un perfil bajo mayor contacto con la formación.

Calificación salida de la broca: Presenta desgaste grado 2 (bajo) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 3 (bajo-medio), característica de desgaste (WT), cortadores gastados, localización toda el área de la broca, rodamientos no aplica para broca PDC, condición del calibre dentro de los límites, no presenta otra característica de desgaste, condición de salida de la broca por llegada a profundidad de Casing.

Con base a la anterior descripción se observa desgaste bajo, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP, la broca seleccionada obtuvo un excelente rendimiento, no hubo necesidad de cambio y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes.

Al usar broca PDC en el pozo se obtuvo un resultado efectivo, pero también se puede utilizar broca de conos móviles por su economía, la formación es media-blanda, poca profundidad y puede dar resultados aceptables, como opción se presenta la broca VAREL ETD-44 IADC 617X (X-inserto en forma de cincel), con insertos de carburo de tungsteno para formaciones dureza media.

POZO 4

Nombre: Usco-104

Ubicación: Huila

Profundidad: 12490ft.

Características del registro:

Gamma Ray.

Escala Gamma Ray, 0-200 API.

Se inicia el registro a los 9874ft de profundidad.

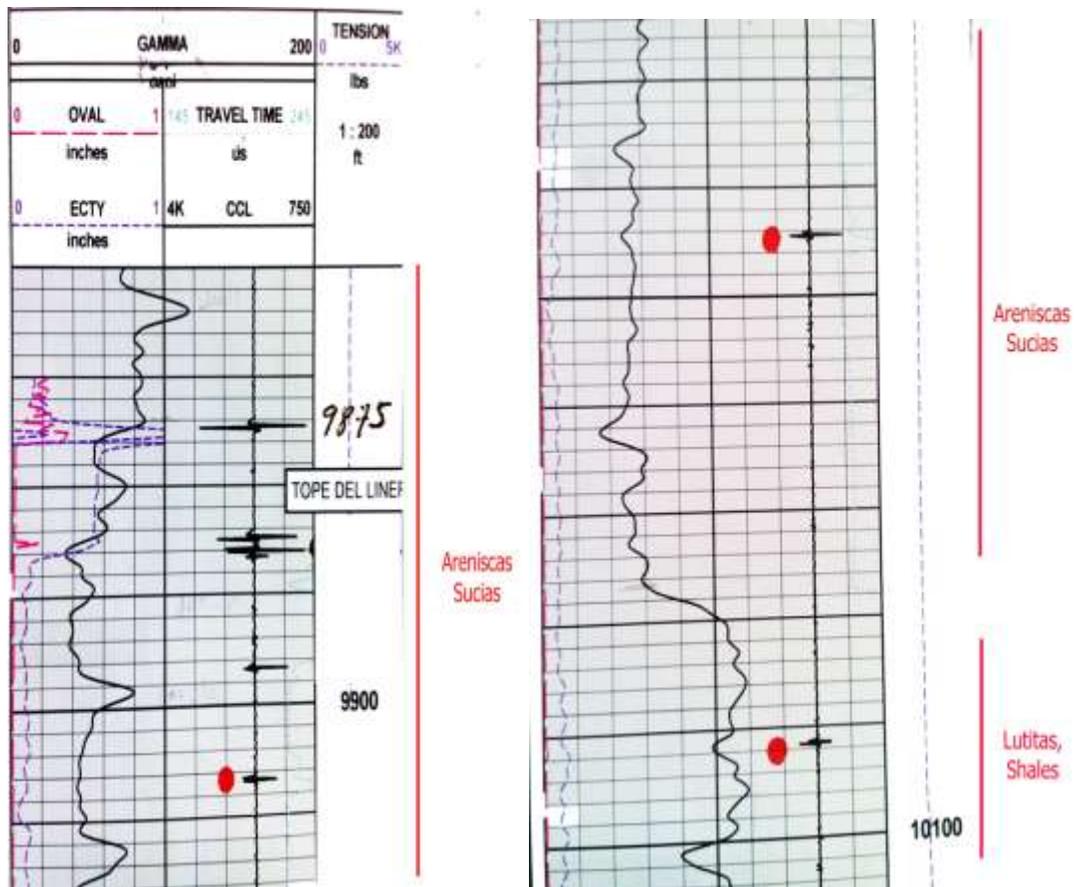


Figura 63. Fragmento registro pozo USCO-104.

En este registro se observa que al iniciar la curva indica presencia de lutitas o shales (>100 API), seguido por areniscas sucias (40-80 API) que continúan hasta una profundidad de 10080ft, donde se manifiesta un cambio en la curva del registro.

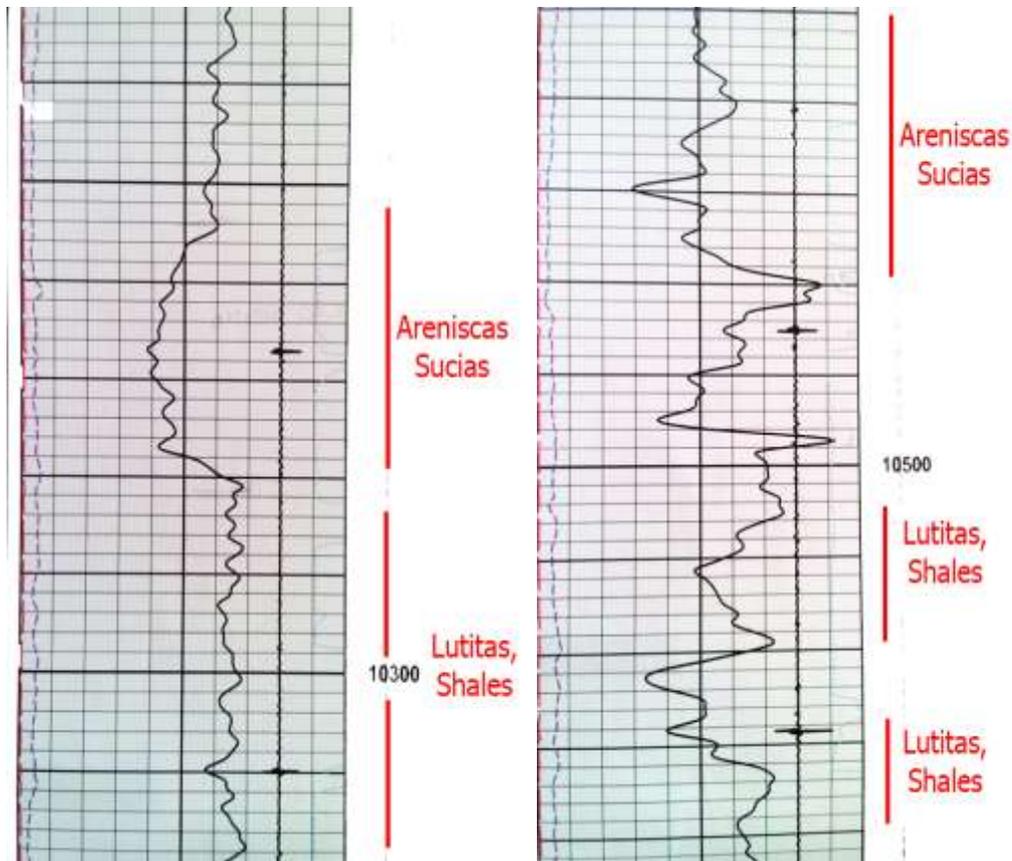


Figura 64. Fragmento registro pozo USCO-104.

A partir de los 10100ft hasta los 10250ft de profundidad predominan las formaciones arcillosas, Lutitas o Shales, seguido de intercalaciones de lutitas y areniscas sucias.

