

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y  
PETRÓLEOS**

**“ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN ÓPTIMA DEL FLUIDO  
MAXDRILL Y SU EFECTO EN LA INHIBICIÓN DE LAS  
FORMACIONES REACTIVAS DEL CAMPO PALO AZUL “**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIEROS EN  
PETRÓLEOS**

**DAVID ISAAC MEZA CULQUI**

**david\_meza650@hotmail.com**

**GABRIELA ALEJANDRA GÓMEZ CARRILLO**

**gabilu2535@hotmail.com**

**DIRECTOR: ING. SEGUNDO GLEN OBANDO PUENTE**

**gobando@qmaxecuador.com**

**Quito, Abril 2012**

## DECLARACIÓN

Nosotros, David Isaac Meza Culqui y Gabriela Alejandra Gómez Carrillo, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestro derecho de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

DAVID ISAAC MEZA CULQUI

---

GABRIELA ALEJANDRA GÓMEZ CARRILLO

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por David Isaac Meza Culqui y Gabriela Alejandra Gómez Carrillo, bajo mi supervisión

---

ING. GLEN OBANDO  
DIRECTOR DE PROYECTO

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser la guía en cada paso de mi vida, por darme la fuerza y el aliento cuando lo perdía, por caminar a mi lado en los momentos fáciles y llevarme en su lecho en esos momentos que sentí desfallecer.

A mi madre Amada Culqui, por ser mi punto de apoyo, por ser la mujer más grande de la tierra, gracias madre por hacer de mí el hombre que soy. Que nuestro padre celestial te bendiga y te siga dando la fuerza para continuar junto a nosotros. Gracias madre, sin ti estaría perdido, y como te prometí ya solo tengo que mover la tierra y el cielo.

A mis hermanas María Fernanda y Lía Belén gracias por ser mis ángeles les amo mucho, a la luz de mi vida Juliana gracias preciosa por ser la felicidad plena.

A Q-Max y en su representación al Ing. Glen Obando más que un profesional, un buen amigo a quien le debemos el desarrollo de este proyecto

Al Ing. Gonzalo Mora quien en toda mi vida universitaria fue quien velo por que todos los proyectos se den de la mejor manera

Al Ing. Vinicio Melo por ser el amigo incondicional que no nos desamparo en la vida estudiantil

Al Ing. Raúl Valencia por sus consejos, amistad y apoyo, al igual que por su ayuda a dirigir este proyecto

A mis maestros de quienes me llevo las mejores enseñanzas

A todos mis amigos y mis hermanos por siempre estar ahí cuando más necesitaba, gracias por acompañarme en toda esta maravillosa etapa.

A Gabby, gracias linda por todo el amor, por conocerme y apoyarme tanto. Por levantarme cuando caí y por tu infinita paciencia.

DAVID MEZA



## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Divino Niño por darme la oportunidad de seguir viviendo, por derramar su luz en mi inteligencia, por ser la fortaleza para continuar caminando por la etapa de mi vida que concluye, por ser mi guía eterno. Gracias

A mi madre Paulina por ser mi amiga incondicional, por brindarme la mejor herencia que pude recibir, por que con su esfuerzo logró sacarme adelante luchando día a día sin poner límites para formarme y educarme. Gracias

A mi hermano Pablo, por ser mi ángel en los momentos buenos y malos, por cuidar de mí a cada instante, por sacarme una sonrisa cuando todo parecía gris, por ser mi fiel compañero y mí mejor amigo.

A toda mi familia por brindarme su apoyo y motivación, en especial a mis abuelitos Fausto y Bertha por ayudarme a crecer como persona, que Dios les bendiga.

A Q-Max, en especial al Ing. Glen Obando por ser un gran amigo y permitirnos que este proyecto se desarrolle.

Al Ing. Vinicio Melo e Ing. Raúl Valencia por cuidar y guiar mi camino a cada instante, porque sus palabras llenas de motivación que me ayudaron a terminar una etapa de mi vida.

A todos mis amigos “los magníficos” que compartimos momentos inolvidables dentro y fuera de las aulas.

A David, por sacarme una sonrisa, darme aliento para continuar y ser mi apoyo en los momentos débiles y llenos de felicidad.

GABRIELA

## **DEDICATORIA**

A Dios por mantenerme aquí y permitir que todo lo bueno de mi vida se de

A mi madre todo lo que soy es por ti, y para ti es este trabajo

A mis hermanas y a Juliana

A mi familia entera por sus sabios consejos

A todos mis amigos, de alguna manera son parte de este trabajo

A Gabriela por ser el soporte y la felicidad de mi vida

## **DEDICATORIA**

Aquellos seres que son estrellas entre todos las dos más hermosas que alumbran mi camino.

Una de ellas me enseñó a luchar por la vida con todo su empeño y de ella tomar su ejemplo, que conoce mis debilidades más íntimas y secretas, la que no conforme con darme la existencia ha entregado la vida entera con su abnegación y sacrificio, que sus manos son ejemplo puro de trabajo, y su amor ha sido combustible que me ha permitido hacer lo imposible.

La otra ha sido mi pilar más fuerte en los momentos que he necesitado un aliento y apoyo, su entrega incondicional ha permitido que sea parte de su vida, sus ojos han sido mi luz en la noche, porque me siento gigante a su lado, y porque nunca me ha abandonado, por eso y mucho más...

Este proyecto va dedicado a mi madre Paulina, y a mi hermano Pablo, mis dos grandes estrellas. Los amo

GABRIELA

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
AGRADECIMIENTOS .....	V
DEDICATORIA.....	VI
DEDICATORIA.....	VII
CONTENIDO.....	VIII
ÍNDICE DE MAPAS Y FIGURAS .....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVIII
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XXI
RESUMEN .....	XXII
PRESENTACIÓN .....	XXIV
SIMBOLOGÍA y SIGLAS .....	XXV
CAPITULO 1 .....	1
DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA Y LITOLÓGICA DEL CAMPO PALO AZUL .....	1
1.1    GENERALIDADES DEL CAMPO PALO AZUL.....	1
1.1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	1
1.2 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL CAMPO PALO AZUL.....	3
1.2.1 FORMACIONES DEL TERCIARIO .....	3
1.2.2 FORMACIONES DEL CRETÁCICO.....	4
1.2.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE HOYO .....	4
1.2.4 CARACTERÍSTICAS ESTRATIGRÁFICAS DEL CAMPO PALO AZUL.....	6
1.3 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL CAMPO PALO AZUL.....	7
1.3.1 FORMACIÓN HOLLIN (ALBIANO).....	9
1.3.2 FORMACIÓN NAPO (CAMPANIANO).....	9
1.3.2.1 Arenisca “T” .....	9
1.3.2.2 Arenisca “U” .....	10

1.3.3 FORMACIÓN TENA (MAASTRICHTIANO INFERIOR – PALEOCENO).....	10
1.3.3.1 Arena Basal Tena .....	11
1.3.4 FORMACIÓN TIYUYACU INFERIOR (EOCENO INFERIOR A MEDIO).....	11
1.3.5 FORMACIÓN TIYUYACU SUPERIOR - ORTEGUAZA - CHALCANA (EOCENO MEDIO - OLIGOCENO).....	12
CAPITULO 2 .....	14
ESTABILIDAD DE LAS LUTITAS Y DEL POZO .....	14
2.1 QUÍMICA DE LAS ARCILLAS .....	14
2.1.1 INTRODUCCIÓN .....	14
2.1.2 TIPOS DE ARCILLAS .....	18
2.1.2.1. Arcillas de tres capas.....	22
2.1.2.1.1. Arcillas esmectitas o montmorillonitas .....	22
2.1.2.1.2 Illitas.....	24
2.1.2.1.3 Cloritas .....	26
2.1.2.1.4 Sepiolita y atapulgita .....	28
2.1.2.2 Arcillas de dos capas.....	29
2.1.2.2.1 Kaolinitas.....	29
2.1.3 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CEC).....	32
2.1.4 HIDRATACIÓN DE LAS ARCILLAS.....	33
2.1.5 SUPERFICIE ESPECÍFICA .....	39
2.1.6 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN.....	40
2.1.7 TIXOTROPÍA .....	40
2.1.8 PLASTICIDAD.....	41
2.1.9 PROCESOS DE ENLACE DE LAS PARTÍCULAS DE ARCILLA.....	42
2.1.9.1 La agregación .....	44
2.1.9.2 La dispersión .....	44
2.1.9.3 La floculación.....	44
2.1.9.4 La desfloculación.....	45
2.2 ESTABILIDAD DE LA LUTITA Y DEL POZO .....	45

2.2.1 INTRODUCCIÓN .....	45
2.2.2 CAUSAS DE LA INESTABILIDAD DEL POZO .....	47
2.2.2.1 Rotura por esfuerzo mecánico.....	47
2.2.2.1.1 Rotura-fracturación causada por la tensión .....	48
2.2.2.1.2 Rotura/colapso causado por la compresión o flujo plástico	49
2.2.2.1.2.1 Lutitas sometidas a esfuerzos .....	50
2.2.2.1.2.2 Lutitas presurizadas.....	50
2.2.2.1.2.3 Lutitas quebradizas .....	52
2.2.2.1.2.4 Lutitas bajo esfuerzos tectónicos.....	52
2.2.2.2 Interacciones químicas .....	53
2.2.2.2.1 Hidratación, hinchamiento y dispersión de Lutita .....	53
2.2.2.2.2 Lutita sensible al agua .....	54
2.2.2.2.3 Disolución de las formaciones solubles .....	56
2.2.2.3 Interacciones físicas .....	56
2.2.2.3.1 Erosión .....	57
2.2.2.3.2 Humectación, invasión de fluido y transmisión de presión..	57
2.3 ANÁLISIS EN EL POZO .....	58
2.3.1 MONITOREAR Y ANALIZAR EL MECANISMO DE ROTURA.....	58
2.3.2 DETERMINAR Y ENTENDER EL MECANISMO DE ROTURA.....	59
2.3.3 MODELAR Y CONSIDERAR LOS CAMBIOS PROPUESTOS.....	59
CAPÍTULO 3 .....	61
FORMULACIÓN DEL NUEVO FLUIDO MAXDRILL .....	61
3.1. FLUIDO DE PERFORACIÓN BASE AGUA.....	61
3.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA.....	61
3.1.2 PRINCIPALES COMPONENTES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA .....	62
3.1.2.1 Sistemas de polímeros modernos base agua.....	63
3.2 FLUIDO MAXDRILL® .....	65
3.2.1 CONFORMACIÓN DEL FLUIDO MAXDRILL® .....	65
3.2.1.1 Productos del sistema MAXDRILL® .....	67

3.2.1.1.1 Maxdrill.....	67
3.2.1.1.2 Glymax.....	68
3.2.1.1.3 Stardrill.....	69
3.2.1.1.4 Synerfloc A-25 D.....	70
3.2.1.1.5 Kelzan XCD.....	71
3.2.1.1.6 Barita.....	73
3.2.1.1.7 Soda cáustica.....	74
3.2.1.1.7 Defoam X.....	75
3.2.2 EFECTOS DE LOS COMPONENTES INHIBITORIOS DEL SISTEMA MAXDRILL EN LOS MINERALES ARCILLOSOS.....	77
3.2.2.1 COMPORTAMIENTO DE LAS AMINAS (COMPONENTE MAXDRILL) .....	77
3.2.2.1.1 Reacciones de las arcillas con los iones Aminas.....	78
3.2.2.1.2 Reacciones de las arcillas con los iones Aminas.....	79
3.2.2.2 COMPORTAMIENTO DEL GLYCOL (COMPONENTE GLYMAX) .....	80
3.2.2.2.1 Mecanismos de inhibición .....	81
3.2.2.2.1.1 Mecanismo 1 .....	82
3.2.2.2.1.2 Mecanismo 2 .....	82
3.2.2.2.1.3 Mecanismo 3 .....	82
3.2.2.2.1.4 Mecanismo 4 .....	83
3.2.2.2.1.5 Mecanismo 5 .....	84
3.2.2.3 COMPORTAMIENTO DE LAS POLIACRILAMIDAS PARCIALMENTE HIDROLIZADAS (COMPONENTE SYNERFLOC A- 25D).....	84
3.3 PRUEBAS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE INHIBICIÓN DEL FLUIDO MAXDRILL .....	87
3.3.1 CONCENTRACIÓN IÓNICA DE HIDROGENO (pH) .....	88
3.3.1.1 Tiras de prueba de papel.....	88
3.3.1.1.1 Procedimiento de prueba con Tiras de papel pH.....	89
3.3.1.2 Medidor de pH de electrodo de vidrio .....	90

3.3.1.1.2 Procedimiento de prueba el medidor de pH de Electrodo de Vidrio.....	91
3.3.2 CAPACIDAD DE AZUL DE METILENO PARA SÓLIDOS PERFORADOS .....	91
3.3.2.1 Equipo .....	92
3.3.2.2 Procedimiento.....	92
3.3.3 CAPACIDAD DE AZUL DE METILENO PARA EL SISTEMA MAXDRILL .....	94
3.3.3.1 Equipo .....	95
3.3.3.2 Procedimiento.....	95
3.3.3.3 Cálculos.....	96
3.3.3.4 Observaciones.....	97
3.3.4 TIEMPO DE SUCCIÓN CAPILAR (CST) .....	97
3.3.4.1 Equipo .....	98
3.3.4.2 Procedimiento.....	98
3.3.5 PRUEBA DE DISPERSIÓN DE LUTITAS.....	101
3.3.5.1 Equipo .....	101
3.3.5.2 Procedimiento.....	103
3.3.6 PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL.....	103
3.4 NUEVO FLUIDO MAXDRILL .....	105
CAPÍTULO 4 .....	117
ANÁLISIS DE RESULTADOS DE INHIBICIÓN DE COMPONENTES ARCILLOSOS .....	117
4.1 RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS.....	117
4.2 SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS .....	118
4.3 TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS.....	119
4.4 PRUEBAS PARA DETERMINAR EL EFECTO DE INHIBICIÓN SOBRE COMPONENTES ARCILLOSOS.....	121
4.4.1 CAPACIDAD DE AZUL DE METILENO PARA SÓLIDOS PERFORADOS .....	121
4.4.1.1.1 Análisis de Resultados.....	123
4.4.2 PRUEBA DE AZUL DE METILENO (MBT) .....	125



4.4.2.1 Fluido Antes de Rolar .....	125
4.4.2.1.1 Análisis de Resultados.....	127
4.4.2.2 Fluido Después de Rolar .....	135
4.4.2.1.2 Análisis de Resultados.....	135
4.4.3 TIEMPO DE SUCCIÓN CAPILAR (CST) .....	143
4.4.3.1 Orteguaza.....	145
4.4.3.2 Tiyuyacu .....	147
4.4.3.3 Tena .....	149
4.4.3.4 Napo.....	151
4.4.3.5 Análisis de Resultados .....	153
4.4.4 DISPERSIÓN.....	157
4.4.4.1 Preparación de las muestras.....	157
4.4.4.2 Análisis de Resultados .....	160
4.4.5 HINCHAMIENTO LINEAL .....	161
4.4.5.1 Procedimiento.....	161
CAPITULO 5 .....	168
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	168
5.1 CONCLUSIONES.....	168
5.2 RECOMENDACIONES.....	170
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	172
GLOSARIO.....	174
ANEXOS .....	178

## ÍNDICE DE MAPAS Y FIGURAS

### CAPÍTULO I

MAPA 1.1	MAPA ESTRUCTURAL A HOLLIN (WELL PADS)	2
MAPA 1.2	MAPA DE UBICACIÓN DEL CAMPO PALO AZUL	3
FIGURA 1.1	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA TRAYECTORIA FORMACIÓN CHALCANA	5
FIGURA 1.2	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA TRAYECTORIA FORMACIÓN ORTEGUAZA - TENA	5
FIGURA 1.3	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA TRAYECTORIA FORMACIÓN TIYUYACU AL TOPE Y PARTE INTERMEDIA	6
FIGURA 1.4	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA TRAYECTORIA FORMACIÓN NAPO Y NAPO BASAL	6
FIGURA 1.5	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL CAMPO PALO AZUL	7
FIGURA 1.6	SECUENCIA SEDIMENTARIA DEL CAMPO PALO AZUL	8

### CAPÍTULO II

FIGURA 2.1	FOTOMICROGRAFÍA DE PARTÍCULAS DE BENTONITA	20
FIGURA 2.2	PARTÍCULA DE MONTMORILLONITA IDEALIZADA	21
FIGURA 2.3	PIROFILITA ELÉCTRICAMENTE NEUTRA	21
FIGURA 2.4	SUSTITUCIÓN DE $Al^{3+}$ POR $Mg^{2+}$ CAUSANDO UNA PARTÍCULA CARGADA NEGATIVAMENTE.	23
FIGURA 2.5	ESTRUCTURA DE LA ESMÉCTITA	24
FIGURA 2.6	COMPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE ARCILLAS	26
FIGURA 2.7	DIAGRAMA DE LA ESTRUCTURA DE LA CLORITA	27
FIGURA 2.8	ESTRUCTURA ESQUEMÁTICA DE LA SEPIOLITA Y DE LA ATAPULGITA	28
FIGURA 2.9	DIAGRAMA DE LA ESTRUCTURA DE LA KAOLINITA	30
FIGURA 2.10	ESTRUCTURA DE LAS ARCILLAS	31
FIGURA 2.11	COMPARACIÓN DEL HINCHAMIENTO PARA LA	35

	MONTMORILLONITA CÁLCICA Y SÓDICA	
FIGURA 2.12	ETAPAS SECUENCIALES EN LA INTERACCIÓN DEL AGUA EN LA ARCILLA	37
FIGURA 2.13	ASOCIACIÓN DE LAS ARCILLAS	43
FIGURA 2.14	INESTABILIDADES MECÁNICAS DEL POZO	48
FIGURA 2.15	LUTITA PRESURIZADA	51
FIGURA 2.16	ÁRBOL DE DECISIÓN PARA DERRUMBES EXCESIVOS (DE ZAUSA)	60
<b>CAPÍTULO III</b>		
FIGURA 3.1	POLIACRILAMIDA PARCIALMENTE HIDROLIZADA	85
FIGURA 3.2	PAPEL pH	89
FIGURA 3.3	MEDIDOR DE PH DE ELECTRODO DE VIDRIO	90
FIGURA 3.4	EQUIPO NECESARIO PARA LA PRUEBA DE MBT	94
FIGURA 3.5	ENSAYOS POR GOTAS – TITULACIÓN CON AZUL DE METILENO	96
FIGURA 3.6	EQUIPO PARA LA PRUEBA DE CST	101
FIGURA 3.7	HORNO DE ROLADO	102
FIGURA 3.8	HORNO DE SECADO	102
FIGURA 3.9	EQUIPO DE HINCHAMIENTO LINEAL	104
FIGURA 3.10	EQUIPO DE COMPACTACIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE PASTILLAS	105
FIGURA 3.11	RESULTADO DE INHIBICIÓN DE LOS FLUIDOS DE PRUEBA	115
<b>CAPÍTULO IV</b>		
FIGURA 4.1	EMBALAJE DE MUESTRAS TOMADAS DE LAS ZARANDAS	118
FIGURA 4.2	LAVADO DE MUESTRAS	119
FIGURA 4.3	SECADO DE MUESTRAS EN EL HORNO	120

FIGURA 4.4	DESHUMIFICADOR DE MUESTRAS	120
FIGURA 4.5	RESULTADOS CEC PARA LAS FORMACIONES ESTUDIADAS	123
FIGURA 4.6	RESULTADOS OBTENIDOS DEL FLUIDO NUEVO MAXDRILL ANTES DE ROLAR	129
FIGURA 4.7	RESULTADOS OBTENIDOS DEL FLUIDO MAXDRILL ANTES DE ROLAR	132
FIGURA 4.8	PORCENTAJE DE INHIBICIÓN DE LAS FORMACIONES CON LODO A CONDICIONES DE SUPERFICIE (ANTES DE ROLAR)	134
FIGURA 4.9	RESULTADOS OBTENIDOS DEL FLUIDO NUEVO MAXDRILL DESPUÉS DE ROLAR	137
FIGURA 4.10	RESULTADOS OBTENIDOS DEL FLUIDO MAXDRILL DESPUÉS DE ROLAR	140
FIGURA 4.11	PORCENTAJE DE INHIBICIÓN DE LAS FORMACIONES CON LODO DESPUÉS DE ROLAR	142
FIGURA 4.12	PRUEBA DE CST PARA LA FORMACIÓN ORTEGUAZA CON FLUIDO BLANCO, FLUIDO MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL	145
FIGURA 4.13	RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PARA ORTEGUAZA	147
FIGURA 4.14	PRUEBA DE CST PARA LA FORMACIÓN TIYUYACU CON FLUIDO BLANCO, FLUIDO MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL	147
FIGURA 4.15	RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PARA TIYUYACU	148
FIGURA 4.16	PRUEBA DE CST PARA LA FORMACIÓN TENA CON FLUIDO BLANCO, FLUIDO MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL	149
FIGURA 4.17	RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PARA TENA	150
FIGURA 4.18	PRUEBA DE CST PARA LA FORMACIÓN NAPO CON FLUIDO BLANCO, FLUIDO MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL	151