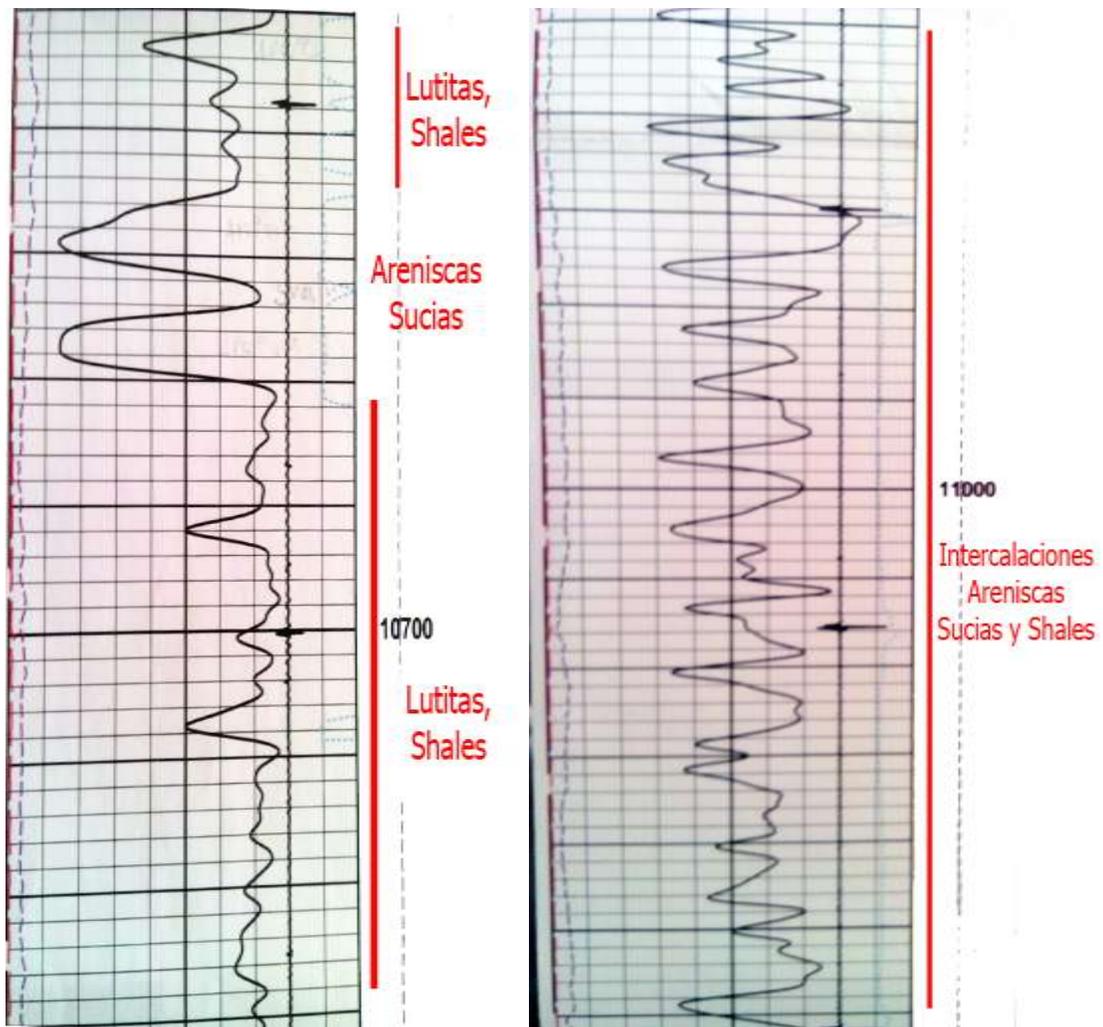


Figura 65. Fragmento registro pozo USCO-104.

Continuando con esta sección se conservan las intercalaciones entre Areniscas sucias y Shales desde los 10500ft hasta los 11250ft de profundidad.

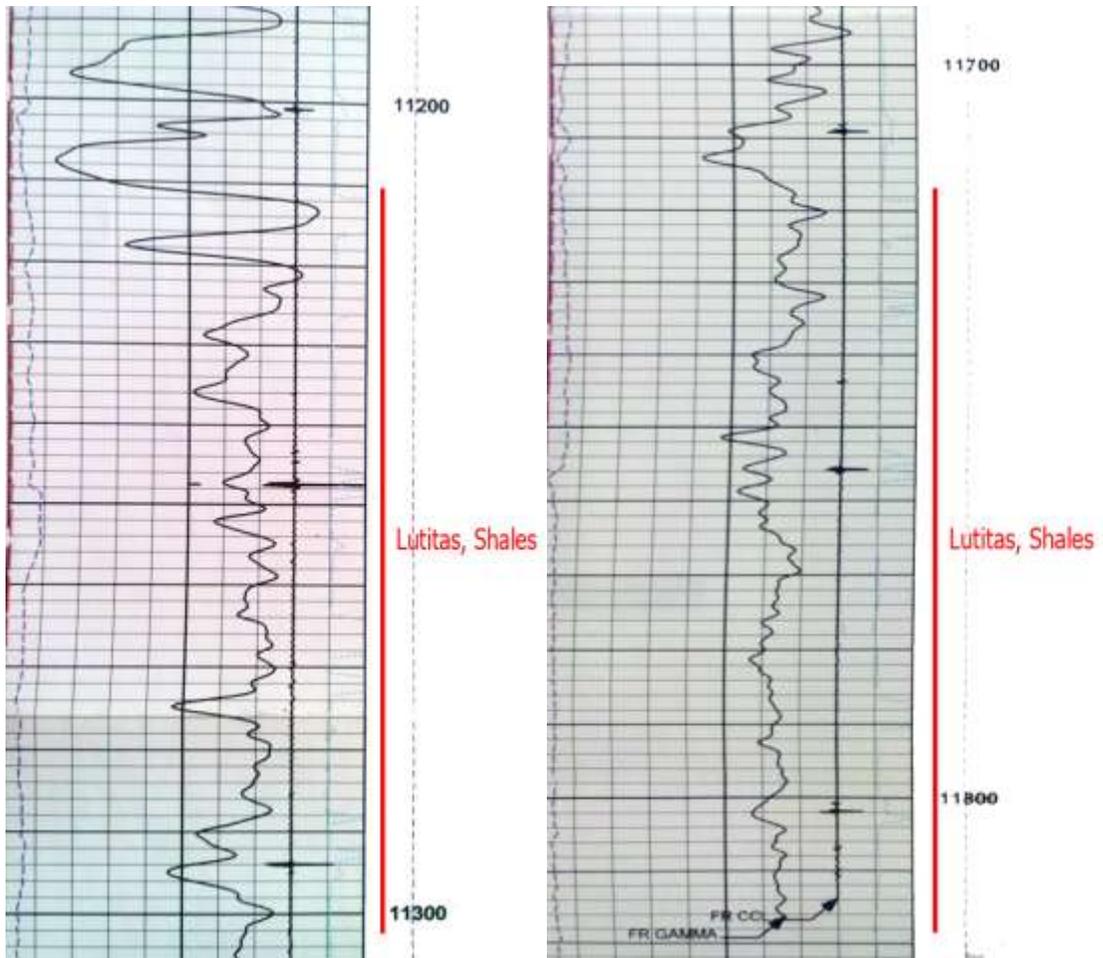


Figura 66. Fragmento registro pozo USCO-104.

Después de los 11250ft se encuentra un bloque masivo de formaciones arcillosas hasta los 11860ft de profundidad.

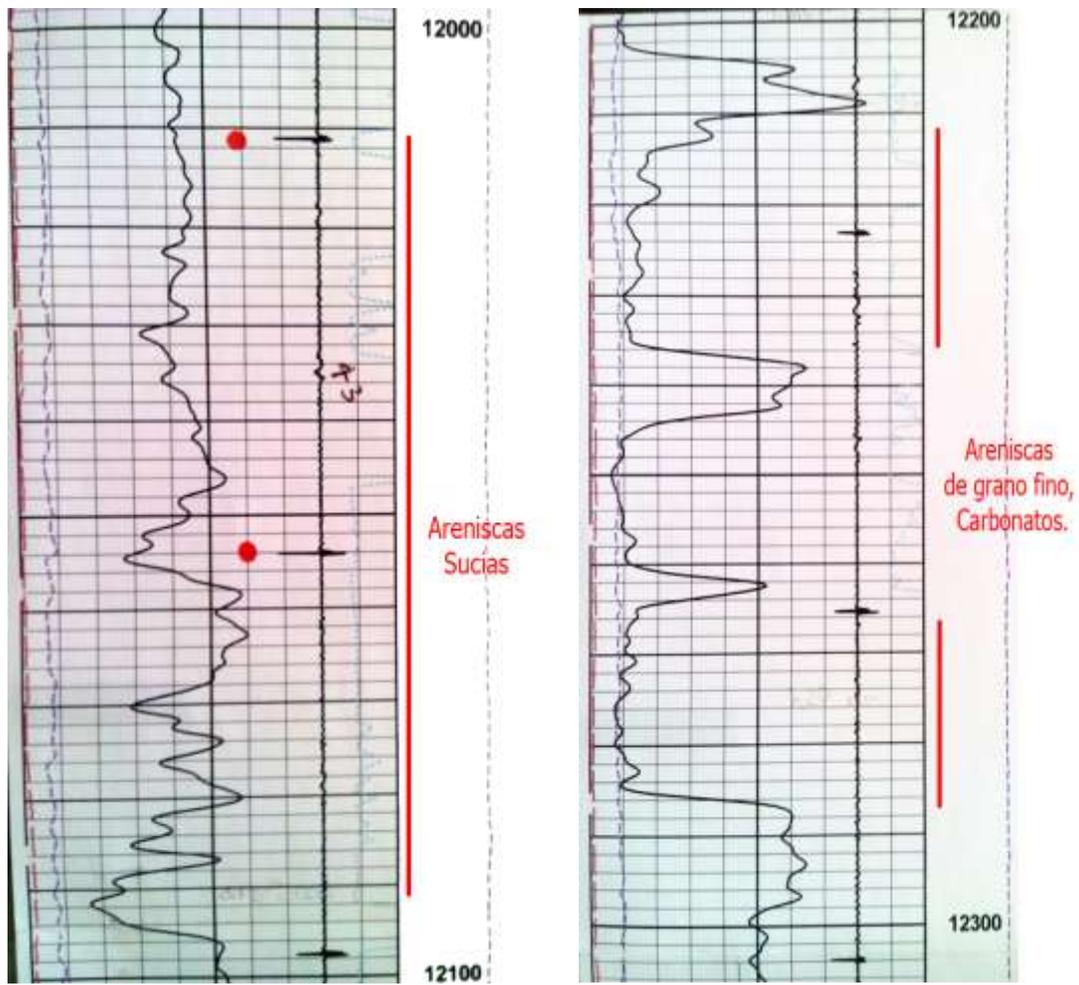


Figura 67. Fragmento registro pozo USCO-104.