FIGURA 4.19	RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PARA NAPO	152
FIGURA 4.20	RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PROMEDIO PARA TODAS LAS FORMACIONES	154
FIGURA 4.21	PORCENTAJE DE INHIBICIÓN DEL FLUIDO MAXDRILL Y FLUIDO NUEVO MAXDRILL PARA LAS FORMACIONES NAPO, TENA, TIYUYACU, Y ORTEGUAZA	156
FIGURA 4.22	MUESTRAS DESPUÉS LA PRUEBA DE DISPERSIÓN CON EL FLUIDO MAXDRILL	158
FIGURA 4.23	MUESTRAS DESPUÉS LA PRUEBA DE DISPERSIÓN CON EL FLUIDO NUEVO MAXDRILL	159
FIGURA 4.24	PORCENTAJE DE DISPERSIÓN DE LAS FORMACIONES ESTUDIADAS CON EL FLUIDO MAXDRILL Y FLUIDO NUEVO MAXDRILL	160
FIGURA 4.25	PORCENTAJE DE HINCHAMIENTO LINEAL DE LAS FORMACIONES ESTUDIADAS CON EL FLUIDO MAXDRILL Y FLUIDO NUEVO MAXDRILL	163
FIGURA 4.26	GRÁFICA COMPARATIVA ENTRE EL FLUIDO MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL PARA LA FORMACIÓN ORTEGUAZA	164
FIGURA 4.27	GRÁFICA COMPARATIVA ENTRE EL FLUIDO MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL PARA LA FORMACIÓN TIYUYACU	165
FIGURA 4.28	GRÁFICA COMPARATIVA ENTRE EL FLUIDO MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL PARA LA FORMACIÓN TENA	166
FIGURA 4.29	GRÁFICA COMPARATIVA ENTRE EL FLUIDO MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL PARA LA FORMACIÓN NAPO	167

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II

TABLA 2.1	GRANULOMETRÍA DE LAS PARTÍCULAS	15
TABLA 2.2	TIPOS DE ROCAS, CÓDIGOS GEOLÓGICOS Y DESCRIPCIÓN	17
TABLA 2.3	ARCILLAS ENCONTRADAS COMÚNMENTE	30
TABLA 2.4	RANGO DE CEC PARA MATERIALES MINERALES ARCILLOSOS PUROS	36
TABLA 2.5	SUPERFICIE ESPECÍFICA DE ARCILLAS	39

### CAPÍTULO III

TABLA 3.1	PRINCIPALES COMPONENTES DE LOS FLUIDOS BASE AGUA	62
TABLA 3.2	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ADITIVOS AÑADIDOS	63
TABLA 3.3	DESCRIPCIÓN DE PRODUCTOS DEL SISTEMA MAXDRILL	66
TABLA 3.4	PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMPONENTE MAXDRILL	67
TABLA 3.5	PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMPONENTE GLYMAX	68
TABLA 3.6	PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMPONENTE STARDRILL	69
TABLA 3.7	PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMPONENTE SYNERFLOC A-25 D	71
TABLA 3.8	PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMPONENTE KELZAN XCD	72
TABLA 3.9	PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMPONENTE BARITA	73
TABLA 3.10	PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMPONENTE SODA CÁUSTICA	74
TABLA 3.11	PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMPONENTE DEFOAM X	76

TABLA 3.12	ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL	106
TABLA 3.13	ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL 1	107
TABLA 3.14	ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL 2	108
TABLA 3.15	ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL 3	109
TABLA 3.16	ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL 4	110
TABLA 3.17	ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL 5	111
TABLA 3.18	ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL 6	112
TABLA 3.19	ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL 7	113
TABLA 3.20	ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL 8	114
TABLA 3.21	TABLA DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE INHIBICIÓN	116

#### **CAPÍTULO IV**

TABLA 4.1	FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	118
TABLA 4.2	RESULTADO DEL MBT PARA SÓLIDOS PERFORADOS (PRUEBA DE AZUL DE METILENO)	122
TABLA 4.3	RESULTADOS GRÁFICOS PARA LA PRUEBA MBT PARA SÓLIDOS PERFORADOS	124
TABLA 4.4	COMPOSICIÓN DE LOS FLUIDOS MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL	126
TABLA 4.5	pH DE LOS FLUIDOS MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL ANTES DE ROLAR	127
TABLA 4.6	RESULTADOS OBTENIDOS DEL FLUIDO NUEVO MAXDRILL ANTES DE ROLAR	127
TABLA 4.7	RESULTADOS GRÁFICOS PARA LA PRUEBA MBT DEL NUEVO FLUIDO MAXDRILL	129
TABLA 4.8	RESULTADOS OBTENIDOS DEL FLUIDO MAXDRILL ANTES DE ROLAR	130
TABLA 4.9	RESULTADOS GRÁFICOS PARA LA PRUEBA MBT DEL FLUIDO MAXDRILL	132
TABLA 4.10	PORCENTAJE DE INHIBICIÓN DE LAS FORMACIONES CON LODO A CONDICIONES DE SUPERFICIE (ANTES DE ROLAR)	133

TABLA 4.11	pH DE LOS FLUIDOS MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL DESPUÉS DE ROLAR	135
TABLA 4.12	RESULTADOS OBTENIDOS DEL FLUIDO NUEVO MAXDRILL DESPUÉS DE ROLAR	136
TABLA 4.13	RESULTADOS GRÁFICOS PARA LA PRUEBA MBT DEL FLUIDO MAXDRILL	138
TABLA 4.14	RESULTADOS OBTENIDOS DEL FLUIDO MAXDRILL DESPUÉS DE ROLAR	139
TABLA 4.15	RESULTADOS GRÁFICOS PARA LA PRUEBA MBT DEL FLUIDO MAXDRILL	141
TABLA 4.16	PORCENTAJE DE INHIBICIÓN DE LAS FORMACIONES CON LODO DESPUÉS DE ROLAR	142
TABLA 4.17	CONCENTRACIÓN DE COMPONENTE QUÍMICO	144
TABLA 4.18	RESULTADO DE pH INICIAL Y pH FINAL	144
TABLA 4.19	RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PARA LA FORMACIÓN ORTEGUAZA	146
TABLA 4.20	RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PARA LA FORMACIÓN TIYUYACU	148
TABLA 4.21	RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PARA LA FORMACIÓN TENA	150
TABLA 4.22	RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PARA LA FORMACIÓN TENA	152
TABLA 4.23	RESUMEN DE RESULTADOS DE TIEMPO DE SUCCIÓN CAPILAR (CST)	153
TABLA 4.24	RESULTADOS DE DISPERSIÓN PARA LAS FORMACIONES CON FLUIDO MAXDRILL	158
TABLA 4.25	RESULTADOS DE DISPERSIÓN PARA LAS FORMACIONES CON FLUIDO NUEVO MAXDRILL	159
TABLA 4.26	RESULTADOS EN PORCENTAJE DE HINCHAMIENTO	162



## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	SURVEY PARA EL POZO DE ESTUDIO	183
ANEXO 2	TOPES FORMACIONALES PARA EL POZO ESTUDIADO	185
ANEXO 3	REVISIÓN CALIPER SECCIÓN 8 ½"	187
ANEXO 4	REGISTRO MASTERLOG PARA ORTEGUAZA	189
ANEXO 5	REGISTRO MASTERLOG PARA TIYUYACU	191
ANEXO 6	REGISTRO MASTERLOG PARA TENA	193
ANEXO 7	REGISTRO MASTERLOG PARA NAPO	196
	PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA TIYUYACU	
ANEXO 8	CON EL FLUIDO MAXDRILL	198
	PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA TIYUYACU	
ANEXO 9	CON EL FLUIDO NUEVO MAXDRILL	202
	PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA ORTEGUAZA	
ANEXO 10	CON EL FLUIDO MAXDRILL	206
	PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA ORTEGUAZA	
ANEXO 11	CON EL FLUIDO NUEVO MAXDRILL	210
	PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA TENA CON	
ANEXO 12	EL FLUIDO MAXDRILL	214
	PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA TENA CON	
ANEXO 13	EL FLUIDO NUEVO MAXDRILL	218
	PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA NAPO CON	
ANEXO 14	EL FLUIDO MAXDRILL	222
	PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA NAPO CON	
ANEXO 15	EL FLUIDO NUEVO MAXDRILL	224

## RESUMEN

Cuando los lodos base agua han sido expuestos, las arcillas tienden inmediatamente a hincharse ante el contacto con el mismo.

Dependiendo de la composición química de las arcillas, estas pueden resultar en una rápida floculación o dispersión de la arcilla matriz en la presión de formación.

Alterando la química de la fase acuosa (por ejemplo las altas concentraciones de aniones) pueden retardar los efectos del agua, o por inclusión de cationes activos (calcio y potasio) el intercambio catiónico puede ser reducido.

Las muestras obtenidas fueron tomadas del pozo productor PA D34H ubicado en el campo Palo Azul, con ello se realizaron 4 pruebas para analizar la inhibición tanto del fluido Maxdrill como del Fluido Nuevo Maxdrill ante el efecto de hinchamiento debido al agua presente en el fluido y con ello analizar el comportamiento de los componentes inhibitorios para las Formaciones Napo, Tena, Tiyuyacu y Orteguaza.

En el primer capítulo se presenta una descripción específica sobre la geología y la litología del Campo Palo Azul. Especificando información sobre cada una de las formaciones con componentes arcillosos.

En el segundo capítulo se habla de la Estabilidad de las Lutitas y del Pozo, tratando los principales problemas durante la perforación. Para lo cual, se hace indispensable dar una explicación detallada sobre la Química de las arcillas y sus tipos.

En el tercer capítulo se detalla las características del sistema Maxdrill, sus componentes, los efectos inhibitorios del mismo, así como los procedimientos de las pruebas de laboratorio para determinar la capacidad de inhibición del sistema. Todo lo anterior tomado como información válida para formular un nuevo fluido el cual nos garantice que la mencionada inhibición se cumpla.

En el cuarto capítulo se presenta un análisis completo de las pruebas realizadas, desde la selección de muestras, el tratamiento de las mismas, terminando con la ejecución, análisis y resultados de las pruebas.

Para el presente estudio se empezó con la prueba de Azul de Metileno donde se evalúa la capacidad de intercambio catiónico (CEC) de cada formación, así como también la pérdida de la misma al contacto con los fluidos utilizados.

Se realizó también la prueba Tiempo de Succión Capilar (CST) en la cual, se evalúa y caracteriza a cada muestra el intercambio catiónico para optimizar la concentración de electrolitos en los fluidos de perforación estudiados, de esta manera se minimiza su efecto sobre las formaciones arcillosas que se hinchan al ser introducidas con agua fresca.

Otra prueba es la de Dispersión de las lutitas, en la cual, se evalúa el efecto dispersante que los dos fluidos tendrán sobre las muestras de arcillas estudiadas.

Y finalmente se realizó la Prueba de Hinchamiento Lineal, la cual se examinó la interacción entre los fluidos y las formaciones que contienen arcillas reactivas en condiciones simuladas mientras el fluido está en movimiento.

Los resultados de las pruebas mencionadas fueron positivos, ya que la comparación de los fluidos demuestra que el Nuevo Fluido Maxdrill tiene una capacidad de inhibición superior para determinadas formaciones con relación al del sistema Maxdrill a un costo considerablemente menor.

Finalmente, el quinto capítulo muestra las conclusiones y recomendaciones del estudio.

## **PRESENTACIÓN**

A fin de obtener un fluido de perforación que satisfaga las necesidades de las compañías operadoras y con un precio competitivo, la compañía prestadora de servicios ha propuesto el estudio de los componentes inhibitorios y las diferentes concentraciones a fin de obtener un nuevo fluido llamado Nuevo Maxdrill para futuras licitaciones.

Debido a la necesidad de evaluar el comportamiento de los inhibidores con respecto del tiempo, a medida que va avanzando el tiempo los inhibidores puede cambiar su comportamiento inicial y con ello traer problemas en la perforación; para lo cual, es necesario el correcto análisis de los efectos inhibitorios del lodo para que este fluido no conlleve a problemas en el proceso de operación.

Este estudio busca analizar la eficiencia de los componentes del Nuevo fluido Maxdrill con relación al Fluido Maxdrill original, que cumpla propiedades similares o mejores en la inhibición de componentes arcillosos de las Formaciones Napo, Tena, Tiyuyacu y Napo en Campo Palo Azul pozo PA D34H en el Oriente Ecuatoriano.

El propósito de este proyecto es conocer la validez de nuestro fluido para que de esta manera se pueda sustituir al Fluido Maxdrill Original con un costo considerablemente menor y que cumpla con el único objetivo que es estabilizar las paredes del hueco y no permitir problemas en la perforación.

## SIMBOLOGÍA y SIGLAS

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	DIMENSIONES
°API	Grados API	
Mm	Milímetros	L
Å	Amstrong	L
µm	Micrón	L
Cm	Centímetro	L
Ft	Pies (feet)	L
CEC	Capacidad de Intercambio Catiónico	
Meq	Miliequivalentes	
pH	Potencial Hidrogeno	
µm	Micrón	L
MBT	Methil Blue Test	
RPM	Revoluciones por Minuto	
Δt	Delta Tiempo	t
°F	Grado Fahrenheit	T
°C	Grado Celsius	T
LPG	Libras por Galón	M/V
LPB	Libras por Barril	M/V
Psi	Libra pulgada cuadrada	M/L <sup>2</sup>
mL	Mililitros	V

# **CAPITULO 1**

## **DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA Y LITOLÓGICA DEL CAMPO PALO AZUL**

### **1.1 GENERALIDADES DEL CAMPO PALO AZUL**

#### **1.1.1 ANTECEDENTES**

El Campo Palo Azul fue descubierto con la perforación del pozo exploratorio Palo Azul 01 en Enero de 1999. Encontrando como arenas productoras a Basal Tena y Hollín. El pozo alcanzó a una profundidad de 10423 pies.

El campo se ha desarrollado hasta la actualidad a partir de 4 plataformas (Well Pads: A, B, C y D). El pozo exploratorio Palo Azul 01 y el pozo de avanzada PA 02 perforados verticalmente permitieron delinear el campo. Actualmente, el campo tiene 35 pozos perforados, de los cuales 32 son productores de petróleo y 3 pozos son utilizados para la reinyección de agua con un pico de producción de 19,647 barriles de petróleo

El principal reservorio del Campo Palo Azul es la arenisca de la formación Hollín, y como secundarias la arenisca del miembro Basal Tena y las areniscas de miembro U y T de la formación Napo en donde se encuentran acumulaciones de hidrocarburos.

A partir del procesamiento e interpretación de la sísmica 3D realizada en el campo en el año 2001, se diseñó el mapa estructural (Mapa 1.1) de la Arena Hollin usado en los modelos estáticos y dinámicos de simulación numérica.

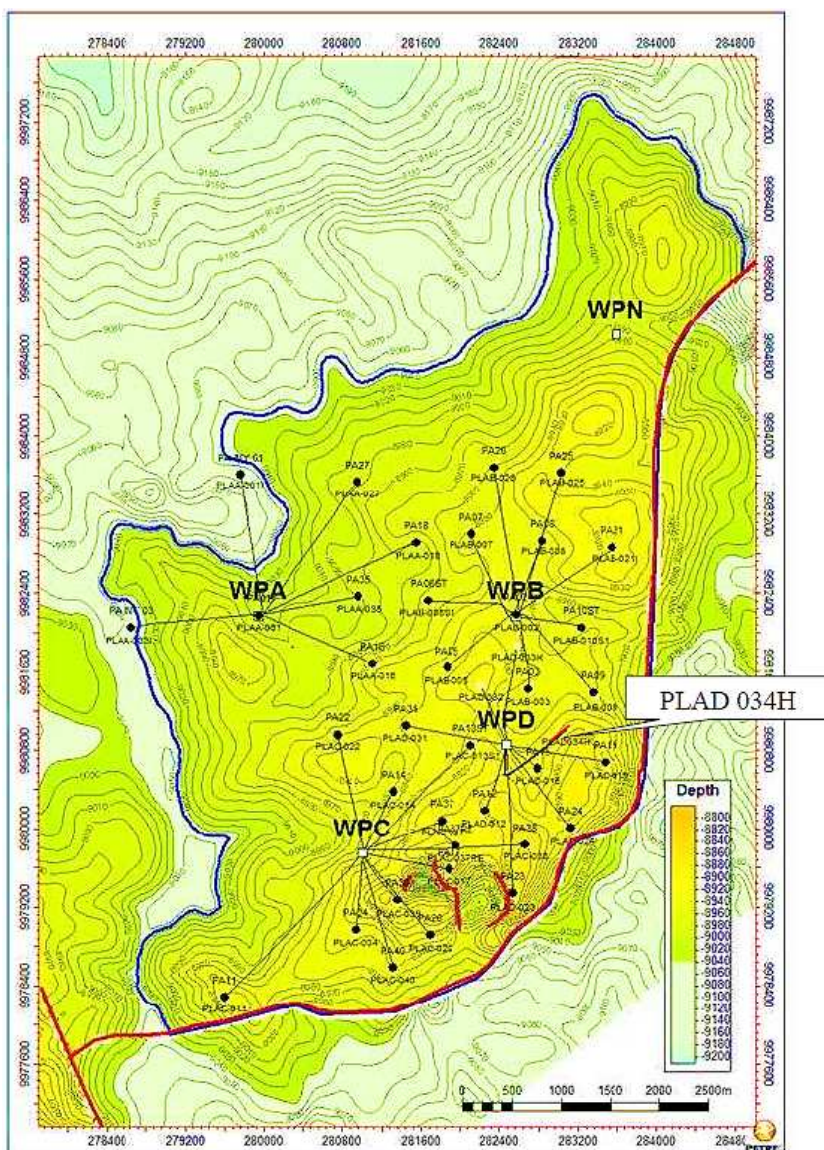
#### **1.1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

El campo Palo Azul está ubicado en la provincia de Orellana, aproximadamente a 200 Km al sur-este de la ciudad de Quito y 40 Km al este de las estribaciones de

la zona sub-andina en la Región Amazónica de la República del Ecuador (Mapa 1.2).

El campo Palo Azul se encuentra limitado al norte por el Bloque 11 perteneciente a la Corporación Nacional Petrolera China, al sur por los Bloques 7 y 19 perteneciente a la estatal petrolera Petroamazonas, al este por los campos petroleros estatales de EP Petroecuador y al oeste por el Parque Nacional Sumaco.

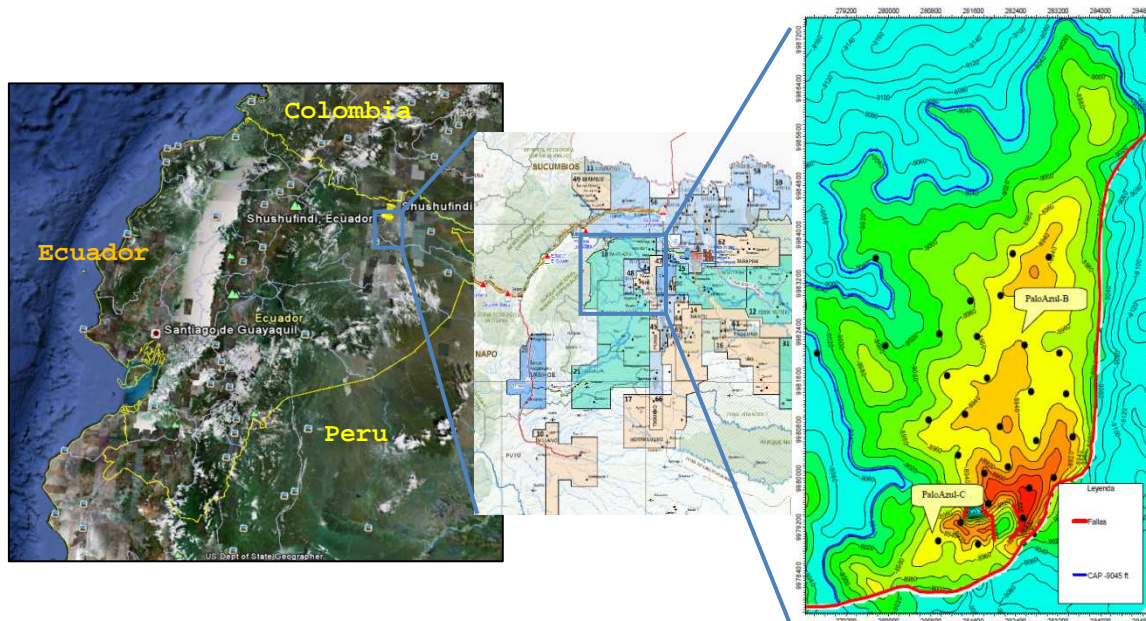
MAPA 1.1 MAPA ESTRUCTURAL A HOLLIN (WELL PADS)



FUENTE: Bloque Operador

ELABORADO POR: Bloque Operador

MAPA 1.2 MAPA DE UBICACIÓN DEL CAMPO PALO AZUL



FUENTE: Bloque Operador

ELABORADO POR: Bloque Operador

## 1.2 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL CAMPO PALO AZUL

Geológicamente el campo Palo Azul se ubica al Oeste del eje axial de la subcuenca cretácica Napo y es un atrapamiento estructural, representado por un anticlinal asimétrico. El eje principal tiene una dirección preferencial aproximadamente Norte-Sur a Noreste-Suroeste, de unos 10 km de largo y un ancho máximo en dirección Oeste-Este de 5 km.