Partiendo de la sección de formaciones arcillosas se encuentra un bloque de arenas sucias hasta los 12200ft, en donde se observa una formación de bajo API que concuerda con arenas de grano fino o carbonatos (12300ft de profundidad), seguido por una sección de Shale (12450ft) donde se presenta la zona de interés.

Análisis litológico

Según la información aportada por los registros indica la presencia de formaciones de tipos arenosos y arcillosos. Que ostenta la siguiente litología:

Tabla 21. Litología pozo USCO-104.

Nombre/Convención	U. API	Dureza	Descripción
 Arenisca	<40	Media-Alta	De grano fino a medio, compacta.
 Arenisca Sucia	<80	Media-Baja	Arenisca con contenido de arcilla.
 Caliza	<30	Baja	Carbonato.
 Lutitas	>80	Baja	Formaciones arcillosas y blandas.

Esta coincide con la litología presente en la columna estratigráfica de la cuenca del valle superior del magdalena.

Basado en la información anterior, se concluye que las rocas presentes en el pozo USCO 104, tienen un rango de dureza alta a baja.

POZO USCO-104

POZO USCO-104								
BHA No.	BROCA No.	DIAMETRO IN.	FABRICANTE	TIPO	TAMAÑO BOQUILLAS	PROFUNDIDAD ENTRA	SALE	PIES PERF
1	1	26,00	VAREL	L131	4X16	0	621	621
2	2	17 1/2"	HALLIBURTON	XT24-XT27	6X15	621	4404	3783
3	3	12 1/4"	SMITH	M516	7X 12	4404	10080	5676
4	4	8 1/2"	SMITH	S516	5X12	10080	12447	2367
5	5	6	SMITH	XR20TY	6X12	12447	12600	153

POZO USCO-104							
HORAS Efectiva	ROP efec pie/hr	WOB klbs	RPM	GPM	SPP psi	MW lpg	VIS P cps
10,05	61,79	4 - 10	30 - 50	150 - 365	150 - 250	8,4	10
80,53	46,98	5-30	64 - 109	400 - 680	400-800	8,4-9,4	10 - 14.
70,32	80,72	4-12	60-80	300-350	700-900	8,4	10
55,36	42,76		120	450	1200-2800	9,8-10,3	14-18
25,15	6,08	5-20	98-140	350-500	1800-3200	10,3-10,6	20-23

CALIFICACIÓN							
I	O	D	L	B	G	O	RP
1	1	WT	A	E	I	NO	BHA
4	5	WT	A	E	I	FC	TD
4	6	WT	S	X	I	CT	TD
2	3	WT	A	X	I	NO	TD
1	1	WT	A	X	I	NO	LOG

BHA # 1

Tipo de broca: VAREL L131, broca tricónica estándar de dientes de acero, para formaciones de dureza suave-media.

Equivalencia código IADC: 131S, broca tricónica estándar para formaciones de dureza suave-media baja resistencia compresiva, rodamiento no sellado de rodillos estándar.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación, la broca con conos móviles ofrece fiabilidad y rendimiento aceptable, amplia gama y aplicable a cualquier formación.

Calificación salida de la broca: Presenta desgaste grado 1 (bajo) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 1 (bajo), característica desgaste (WT) dientes gastados, localización toda el área de la broca, rodamientos con sello efectivo, condición del calibre dentro de los límites, no presenta otra característica de desgaste, condición de salida de la broca por cambio de BHA.

Con base a la anterior descripción se observa desgaste medio, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP. La broca seleccionada obtuvo un buen rendimiento, no hubo necesidad de cambio y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes. Al usar broca de conos móviles estándar en el pozo, se obtuvo un resultado óptimo, pero también se puede utilizar broca de conos móviles con dientes de acero como la TIX CORP MSS, IADC 131.

Se debe tener en cuenta que una broca de conos móviles debe ser usada con moderación y buenas prácticas de perforación para prolongar su vida útil, debido a los componentes móviles y la naturaleza de sus cortadores que afecta la ROP y las horas de trabajo.

BHA #2

Tipo de broca: HALLIBURTON XT24-XT27, broca de conos móviles con insertos PDC, para formaciones blandas-media.

Equivalencia código IADC: 525, broca de conos móviles con insertos en carburo de tungsteno, para formaciones de dureza suave-media dura, rodamiento sellado de rodillos con calibre protegido.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación, la broca con conos móviles ofrece fiabilidad y rendimiento aceptable, amplia gama y aplicable a cualquier formación, los insertos de carburo de tungsteno ofrecen mayor dureza para fracturar la roca.

Calificación salida de la broca: presenta desgaste grado 4 (medio) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 5 (medio-alto), característica desgaste (WT) dientes gastados, localización toda el área de la broca, rodamientos con sello efectivo, condición del calibre dentro de los límites, (FC) inserto aplanado como otra característica de desgaste, condición de salida de la broca por llegada a profundidad de casing.

Con base a la anterior descripción se observa desgaste alto, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP, la broca seleccionada obtuvo un excelente rendimiento, no hubo necesidad de cambio y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes. Al usar broca de conos móviles con insertos de carburo de tungsteno en el pozo, se obtuvo un resultado óptimo, pero también se puede utilizar broca de conos móviles con dientes de acero como la VAREL CR3G IADC 135S, VAREL L131 IADC 131, SMITH 3JS IADC 535X (X-inserto en forma de cincel) son insertos en carburo de tungsteno.

Se debe tener en cuenta que una broca de conos móviles debe ser usada con moderación y buenas prácticas de perforación para prolongar su vida útil, debido a los componentes móviles y la naturaleza de sus cortadores que afecta la ROP y las horas de trabajo.

BHA #3

Tipo de broca: SMITH M516, broca de cortadores fijos PDC, cuerpo en Matriz (M) con 5 aletas y cortadores de 16 mm, para formaciones de dureza suave-media.

Equivalencia código IADC: M223, broca de cortadores fijos con cuerpo en Matriz, para formaciones de dureza suave, cortadores PDC 19 mm, perfil medio.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación, la broca con cuerpo de matriz brinda mayor resistencia y duración que una de acero, una broca PDC ofrece mayor ROP que una broca de conos móviles, la estructura de corte de 16 mm indica una agresividad media que otorga una mayor duración de los elementos cortantes.

Calificación salida de la broca: Presenta desgaste grado 4 (medio) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 6 (medio-alto), característica desgaste (WT) cortadores gastados, localización hombro (shoulder) de la broca, rodamientos no aplica para broca PDC, condición del calibre dentro de los límites, como otra característica de desgaste presenta (CT) cortadores astillados, condición de salida de la broca por llegada a profundidad de Casing.

Análisis de estado de Broca VS Litología: Según lo observado en el registro correspondiente al pozo USCO-104, se presentan areniscas, areniscas sucias dentro del intervalo comprendido entre los 4404 y 10080 ft de profundidad, esta litología se caracteriza por una dureza media- baja y abrasividad considerable, además los cambios de litología pueden generar problemas de vibración, cambio del ángulo y se debe mantener control sobre los parámetros WOB y RPM para no desgastar excesivamente la broca.

Con base a la anterior descripción se observa desgaste alto, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP. La broca seleccionada obtuvo un excelente rendimiento, no hubo necesidad de cambio y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes.

Al usar broca PDC en el pozo, se obtuvo un resultado efectivo, pero también se puede utilizar broca de conos móviles por su economía, la formación es abrasiva con alta profundidad y puede dar resultados aceptables, como opción se presenta la broca BAKER GT-28 IADC 527, SMITH F2 IADC 517X (X-inserto en forma de cincel), con insertos de carburo de tungsteno para formaciones medias a duras.

BHA #4

Tipo de broca: SMITH S516, broca de cortadores fijos PDC, cuerpo en Acero (S) con 5 aletas y cortadores de 16 mm, para formaciones de dureza media-dura.

Equivalencia código IADC: S222, broca de cortadores fijos con cuerpo en Acero, para formaciones de dureza media-suave, cortadores PDC 19 mm, perfil corto.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación, la broca con cuerpo de acero brinda dureza y rendimiento aceptable, una broca PDC ofrece mayor ROP que una broca de conos móviles, la estructura de corte de 16 mm indica una agresividad baja que otorga una mayor duración de los elementos cortantes y un perfil bajo mayor contacto con la formación.

Calificación salida de la broca: Presenta desgaste grado 2 (bajo) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 3 (bajo-medio), característica desgaste (WT) cortadores gastados, localización toda el área de la broca, rodamientos no aplica para broca PDC, condición del calibre dentro de los límites, no presenta otra característica de desgaste, condición de salida de la broca por llegada a profundidad de Casing.

Análisis de estado de Broca VS Litología: Según lo observado en el registro correspondiente al pozo USCO-104, se presentan areniscas, areniscas sucias, lutitas y carbonatos dentro del intervalo comprendido entre los 10080 y 12447 ft de profundidad, esta litología se caracteriza por una dureza alta, media- baja y abrasividad considerable,

además, los cambios de litología pueden generar problemas de vibración, cambio del ángulo y se debe mantener control sobre los parámetros WOB y RPM para no desgastar excesivamente la broca.

Con base a la anterior descripción se observa desgaste bajo, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP. La broca seleccionada obtuvo un excelente rendimiento, no hubo necesidad de cambio y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes.

Al usar broca PDC en el pozo, se obtuvo un resultado efectivo, pero también se puede utilizar broca de conos móviles por su economía, la formación es media, profundidad media y puede dar resultados aceptables, como opción se presenta la broca BAKER GX-44G IADC 617, con insertos de carburo de tungsteno, FH43Y IADC 627Y (Y- inserto en forma cónica), para formaciones dureza media.

BHA #5

Tipo de broca: SMITH XR20TY, broca de conos móviles con insertos PDC, para formaciones blandas-media.

Equivalencia código IADC: 527Y, broca de conos móviles con insertos en carburo de tungsteno en forma cónica, para formaciones de dureza suave-media dura, rodamiento sellado de fricción con calibre protegido.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación, la broca con conos móviles ofrece fiabilidad y rendimiento aceptable, amplia gama y aplicable a cualquier formación, los insertos de carburo de tungsteno ofrecen mayor dureza para fracturar la roca.

Calificación salida de la broca: presenta desgaste grado 1 (bajo) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 1 (bajo), característica desgaste (WT) dientes gastados, localización toda el área de la broca, rodamientos con sello efectivo,

condición del calibre dentro de los límites, no presenta otra característica de desgaste, condición de salida de la broca por toma de registros.

Con base a la anterior descripción se observa desgaste mínimo, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP. La broca seleccionada obtuvo un excelente rendimiento, no hubo necesidad de cambio y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes. Al usar broca de conos móviles con insertos de carburo de tungsteno en el pozo, se obtuvo un resultado óptimo, pero también se puede utilizar broca de conos móviles con dientes de acero como la BAKER ATJ-4 IADC 216.

Se debe tener en cuenta que una broca de conos móviles debe ser usada con moderación y buenas prácticas de perforación para prolongar su vida útil, debido a los componentes móviles y la naturaleza de sus cortadores que afecta la ROP y las horas de trabajo.

POZO 5

Nombre: Usco-105

Ubicación: Putumayo.

Profundidad: 8350ft.

Características del registro:

Litológico

El registro litológico no presenta las mismas características de los registros trabajados anteriormente, aquí se observa la litología interpretada basada en muestras de campo tomadas cada 30ft en las zarandas y realizando un análisis que provee una adecuada clasificación de las rocas.

El registro se lee de acuerdo a las convenciones geológicas preestablecidas:

	Caliza Fósil		Ignea (Diorita)
	Caliza Arenosa		Igneous(Gabbro, Peridotite)
	Caliza Dolmítica		Ignea(Riolita, Dacita)
	Dolomita		Ignea(Andesita)
	Yeso		Ignea(Basalto, Komatita)
	Carbón		Cemento
	Metamorfica		No Disponible
	Toba Volcánica		
	Ignea(Granito /Granodiorita)		

Figura 68. Convenciones litológicas comunes.

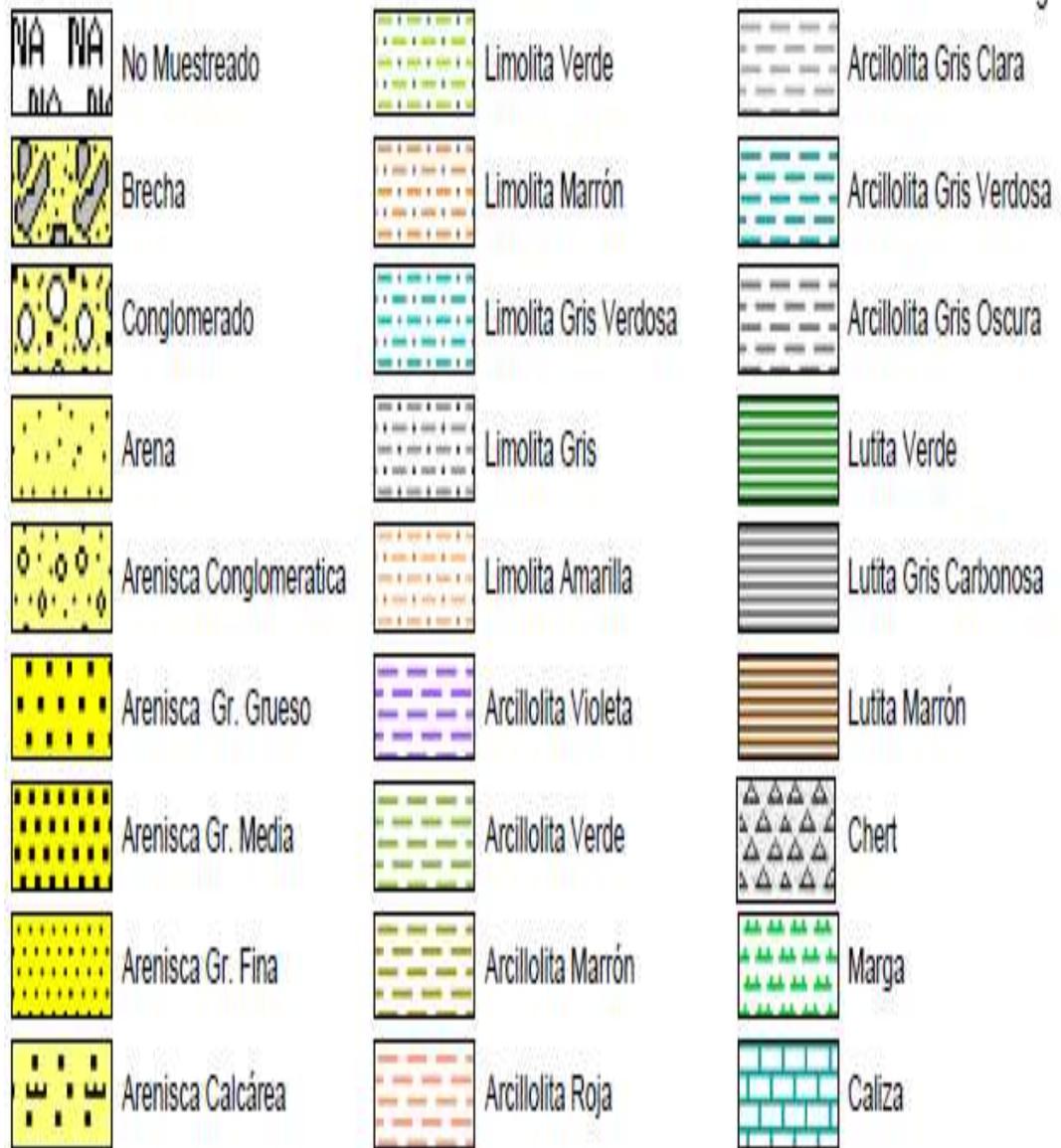


Figura 69. Convenciones litológicas comunes.

Se inicia el registro a 50ft de profundidad.

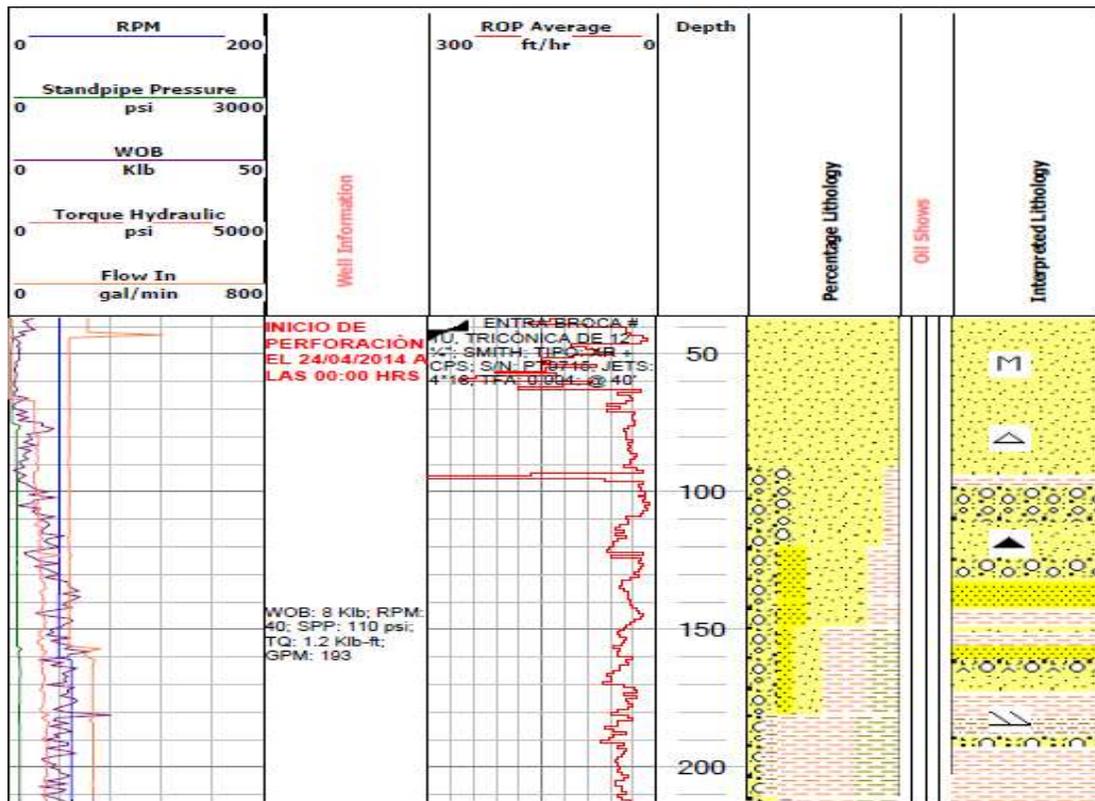


Figura 70. Fragmento registro pozo USCO-105.