El campo está limitado al Este por una falla inversa de alto ángulo que se origina en el basamento.

### 1.2.1 FORMACIONES DEL TERCIARIO

La columna litológica del Campo Palo Azul está conformada de diferentes formaciones Terciarias: Chalcana, Ortegua, Tiyuyacu, y Tena, caracterizadas por eventos tectónicos de inversión transpresiva con secuencias de Arcillolitas abigarradas de capas rojas, lutitas grises, conglomerados y areniscas cuarzosas.



### **1.2.2 FORMACIONES DEL CRETÁCICO**

Siguiendo el orden de depositación a continuación de las Formaciones del Terciario siguen las Formaciones de Cretácicas como lo son: Napo Superior, Napo Inferior y Hollin donde predominan areniscas cuarzosas, lutitas grises oscuras, areniscas calcáreas, lutitas grises, calizas micritas, areniscas cuarzosas glauconíticas y lutitas calcáreas.

### **1.2.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE HOYO**

Para el campo Palo Azul se han realizado tres estudios de Geomecánica, los cuales fueron empleados durante la perforación de los pozos PA 02 Y PA 04, realizados por la empresa PETROBRAS.

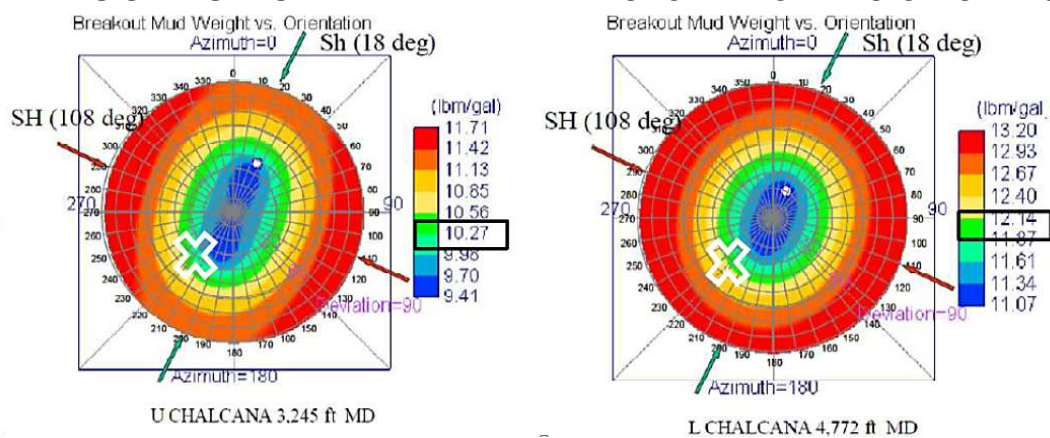
El estudio describe la presencia de un intrusivo ígneo (laccolite) justo debajo del reservorio Hollin combinado con la presencia de una zona de fallas alrededor del mismo. El análisis del modelo mecánico es una representación numérica de las propiedades mecánicas de las rocas sacadas del estudio estratigráfico de una sección del reservorio.

Este estudio, junto con los datos del cubo sísmico ayudó a diseñar de una manera óptima la trayectoria de los pozos, considerando la presencia de zonas fracturadas (especialmente en las calizas) en combinación con características estructurales.

Para predecir el modelo de estabilidad del hoyo fue necesario conocer las presiones de poro de la formación basados en el análisis del registro Sónico Dipolar donde se identificaron dos tendencias de compactación en el Terciario, la una que corresponde a la formación Chalcana y Ortegua, y la otra a las formaciones Tena y Tiyuyacu. El perfil de presión de poro mostró que la formación Ortegua tiene intervalos con presiones altas que alcanzan alrededor de 10 ppg. Tiyuyacu, Tena y Napo presentan valores de presión normales.

De dichos estudios (Figuras 1.1 – 1.4) se puede determinar que los pesos de lodo necesarios para mantener a las formaciones estables en la formación Chalcana, principalmente debido al mayor ángulo de inclinación con el cual se va a perforar sería un peso máximo (si es necesario) de 11.5 ppg. Para las formaciones de Ortegaza y Tiyuyacu el máximo peso sería 11.2 ppg, mientras que para la formación Napo es de 11.6 ppg.

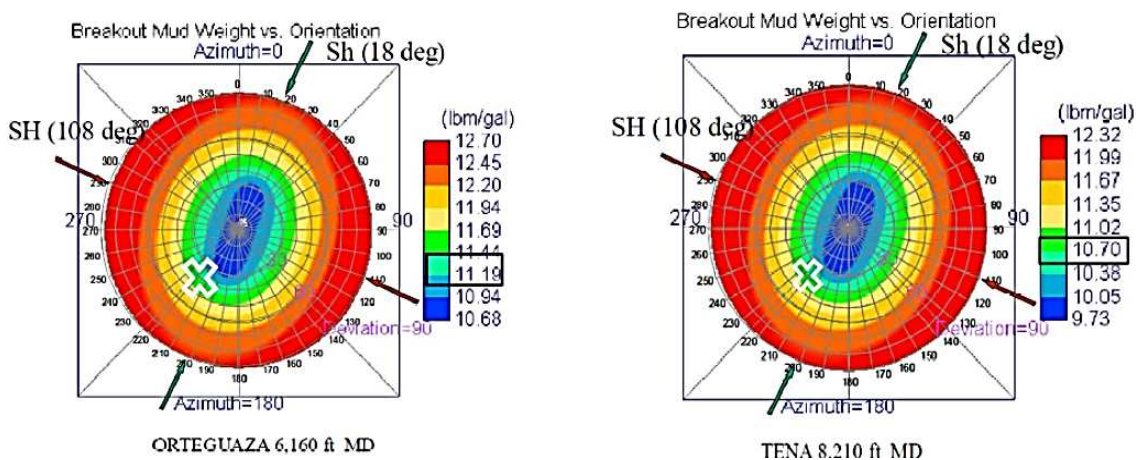
**FIGURA 1.1**  
**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA TRAYECTORIA FORMACIÓN CHALCANA**



FUENTE: Bloque Operador

ELABORADO POR: Bloque Operador

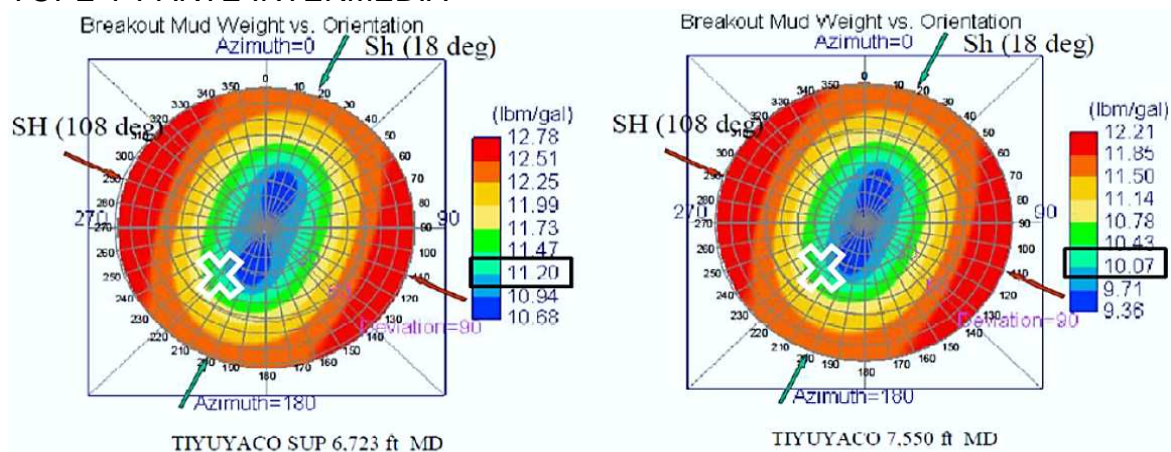
**FIGURA 1.2**  
**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA TRAYECTORIA FORMACIÓN ORTEGUAZA - TENA**



FUENTE: Bloque Operador

ELABORADO POR: Bloque Operador

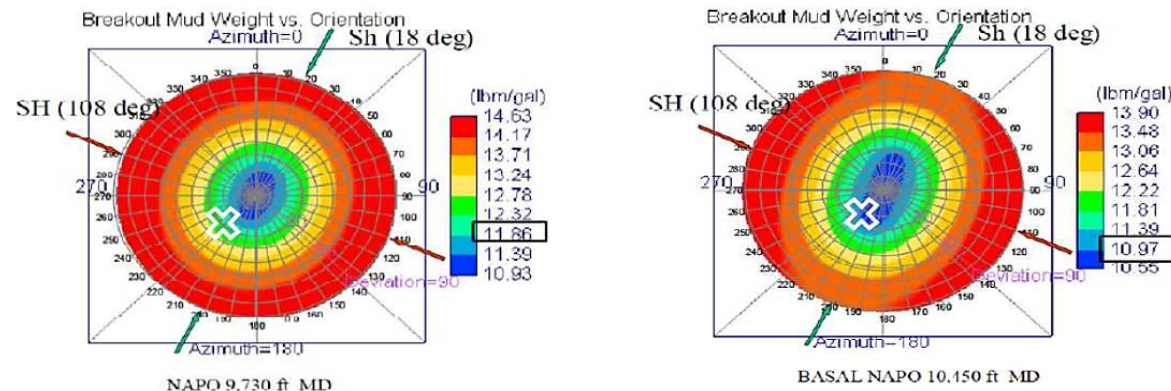
FIGURA 1.3  
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA TRAYECTORIA FORMACIÓN TIYUYACU AL TOPE Y PARTE INTERMEDIA



FUENTE: Bloque Operador

ELABORADO POR: Bloque Operador

FIGURA 1.4  
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA TRAYECTORIA FORMACIÓN NAPO Y NAPO BASAL



FUENTE: Bloque Operador

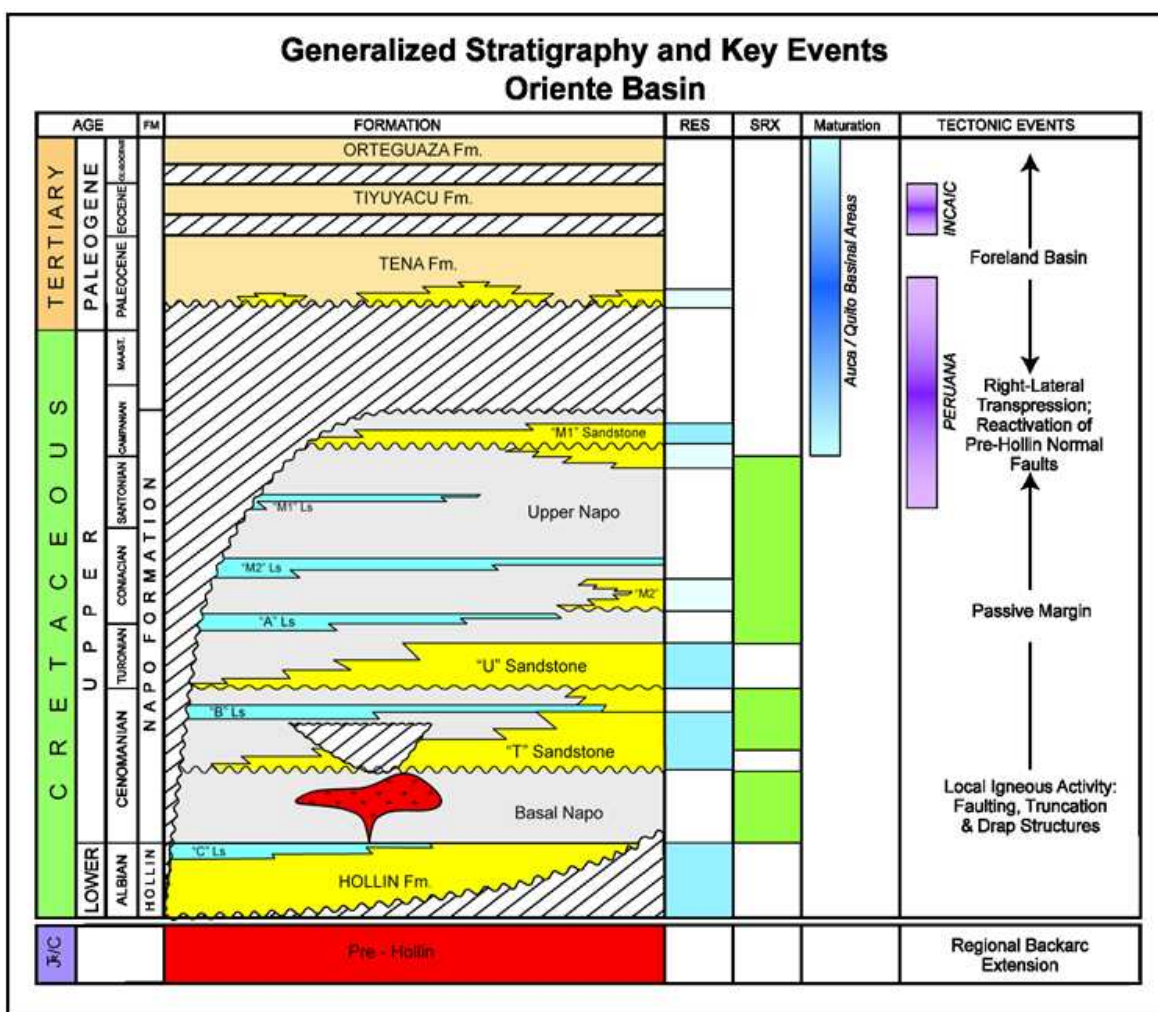
ELABORADO POR: Bloque Operador

## 1.2.4 CARACTERÍSTICAS ESTRATIGRÁFICAS DEL CAMPO PALO AZUL

La secuencia estratigráfica de la Cuenca Oriente está generalizada en la columna estratigráfica (Figura 1.5). La secuencia sedimentaria está depositada sobre un

basamento cristalino correspondiente al margen occidental del Escudo Precámbrico Guayanés (Baldock, 1982). La estratigrafía de la cuenca puede subdividirse en tres mega-secuencias (Dashwood y Abbotts, 1990; Baby et al., 1999), con diferentes características sedimentológicas, tectónicas y magmáticas que reflejan las distintas etapas evolutivas de la Cuenca Oriente.

FIGURA 1.5 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL CAMPO PALO AZUL



FUENTE: Bloque Operador

ELABORADO POR: Bloque Operador

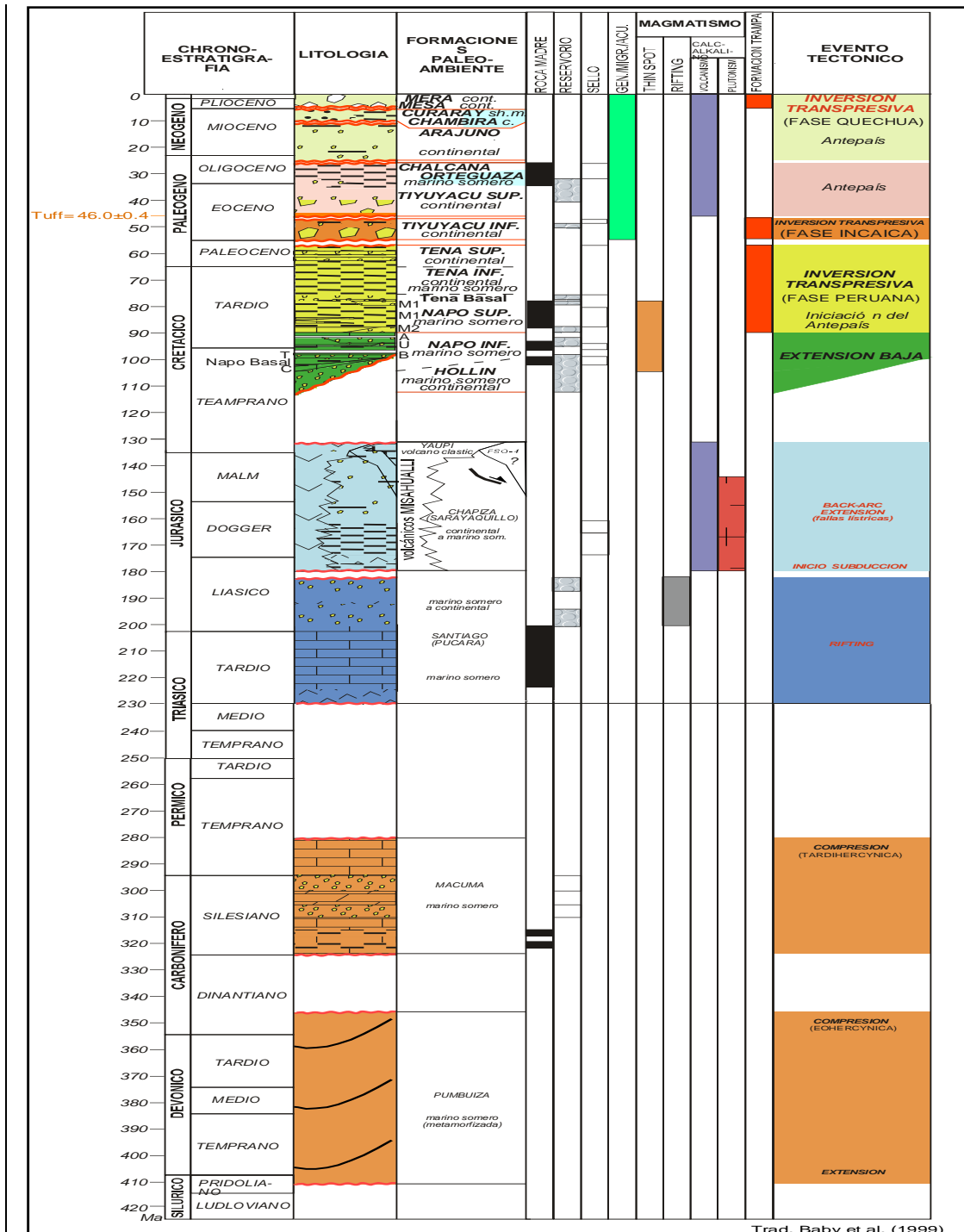
### 1.3 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DEL CAMPO PALO AZUL

Los estudios realizados en el campo Palo Azul, basados en datos de núcleos, han establecido un modelo de depositación y de evolución de ambiente fluvial a las arenas de la zona inferior de Hollin, seguido por un ambiente estuarino dominado



por mareas y que terminan con depósitos de costa y mar abierto donde se deposita la caliza "C" que es el nivel que cierra la secuencia de depósito. En la Figura 1.6 se puede observar la columna litológica para el campo Palo Azul.

FIGURA 1.6 SECUENCIA SEDIMENTARIA DEL CAMPO PALO AZUL



FUENTE: Bloque Operador

ELABORADO POR: Bloque Operador

### **1.3.1 FORMACIÓN HOLLIN (ALBIANO)**

Con un espesor de pago de 270 pies, su parte inicial, arenisca cuarzosa, blanca, transparente, friable consolidada, en partes suelta, de grano fino a medio, subangular a subredondeado, en partes matriz arcillosa, cemento calcáreo, con micropirita, presenta intercalaciones lutitas.

Parte inferior es cuarzosa, blanca, translúcida, friable, de grano medio a grueso, subangular a subredondeado, moderada selección, matriz no visible

### **1.3.2 FORMACIÓN NAPO (CAMPANIANO)**

La formación Napo descansa en concordancia sobre la Formación Hollin. Consiste en alrededor de 350 metros de lutitas y calizas con intercalaciones de areniscas. La formación Napo es fácilmente reconocible en sísmica por la presencia de reflectores fuertes que corresponden a niveles de calizas.

Normalmente, se da a la formación Napo la categoría de grupo, dividiéndolo en cuatro miembros (a los que asigna el rango de formaciones), que corresponden a secuencias marinas de aguas poco profundas:

- Napo Basal (Albiano Medio – Albiano Superior)
- Napo Inferior (Albiano Superior – Cenomaniano Superior)
- Napo Medio (Turoniano)
- Napo Superior (Conianiano Inferior – Campaniano Mediano)

#### **1.3.2.1 Arenisca “T”**

Con un espesor de pago de 122 pies, se presentan intercalaciones de areniscas con niveles arcillosos y calizas.