Una vez los recortes suben a superficie son clasificados y analizados para determinar qué tipo de litología se encuentra presente y crear la columna estratigráfica como muestra la imagen (figura). En la fracción del registro se puede observar rocas tales como areniscas de grano fino y medio, conglomerados, arcillolitas y arenas.

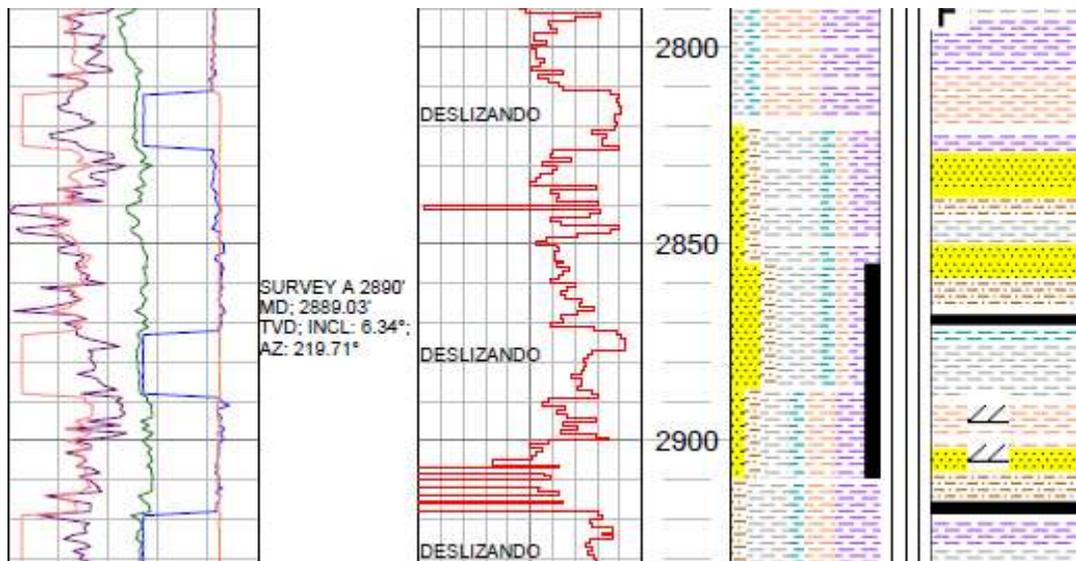


Figura 71. Fragmento registro pozo USCO-105.

Continuando con el registro se observan capas de limolitas, arcillolitas, areniscas y trazas de carbón.

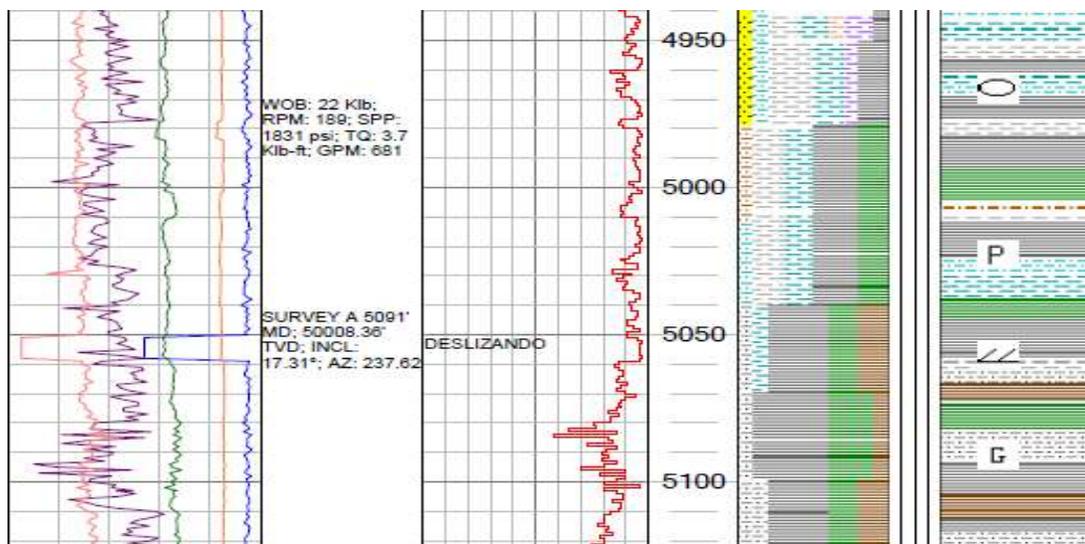


Figura 72. Fragmento registro pozo USCO-105.

En esta sección se denota un cambio en la litología y muestra capas en gran mayoría de lutitas con intercalaciones de arcillolitas.

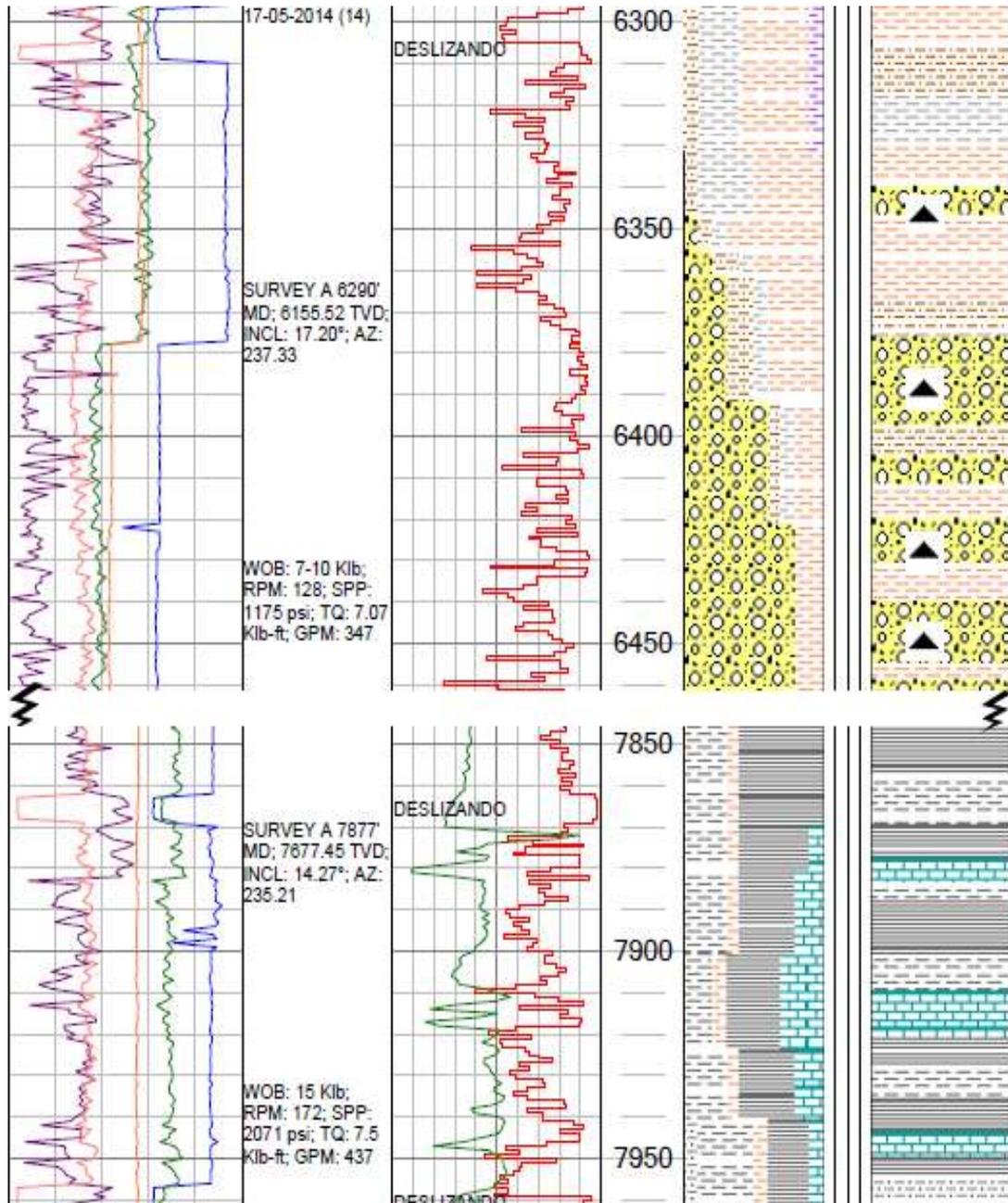


Figura 73. Fragmento registro pozo USCO-105.