La parte superior son areniscas calcáreas con intercalaciones de niveles lutíticos y esporádicos lentes de areniscas de grano fino. Estas areniscas se presentan intensamente cementadas y con abundante glauconita.

En la base aparecen niveles de un cuarzo-arenita, normalmente de color café claro, con granos translúcidos, de tamaño fino a medio, angulares a sub-angulares, con selección moderada como se puede observar en el anexo 7. Se trata de una arenisca relativamente limpia, con cemento silicio, y de regular a buena porosidad. Las mismas que presentan rastros pobres a moderados de hidrocarburo.

### **1.3.2.2 Arenisca “U”**

Con un espesor de pago de 92 pies presentan intercalaciones de niveles de arenisca con niveles arcillosos.

Cuarzo-arenita, color gris claro, hialina a translúcida, tamaño de grano muy fino a fino, ocasionalmente medio. Sub-angular a sub-redondeado, buena selección. La arenisca es friable a moderadamente consolidada, cemento silíceo, ocasionalmente calcáreo, matriz arcillosa. Componentes secundarios, trazas de glauconita y pirita. Indicio de hidrocarburo de pobre a moderado

### **1.3.3 FORMACIÓN TENA (MAASTRICHTIANO INFERIOR – PALEOCENO)**

La base de esta formación está asociada con un cambio litológico importante. Localmente, en ciertos afloramientos del Sistema Subandino y en ciertas secciones sísmicas de la parte occidental de la cuenca, se puede observar una superficie de erosión, generalmente sobreyacida por areniscas o conglomerados (Tena Basal). Esa discordancia desaparece progresivamente hacia el este.

La formación comprende:

- Un miembro “Tena Inferior” que consiste en limolitas y areniscas rojas continentales de grano fino, y descansan en concordancia sobre las areniscas y limolitas “Tena Basal”
- Un miembro “Tena Superior” que consiste en limolitas y areniscas de grano más grueso que el miembro inferior.

Entre los miembros Tena Inferior y Tena Superior, existe la presencia de un hiato sedimentario probablemente de edad maastrichtiano superior – paleoceno basal.

#### **1.3.3.1 Arena Basal Tena**

Con un espesor de 12 pies, presenta Cuarzo-arenita, color café claro, hialino y translúcido, tamaño de grano fino a medio, subangular – subredondeado, pobre selección, Arenisca friable a moderadamente consolidada, cemento silíceo y ocasionalmente calcáreo, matriz arcillosa ocasional según corroborado con el registro masterlog para Tena (anexo 6).

#### **1.3.4 FORMACIÓN TIYUYACU INFERIOR (EOCENO INFERIOR A MEDIO)**

El análisis de las secciones sísmicas del Oriente ecuatoriano nos ha permitido definir una fuerte erosión intra-Tiyuyacu y diferenciar así una formación inferior y otra superior.

En el sistema Subandino norte, los afloramientos muestran que la formación Tiyuyacu Inferior consiste en conglomerados, areniscas y arcillas que descansan en discordancia fuertemente erosiva sobre la formación Tena Inferior o Superior. Las arcillas son por lo general abigarradas, rojo-verde en la parte inferior y rojo-café-azul-amarillento en la parte superior ver Anexo 5 del registro masterlog para Tiyuyacu. Los conglomerados presentan clastos de 6 a 7 cm, subredondeados a redondeados, y compuestos principalmente de cherts y cuarzo lechoso y en menor proporción de rocas metamórficas (cuarcitas). La dirección de



paleocorrientes medida a partir de imbricaciones de clastos, en afloramientos del Sistema Subandino, indica un sentido E y SE-SSE.

El ambiente sedimentario es de tipo fluvial y corresponde a ríos proximales intermitentes o con larga estación seca. La potencia de la formación Tiyuyacu Inferior varía entre 100 y 500m.

La superficie de erosión y los conglomerados de la base de la formación Tiyuyacu Inferior marcan el inicio de un importante evento tectónico.

### **1.3.5 FORMACIÓN TIYUYACU SUPERIOR - ORTEGUAZA - CHALCANA (EOCENO MEDIO - OLIGOCENO)**

La formación Tiyuyacu Superior presenta una base erosiva, la misma que generalmente fue rellenada por areniscas o conglomerados. Al igual que la formación Tiyuyacu Inferior, esta compuesta por conglomerados en la base y arcillas y areniscas en el tope, con la diferencia que los conglomerados son esencialmente de cuarzo lechoso, translúcido y muy poco chert, con tamaño de clasto que fluctúa entre los 2 y 3 cm. La potencia de esta formación varía entre 100 y 200m.

La formación Orteguaza (de acuerdo al registro masterlog para Orteguaza Anexo 4) yace sobre la Formación Tiyuyacu Superior y se encuentra debajo de los sedimentos continentales fluviales de la Formación Chalcana. Esta constituida de una serie marina somera compuesta por areniscas grises y verduscas, y lutitas gris verdosas a negras.

Los únicos afloramientos descritos hasta la fecha se pueden observar en el Sistema en el Sistema Subandino norte (río Aguarico). El color negro o gris muy oscuro de las lutitas, su fisilidad y la presencia de nódulos piríticos indican un ambiente reductor, como es el de una plataforma marina interna (zona infratidal).

En la sismica, el contacto Tiyuyacu Superior – Orteguaza corresponde a un fuerte reflector que marca el paso de ambiente continental a marino.

La edad de esta formación de origen marino somero es atribuida al Eoceno Medio – Oligoceno. Su potencia es de aproximadamente 40 metros en el Sistema Subandino, pero en algunos pozos de la cuenca de antepaís alcanza los 250 metros.

La formación Chalcana, en su parte basal, abarca el equivalente lateral en facies continentales de la Formación Orteguaza y está constituida por arcillolitas rojas con muñecos calcáreos y esporádicas intercalaciones de areniscas conglomeráticas.

## CAPITULO 2

### ESTABILIDAD DE LAS LUTITAS Y DEL POZO

#### 2.1 QUÍMICA DE LAS ARCILLAS

##### 2.1.1 INTRODUCCIÓN

Un entendimiento riguroso de las arcillas se convierte en una herramienta importante para el presente estudio. La arcilla se puede añadir intencionalmente al fluido o puede ingresar a él como contaminante importante mediante la dispersión de los sólidos de perforación. La química de las arcillas es importante en lo que se refiere a las interacciones entre los lodos base agua y las lutitas que afectan la estabilidad del pozo.

Desde el punto de vista de la sedimentación, la arcilla se define como un término para describir el tamaño de las partículas, pero desde el punto de vista químico y mineralógico, el término “arcilla” se refiere a minerales arcillosos específicos.

Estos minerales arcillosos son minerales cristalinos que tienen una estructura estratificada de sílice y alúmina. Los minerales arcillosos comunes encontrados en la lutita son la esméctita, la illita, la clorita y la kaolinita. Estos minerales existen como partículas cristalinas muy pequeñas que corresponden al rango de tamaños de arcilla.

Las rocas sedimentarias son materiales que se han depositado durante un periodo geológico en una cuenca de deposición. Las rocas sedimentarias pueden ser divididas en dos grupos principales:

1. **Rocas no clásticas:** incluyen precipitados orgánicos como el carbón y precipitados químicos con la sal
2. **Rocas Clásticas:** se componen principalmente de partículas que se erosionaron de un sitio sobre la superficie de la tierra, fueron transportadas

hacia otro sitio y se depositaron como sedimentos. El agente de transporte para las rocas sedimentarias clásticas puede ser el agua, el hielo, el viento o la gravedad

Las rocas sedimentarias clásticas también se clasifican según el tamaño de las partículas que componen la roca. Las clases de tamaño importantes de las partículas sedimentarias y los tipos de roca correspondientes son:

- Grava/conglomerado
- Arena/arenisca
- Limo/limolita
- Arcilla/lutita

La clasificación granulométrica de las rocas sedimentarias clásticas se muestra en la tabla 2.1.

TABLA 2.1 GRANULOMETRÍA DE LAS PARTÍCULAS

GRANULOMETRÍA DE LAS PARTÍCULAS	
PARTÍCULA	TAMAÑO
Arcillas	2 $\mu$ o menos
Limos	2 - 74 $\mu$
Arenas	74 - 2000 $\mu$
Gravas	Más de 2000 $\mu$

FUENTE: MI-SWACO

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

La formación de una roca sedimentaria clástica puede ser dividida en dos fases importantes: sedimentación y diagénesis.

La sedimentación es el proceso que ocurre en la superficie de la tierra y permite que las partículas o los granos se acumulen en forma de sedimento, Los procesos sedimentarios tienden a clasificar estas partículas de manera que la arena, el limo y la arcilla se depositen en tres lugares distintos. Como regla general, los procesos de sedimentación determinan la granulometría del sedimento y ciertas características que pueden estar presentes en el sedimento, tal como los planos de estratificación.

La diagénesis abarca todos los procesos que modifican un sedimento después de su deposición. Estos procesos incluyen la consolidación, disolución de ciertos minerales, precipitación de otros minerales y cambios en la composición de ciertos minerales. La diagénesis modifica los sedimentos de arena, limo y arcilla en arenisca, limolita y lutita.

La diagénesis comienza inmediatamente después de la deposición del sedimento, ya que el peso de los sedimentos depositados más recientemente comienza a consolidar y exprimir el agua fuera del sedimento ubicado por debajo de la superficie de sedimentación. La diagénesis continúa mientras que el sedimento queda cada vez más enterrado y la temperatura causa cambios en ciertos minerales.

El agua exprimida de los sedimentos enterrados a mayor profundidad pasa a través de ciertos minerales, causando la disolución de algunos y la precipitación de otros. Muchas veces, los minerales precipitados en arena, limo y lutita causan la aglomeración de los granos sedimentarios y actúan como un agente de cementación, proporcionándole un carácter más rígido a la roca sedimentaria. A medida que la diagénesis continúa con el tiempo, la temperatura y la presión, los cambios del sedimento se hacen cada vez más importantes, y pasan gradualmente a procesos metamórficos.

La lutita, la arenisca y la caliza constituyen la inmensa mayoría de las rocas sedimentarias, ya que un porcentaje muy pequeño se compone de otros tipos de rocas. En la mayoría de las cuencas de petróleo y gas, la lutita constituye 50 a 75% de las rocas perforadas.

La Tabla 2.2 enumera los códigos geológicos, así como la granulometría de los tipos de rocas sedimentarias en particular.