En este perfil del registro se manifiesta una sección de arcillolitas y limolitas seguido de un bloque de conglomerados; manteniendo la secuencia hasta encontrarse con una capa de calizas en intercalación con areniscas y arcillolitas.

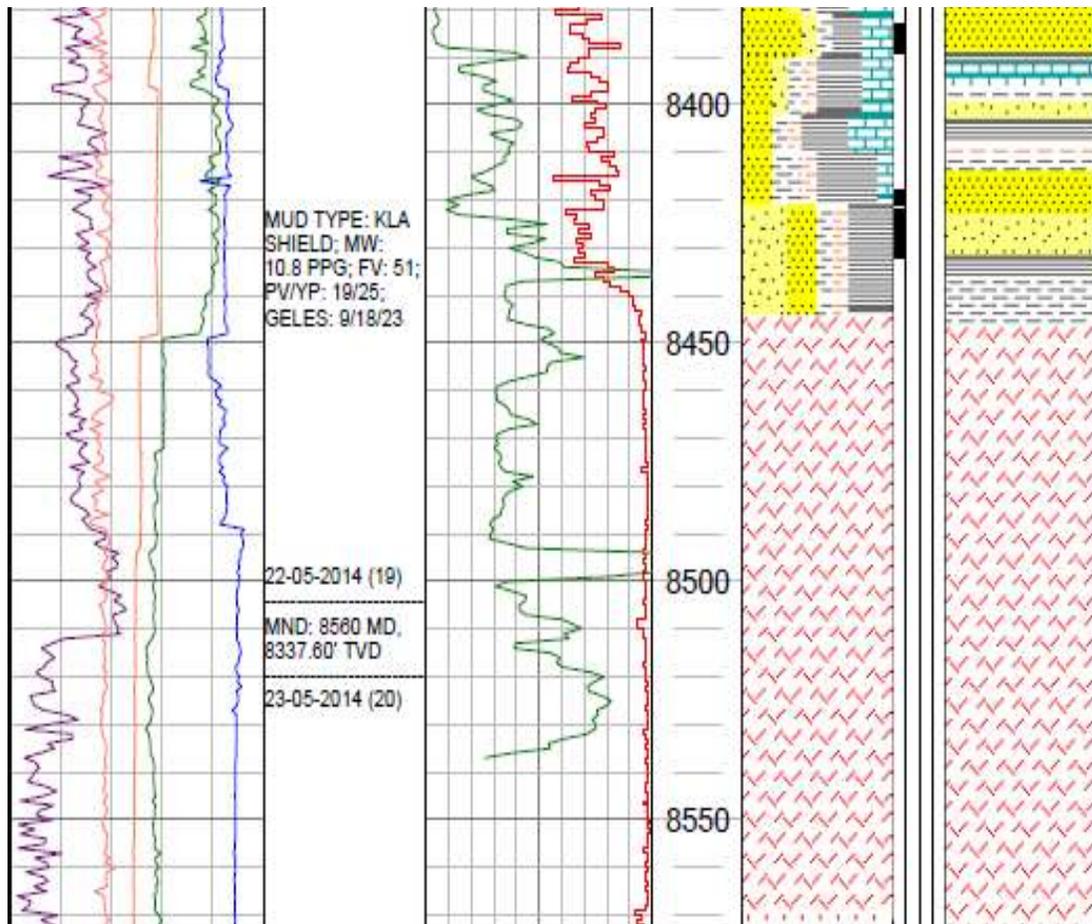


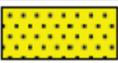
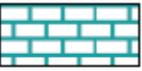
Figura 74. Fragmento registro pozo USCO-105.

Por último el registro presenta un tramo de areniscas, lutitas y arcillolitas, hasta llegar a la zona de interés con presencia de roca ígnea (Diorita).

Análisis litológico

Según la información aportada por los registros ostenta la siguiente litología:

Tabla 22. *Litología pozo USCO-105.*

Nombre/Convención	Dureza	Descripción
 Arenisca	Media-Alta	De grano fino a medio, compacta.
 Limolita	Media-Baja	Arenisca con contenido de arcilla.
 Caliza	Baja	Carbonato.
 Lutitas	Baja	Formaciones arcillosas y blandas.
 Conglomerado	Media-Alta	Compuesto principalmente por fragmentos de chert, muy duro.
 Carbón	Media	Negro quebradizo, moderadamente duro.
 Arcillolita	Baja	Apariencia de lutita, sublaminar, moderadamente firme.
 Ignea (Diorita)	Media	De coloración oscura, grano grueso.

Esta coincide con la litología presente en la columna estratigráfica de la cuenca del Putumayo.

Basado en la información anterior, se concluye que las rocas presentes en el pozo USCO 105, tienen un rango de dureza alta a baja.

POZO USCO-105

USCO-105								
BHA No.	BROCA No.	DIAMETRO IN.	FABRICANTE	TIPO	TAMAÑO BOQUILLAS	PROFUNDIDAD ENTRA	SALE	PIES PERF
1	1U	12 1/4"	SMITH	XR + CPS	4 X 18/32	40	400	360
2	2	12 1/4"	SMITH	MDi519 MHSPX	7 X 12	400	5540	5140
3	3U	8 1/2"	BAKER	GX - 09	3 X 15	5540	5541	1
4	4	8 1/2"	SMITH	MSi519HUBPX	7x10	5541	7178	1637
5	5	8 1/2"	SMITH	MSi519HUBPX	7X10	7178	8573	1395
6	6U	6 1/8"	BAKER	XR+CPS	FO	-	-	-

USCO-105							
HORAS Efectiva	ROP efec pie/hr	WOB klbs	RPM	GPM	SPP psi	MW lpg	VIS P cps
10,05	35,82	4 - 10	30 - 50	150 - 365	150 - 250	8,7	10
80,53	63,83	5-30	SUP: 60-80 MM: 64 - 109	400 - 680	400 - 2050	8,7 - 10,0	10 - 14.
0,20	5,00	4-12	SUP: 40-80	300-350	700-1100	8,4	
58,60	27,94	5-20	40-70 / 98-140	350-500	1200-3200	10,2-10,6	13-14
44,50	31,35	5-15	40-80 / 109-140	390-500	1750-2300	10,6-10,8	15-25
-	-	-	-	-	-	-	-

CALIFICACIÓN							
I	O	D	L	B	G	O	RP
1	1	WT	A	E	I	NO	BHA
2	4	WT	A	X	I	BT	TD
2	4	BT	A	E	I	WT	TD
4	5	BT	S	X	I	RO	BHA
3	1	BT	S	X	I	CT	TD
1	3	BT	S	E	I	WT	LOG

BHA # 1

Tipo de broca: SMITH XR+CPS, broca tricónica de dientes fresados, Explorer para formaciones blandas.

Equivalencia código IADC: 115, 117, broca tricónica estándar para formaciones blandas.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación, la broca con conos móviles ofrece fiabilidad y rendimiento aceptable, amplia gama y aplicable a cualquier formación.

Calificación salida de la broca: Presenta desgaste grado 1 (bajo) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 1 (bajo), característica desgaste (WT) dientes gastados, localización toda el área de la broca, rodamientos con sello efectivo, condición del calibre dentro de los límites, no presenta otra característica de desgaste, condición de salida de la broca por cambio de BHA.

Análisis de estado de Broca VS Litología: Según lo observado en el registro correspondiente al pozo USCO-105, se presentan areniscas, arcillolitas y conglomerados dentro del intervalo comprendido entre los 40 y 400 ft de profundidad, esta litología se

caracteriza por una dureza alta-baja y abrasividad considerable, además los cambios de litología pueden generar problemas de vibración, cambio del ángulo y se debe mantener control sobre los parámetros WOB y RPM para no desgastar excesivamente la broca.

Con base a la anterior descripción se observa desgaste bajo, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP. La broca seleccionada obtuvo un buen rendimiento, aun con la presencia de conglomerados en la zona, no hubo necesidad de cambio y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes. Al usar broca de conos móviles estándar en el pozo, se obtuvo un resultado óptimo, pero también se puede utilizar broca de conos móviles con dientes de acero como la BAKER GT-1 IADC 117, VAREL CH1G IADC 117S.

Se debe tener en cuenta que una broca de conos móviles debe ser usada con moderación y buenas prácticas de perforación para prolongar su vida útil, debido a los componentes móviles y la naturaleza de sus cortadores que afecta la ROP y las horas de trabajo.

BHA #2

Tipo de broca: SMITH MDi519 MHSPX, (D-certificación Direccional IDEAS) (I-certificación IDEAS), broca de cortadores fijos pdc direccional, cuerpo en Matriz (M) con 5 aletas y cortadores de 19 mm, para formaciones de dureza media-dura.

Equivalencia código IADC: M223, broca de cortadores fijos con cuerpo en Matriz, para formaciones de dureza suave, cortadores PDC 19 mm, perfil medio.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación, la broca con cuerpo de matriz brinda mayor resistencia y duración que una de acero, una broca PDC ofrece mayor ROP que una broca de conos móviles, la estructura de corte de 19 mm indica una agresividad baja que otorga una mayor duración de los elementos cortantes.

Calificación salida de la broca: Presenta desgaste grado 2 (bajo) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 4 (medio), característica desgaste

(WT) dientes gastados, localización toda el área de la broca, rodamientos no aplica para broca PDC, condición del calibre dentro de los límites, (BT) cortadores rotos como otra característica de desgaste, condición de salida de la broca por llegada a profundidad de casing.

Análisis de estado de Broca VS Litología: Según lo observado en el registro correspondiente al pozo USCO-105, se presentan areniscas, limolitas y arcillolitas dentro del intervalo comprendido entre los 400 y 5540 ft de profundidad, esta litología se caracteriza por una dureza media- baja y poca abrasividad, los cambios de litología pueden generar problemas de vibración, cambio del ángulo y se debe mantener control sobre los parámetros WOB y RPM para no desgastar excesivamente la broca.

Con base a la anterior descripción se observa desgaste medio, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP. La broca seleccionada obtuvo un excelente rendimiento, no hubo necesidad de cambio y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes. Al usar broca PDC en el pozo, se obtuvo un resultado efectivo, otras alternativas como la SMITH SD519 IADC S123, VAREL VTD519 IADC M223, son candidatos para la elección.

BHA #3

Tipo de broca: BAKER GX-09, broca de conos móviles con insertos PDC, para formaciones blandas-media.

Equivalencia código IADC: 437, broca de conos móviles con insertos en carburo de tungsteno, para formaciones de dureza suave, rodamiento sellado de fricción con calibre protegido.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación, la broca con conos móviles ofrece fiabilidad y rendimiento aceptable, amplia gama y aplicable a cualquier formación, los insertos de carburo de tungsteno ofrecen mayor dureza para fracturar la roca.

Calificación salida de la broca: Presenta desgaste grado 2 (bajo) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 4 (medio), característica desgaste (BT) cortadores rotos, localización toda el área de la broca, rodamientos con sello efectivo, condición del calibre dentro de los límites, (WT) cortadores gastados como otra característica de desgaste, condición de salida de la broca por llegada a profundidad de casing.

Con base a la anterior descripción se observa desgaste bajo-medio, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP. La broca seleccionada obtuvo un excelente rendimiento, no hubo necesidad de cambio y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes. Al usar broca de conos móviles con insertos de carburo de tungsteno en el pozo, se obtuvo un resultado óptimo, también se puede utilizar broca de conos móviles con insertos en carburo de tungsteno como la BAKER MX-09G IADC 437, SMITH F10 IADC 437X (X-inserto en forma de cincel), también se puede utilizar broca de conos móviles con dientes de acero como la BAKER GT-1 IADC 117, VAREL CH1G IADC 117, SMITH FDGH IADC 137.

Se debe tener en cuenta que una broca de conos móviles debe ser usada con moderación y buenas prácticas de perforación para prolongar su vida útil, debido a los componentes móviles y la naturaleza de sus cortadores que afecta la ROP y las horas de trabajo.

BHA #4

Tipo de broca: SMITH MSi519HUBPX, broca de cortadores fijos PDC, (S) Sharc-formaciones altamente abrasivas, cuerpo en Matriz (M) con 5 aletas y cortadores de 19 mm, para formaciones de dureza suave-media.

Equivalencia código IADCM223, broca cortadores fijos con cuerpo en Matriz, para formaciones de dureza suave, cortadores PDC 19 mm, perfil medio.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación, la broca con cuerpo de matriz brinda mayor resistencia y duración que una de acero, una broca PDC ofrece mayor ROP que una broca de conos móviles, la estructura de corte de 19 mm indica una agresividad baja que otorga una mayor duración de los elementos cortantes.

Calificación salida de la broca: Presenta desgaste grado 4 (medio) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 5 (medio-alto), característica desgaste (BT) cortadores rotos, localización hombro (shoulder), rodamientos no aplica para broca PDC, condición del calibre dentro de los límites, (RO) Anillamiento como otra característica de desgaste, condición de salida de la broca por cambio de BHA.

Análisis de estado de Broca VS Litología: Según lo observado en el registro correspondiente al pozo USCO-105, se presentan arcillolitas y conglomerados dentro del intervalo comprendido entre los 5541 y 7178 ft de profundidad, esta litología se caracteriza por una dureza alta-baja y abrasividad considerable, los cambios de litología pueden generar problemas de vibración, cambio del ángulo y se debe mantener control sobre los parámetros WOB y RPM para no desgastar excesivamente la broca.

Con base a la anterior descripción se observa desgaste medio-alto, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP, la presencia de conglomerados en la zona aumenta el desgaste de la broca aun así la broca seleccionada obtuvo un rendimiento aceptable, solo hubo necesidad de cambio por otras razones no por desgaste y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes. Al usar broca PDC en el pozo,

se obtuvo un resultado efectivo, pero también se puede utilizar broca de conos móviles por su economía, la formación es media, profundidad media y puede dar resultados aceptables, como opción se presenta la broca SMITH F2 IADC 517X (X-insertos en forma de cincel), BAKER GT-20 IADC 517, con insertos de carburo de tungsteno, para formaciones dureza media.

Se debe tener en cuenta que una broca de conos móviles debe ser usada con moderación y buenas prácticas de perforación para prolongar su vida útil, debido a los componentes móviles y la naturaleza de sus cortadores que afecta la ROP y las horas de trabajo.

BHA #5

Tipo de broca: SMITH MSi519HUBPX, broca de cortadores fijos PDC, (S) Sharc- formaciones altamente abrasivas, cuerpo en Matriz (M) con 5 aletas y cortadores de 19 mm, para formaciones de dureza suave-media.

Equivalencia código IADCM223, broca cortadores fijos con cuerpo en Matriz, para formaciones de dureza suave, cortadores PDC 19 mm, perfil medio.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación, la broca con cuerpo de matriz brinda mayor resistencia y duración que una de acero, una broca PDC ofrece mayor ROP que una broca de conos móviles, la estructura de corte de 19 mm indica una agresividad baja que otorga una mayor duración de los elementos cortantes.

Calificación salida de la broca: Presenta desgaste grado 3 (medio) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 1 (bajo), característica desgaste (BT) cortadores rotos, localización hombro (shoulder), rodamientos no aplica para broca PDC, condición del calibre dentro de los límites, (CT) cortadores astillados como otra característica de desgaste, condición de salida de la broca por llegada a profundidad de casing.

Análisis de estado de Broca VS Litología: Según lo observado en el registro correspondiente al pozo USCO-105, se presentan areniscas, calizas, arcillolitas y rocas

ígneas dentro del intervalo comprendido entre los 7178 y 8573 ft de profundidad, esta litología se caracteriza por una dureza alta-baja y abrasividad considerable, los cambios de litología pueden generar problemas de vibración, cambio del ángulo y se debe mantener control sobre los parámetros WOB y RPM para no desgastar excesivamente la broca.

Con base a la anterior descripción se observa desgaste bajo, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP. La broca seleccionada obtuvo un rendimiento aceptable, no hubo necesidad de cambio y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes. Al usar broca PDC en el pozo, se obtuvo un resultado efectivo, pero también se puede utilizar broca de conos móviles por su economía, la formación es media, profundidad media y puede dar resultados aceptables, como opción se presenta la broca SMITH F2 IADC 517X (X-insertos en forma de cincel), BAKER GT-20 IADC 517, con insertos de carburo de tungsteno, para formaciones dureza media.

Se debe tener en cuenta que una broca de conos móviles debe ser usada con moderación y buenas prácticas de perforación para prolongar su vida útil, debido a los componentes móviles y la naturaleza de sus cortadores que afecta la ROP y las horas de trabajo.

BHA #6

Tipo de broca: SMITH XR+CPS, broca tricónica de dientes fresados, Explorer para formaciones blandas.

Equivalencia código IADC: 115, 117, broca tricónica estándar para formaciones blandas.

Se selecciona esta broca por la dureza que presenta la formación, la broca con conos móviles ofrece fiabilidad y rendimiento aceptable, amplia gama y aplicable a cualquier formación.

Calificación salida de la broca: Presenta desgaste grado 1 (bajo) en los elementos internos, elementos cortadores externos desgaste grado 3 (bajo-medio), característica desgaste (BT) dientes rotos, localización desgaste hombro (shoulder), rodamientos con

sello efectivo, condición del calibre dentro de los límites, (WT) dientes gastados como otra característica de desgaste, condición de salida de la broca por toma de registros.

Con base a la anterior descripción se observa desgaste medio, tomando en cuenta la profundidad perforada y la ROP, la broca seleccionada obtuvo un buen rendimiento, no hubo necesidad de cambio y por lo tanto es una buena alternativa en la selección de futuros proyectos adyacentes. Al usar broca de conos móviles estándar en el pozo, se obtuvo un resultado óptimo, pero también se puede utilizar broca de conos móviles con dientes de acero como la BAKER GT-1 IADC 117, VAREL CH1G IADC 117S.

Se debe tener en cuenta que una broca de conos móviles debe ser usada con moderación y buenas prácticas de perforación para prolongar su vida útil, debido a los componentes móviles y la naturaleza de sus cortadores que afecta la ROP y las horas de trabajo.

4.2 ANALISIS LITOLÓGÍA POZOS DE REFERENCIA

Una forma adecuada para seleccionar la broca es conocer la dureza de las rocas basados en la información e interpretación de los registros (Gamma Ray, SP, Litológico, etc.). Como anteriormente se explicó y determinó, con los cinco (5) pozos de referencia, se encontraron diversas litologías y mezclas (intercalaciones). A continuación se expone cada una de ellas; mostrando que clase de brocas utilizar para estos tipos de rocas y su adecuada perforación.

- El análisis de la litología de los pozos, se realizó mediante la observación de las curvas de los registros GR y SP, los cuales nos dan una interpretación aproximada de la litología presente en la formación; debido a esto no se puede decir con exactitud qué roca es, pero se puede conocer a qué grupo pertenece (arenoso, carbonatos, arcillosos) y la dureza aproximada (blanda, media, dura).

Las siguientes tablas muestran las características de cada litología, clasificación según dureza y código IADC de las brocas recomendadas a usar.

POZOS: USCO-101; 103.

Litología presente:

Tabla 23. Litología pozos USCO-101; 103.

Litología	Características	Resistencia a la compresión (Mpa)	Clasificación	Código IADC (conos móviles/cortadores fijos)	
Areniscas	Medianamente duras, alta densidad, alta resistencia, abrasivas.	160-255	Dura	537-637	442-613
Areniscas sucias	Medianamente débiles, baja resistencia, intercalaciones duras.	70-160	Media-Blanda	131-137/415-527	432-323
Lutitas	Formación débil, baja resistencia.	70	Blanda	121-127	223-122

Esta tabla aplica para los tres (3) pozos.

POZO: USCO-104.

Tabla 24. Litología pozos USCO-104..

Litología	Características	Resistencia a la compresión (Mpa)	Clasificación	Código IADC (conos móviles/cortadores fijos)	
Areniscas	Medianamente duras, alta densidad, alta resistencia, abrasivas.	160-255	Dura	537-637	442-613
Areniscas sucias	Medianamente débiles, baja resistencia, intercalaciones duras.	70-160	Media-Blanda	131-137/415-527	432-323
Lutitas	Formación débil, baja resistencia.	70	Blanda	121-127	223-122
Caliza	Medianamente duras, abrasivas.	50-200	Media-Dura	234	433

POZO: USCO-105.

Litología	Características	Resistencia a la compresión (Mpa)	Clasificación	Código IADC (conos móviles/cortadores fijos)	
Areniscas	Medianamente duras, alta densidad, alta resistencia, abrasivas.	160-255	Dura	537-637	442-613
Arcillolitas	Medianamente débiles, baja resistencia, intercalaciones duras.	70-160	Media-Blanda	131-137/415-527	432-323
Lutitas	Formación débil, baja resistencia.	70	Blanda	121-127	223-122
Caliza	Medianamente duras, abrasiva.	50-200	Media-Dura	234	433
Conglomerado	Formaciones duras, alta resistencia, lentes abrasivos.	140	Dura	727	732
Diorita (ígneas)	Medianamente duras, alta densidad, alta resistencia, abrasivas.	100-250	Media-Dura	626	423

Tabla 25. Litología pozo USCO-105.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los registros a hueco abierto no inician en superficie, en consecuencia, esta puede ser una limitante para este procedimiento de selección de brocas, sin embargo, se pueden obtener registros más completos para mejorar la efectividad al momento de realizar la correlación de los registros, litología y bit records.

En un proyecto de perforación, la selección de brocas se basa en la litología debido a que se obtiene información de las propiedades de las rocas, profundidad de la formación, abrasividad, entre otras, que determinan las características de las brocas; que deben tenerse en cuenta para un mejor rendimiento, en este caso serían de conos móviles o de cortadores fijos.

Se plantea como procedimiento para selección de brocas la correlación de litología, porque se analiza la información necesaria de los pozos adyacentes, permitiendo partir de datos reales para realizar esta selección, aportando mayor confiabilidad.

Conocer a fondo las características, propiedades y funciones de los elementos presentes en el proceso de la perforación y lograr optimizar los proyectos que se realizan en los diversos campos petroleros, ayudando a obtener una buena selección de broca, perforación y producción de hidrocarburos. Se recomienda de acuerdo a la evaluación de las brocas, el uso de estas que sean de cortadores fijos PDC, debido a su alto rendimiento que quedó demostrado en los análisis de los registros; además, su costo y amplia gama ha mejorado. La selección de brocas para perforar un pozo debe basarse en análisis históricos y experiencias, sin embargo, estas decisiones dependen de la empresa apoyándose en los costos y presupuesto.

El procedimiento de correlación litológica planteado no es exacto, pero puede usarse como herramienta adicional al momento de seleccionar el tipo de broca a utilizar según la litología de los pozos futuros. Además, permite obtener información a base de datos reales convenientes tanto para las empresas dedicadas a la perforación como a fabricantes de brocas, con el fin

de seleccionar el tipo de brocas a utilizar de acuerdo a las condiciones encontradas en los pozos estudiados, para que puedan utilizarse en cualquier otro pozo en condiciones similares.

Para mejorar este procedimiento se debe invertir un poco más con el fin de obtener registros a hueco abierto a mayor profundidad, para realizar la correlación litológica con mayor exactitud.

Entre más tipos de registros se obtengan para la selección de brocas con este procedimiento, mayor será la exactitud dando una mejor perspectiva de las condiciones del pozo; por lo tanto, se recomienda el uso del registro Neutrón y Densidad para conocer el tipo de roca presente en la formación.

Con el propósito de corroborar el estudio realizado se recomienda comparar la litología obtenida de los registros con la columna estratigráfica del área de estudio. Debido a la privacidad que se le da a este tipo de información es difícil realizar un estudio más complejo, por lo tanto, las empresas petroleras deberían facilitar el acceso a este tipo de documentos, para así mejorar estos procedimientos de selección de brocas.

Los bit records, muestran variables adicionales a la condición de salida de la broca como son las revoluciones por minuto (rpm) y el peso sobre la broca (wob), asimismo si se realizaron buenas prácticas de perforación las cuales se influyen en la condición de salida de la misma y puede utilizarse como información adicional para la correlación litológica y para mejorar a futuro este procedimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Halliburton Security Drill Bits and Services. (2006). The Bit Runner's Handbook.(archivo PDF). Recuperado de <http://www.halliburton.com>

Halliburton Security Drill Bits and Services.(2006). Roller Cone Spec Sheets.(archivo PDF).Recuperado de <http://www.halliburton.com>

Sajad Yoosuf (2007). Broca correcta, aplicación correcta, tiempo adecuado, estudio de mejoramiento de selección de broca, *SPE 106942*.

PEMEX. Guía para la selección de brocas.

International Association of Drilling Contractors.(2000). IADC Drilling Manual.Ebook versión (V.11) (archive PDF).Recuperado de <http://www.iadc.org>.

Halliburton Security Drill Bits and Services.(2006). AEC Roller Cone(archivo PDF). Recuperado de <http://www.halliburton.com>

Halliburton Security Drill Bits and Services.(2006). Level 1 Fixed Cutter(archivo PDF).Recuperado de <http://www.halliburton.com>

PEMEX. (2006). Brocas e Hidráulica de Perforación (archivo PDF).Recuperado de <http://www.pemex.com>

Stephen Ernst, Glynn Krouse, Steve Southland, Mike Azar. (2001). GeoDiamond, Dull Grading Manual (archivo PDF).Recuperado de <http://www.smith.com>.

Reynaldo Ortiz Rios (2012). Reinterpretación litológica a partir de registros de pozos cuenca llanos (tesis de pregrado). Universidad industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Ramiro Javier López Rodríguez. (2012). Estudio de desempeño y rendimiento de brocas de Perforación en el campo Shushufindi para optimizar Tiempos de perforación mediante la aplicación de la Base de datos Phoenix de Halliburton (Tesis de pregrado). Escuela politécnica nacional, Quito, Ecuador.

PORTALES

Well Logging Introduction, octubre de 2015, recuperado de:
http://www.colorado.edu/geolsci/Resources/WUSTectonics/Salt_Tectonics/method.html

CRAIN'S PETROPHYSICAL HANDBOOK, abril de 2013, recuperado de
<http://docslide.us/documents/crains-petrophysical-handbook-visual-analysis-of-lithology-mineralogy.html>

Registros eléctricos. Octubre de 2009, recuperado de:
<http://es.scribd.com/doc/20921479/registros-electricos#scribd>