TABLA 2.2 TIPOS DE ROCAS, CÓDIGOS GEOLÓGICOS Y DESCRIPCIÓN

Tipo de Roca	Abreviatura	Símbolo	Granulometría	Descripción
Lutita y arcillita	Sh Clst		<4 micrones	Rocas formadas por la acumulación de minerales arcillosos y partículas de tamaño de limo. Resistencia a la compresión: Sh: 4.000 - 10.000 psi
Marga	Mrl		<4 micrones	Rocas formadas por la acumulación de minerales arcillosos y calcita (carbonato de calcio).
Limolita	Slst		4 a 60 micrones	Rocas formadas por la acumulación de limo y cuarzo de tamaño de arena.
Arenisca	Sst		60 a 2.000 micrones	Resistencia a la compresión: Sst: 5.000 - 15.000 psi
Conglomerado	Cgl		>2.000 micrones	Rocas formadas por la acumulación de partículas de tamaño de grava, guijarros y cantos rodados.
Caliza	Is		Rocas precipitadas	Rocas depositadas mediante la precipitación de calcita (carbonato de calcio) y dolomita (carbonato de calcio-magnesio).
Dolomita y tiza (pizarra)	Dol Chk			Resistencia a la compresión: Is: 6.000-15.000 psi. Dol: ~24.000 psi Chk: ~6.000 psi Cht: ~83.000 psi
Horsteno	Cht			
Yeso y anhidrita	Gyp Anhy		Rocas evaporadas	Rocas depositadas mediante la precipitación durante la evaporación del agua.
Sal	Sa			
Basamento	Bm		Rocas ígneas	Rocas volcánicas formadas por el enfriamiento de magma fundida.
Volcánicas	Volc			
Falla	Flt		n/a	Fractura geológica ancha y desplazamiento de rocas a lo largo de un plano de falla.
Petróleo	O		Fluidos de la formación	Petróleo (5 - 7 lb/gal)
Gas	G			Gas natural (~2,3 lb/gal)
Agua	Wtr			Agua o salmuera (8,3 - 11,7 lb/gal)

FUENTE: MI-SWACO

### 2.1.2 TIPOS DE ARCILLAS

Existe un gran número de minerales arcillosos, pero los que nos interesan en relación con los fluidos de perforación pueden ser clasificados en tres tipos.

El primer tipo consta de arcillas en forma de aguja no hinchables como la atapulgita o la sepiolita. Se cree que la forma de las partículas es responsable de la capacidad que la arcilla tiene para aumentar la viscosidad.

El tamaño natural de cristales finos y la forma de aguja hacen que la arcilla desarrolle una estructura de “escobillas amontonadas” en suspensión, demostrando así una alta estabilidad coloidal, incluso en la presencia de una alta concentración de electrolitos.

Debido a su forma y a sus características no hinchables, estas arcillas demuestran un control de filtración muy débil. Por este motivo, la atapulgita se usa principalmente como mejorador de viscosidad en los lodos base agua salada, mientras que la sepiolita se usa generalmente como viscosificador suplementario para los fluidos geotérmicos y de alta temperatura.

Estas arcillas no están casi nunca presentes en las lutitas de las formaciones.

El segundo tipo son las arcillas laminares no hinchables (o ligeramente hinchables): illita, clorita y kaolinita

El tercer tipo son las montmorillonitas laminares muy hinchables.

El segundo y el tercer tipo de minerales arcillosos se encuentran en las lutitas de las formaciones, en el orden siguiente y en cantidades decrecientes:

1. Illita
2. Clorita
3. Montmorillonita

#### 4. Kaolinita.

Como están presentes en las formaciones perforadas, estas arcillas se dispersan en cantidades variables dentro del sistema de fluido de perforación. La montmorillonita presente en las lutitas es generalmente la montmorillonita cálcica, porque está en equilibrio con el agua de la formación, la cual es generalmente rica en calcio.

La arcilla que existe naturalmente tiene una estructura apilada o estratificada, en la cual cada capa unitaria tiene un espesor de aproximadamente 10 angstroms (Å). Esto significa que cada milímetro de espesor consta de aproximadamente un millón de capas de arcilla.

Cada capa de arcillas es altamente flexible, muy fina, y tiene un área superficial enorme. Se puede considerar que una partícula individual de arcilla es algo parecido a una hoja de papel o un trozo de celofán.

Un gramo de montmorillonita sódica tiene un área superficial de capa total de 8.073 pies<sup>2</sup> (750m<sup>2</sup>).

En agua dulce, las capas adsorben el agua y se hinchan hasta el punto en que las fuerzas que las mantienen unidas se debilitan y las capas individuales pueden separarse de los paquetes.

La separación de estos paquetes en múltiples capas se llama dispersión. Este aumento del número de partículas, junto con el aumento resultante del área superficial, causa el espesamiento de la suspensión.

La Figura 2.1 es una fotomicrografía real de una partícula de bentonita.

Nótese que se parece a una baraja de cartas abierta en abanico. Se puede observar que varias de las partículas laminares se traslapan.

Esta forma característica de las partículas es lo que produce el llamado efecto de "cinglado" que es tan importante para el control de filtrado.



FIGURA 2.1 FOTOMICROGRAFÍA DE PARTÍCULAS DE BENTONITA



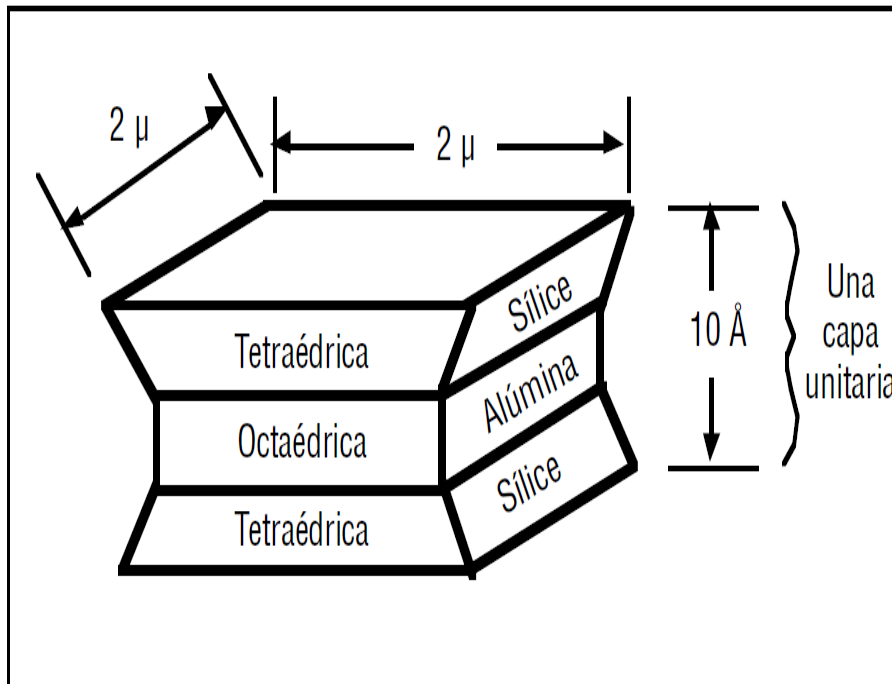
FUENTE: MI-SWACO

Las arcillas son generalmente del tipo de dos capas como la kaolinita o del tipo de tres capas como la montmorillonita, la clorita o la illita.

Cada partícula de arcilla laminar se compone de un apilamiento de capas unitarias paralelas. Cada capa unitaria consta de una combinación de hojas de sílice dispuestas tetraédricamente (en pirámide) y hojas de alúmina o magnesia dispuestas octaédricamente (ocho caras).

Las arcillas de tres capas se componen de capas unitarias constituidas por dos hojas tetraédricas de cada lado de una hoja octaédrica, en cierto modo como un emparedado (ver la Figura 2.2). Las arcillas de dos capas se componen de capas unitarias constituidas por una hoja tetraédrica y una hoja octaédrica.

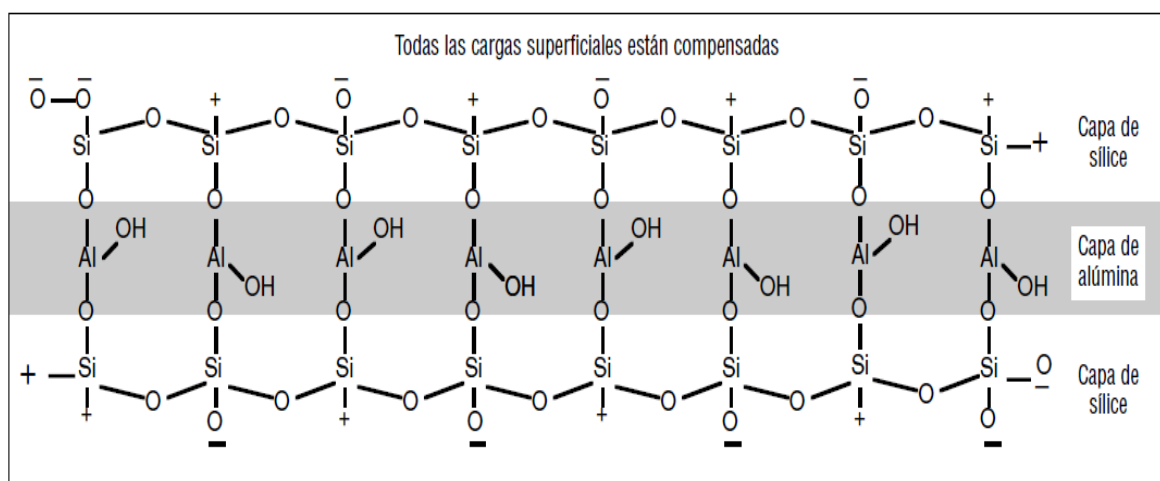
FIGURA 2.2 PARTÍCULA DE MONTMORILLONITA IDEALIZADA



FUENTE: MI-SWACO

Las arcillas pueden ser eléctricamente neutras o estar cargadas negativamente. Por ejemplo, la pirofilita  $[\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10} - (\text{OH})_2]$ , una arcilla neutra, como aparece en la Figura 2.3, es similar a la montmorillonita cargada negativamente.

FIGURA 2.3 PIROFILITA ELÉCTRICAMENTE NEUTRA



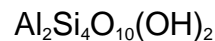
FUENTE: MI-SWACO

### 2.1.2.1. Arcillas de tres capas

#### 2.1.2.1.1. Arcillas esmectitas o montmorillonitas

Las arcillas esmectitas son materiales detergentes (con capacidad de limpiar). En la formación de estas arcillas tienen lugar materiales de origen volcánico, aguas marinas e hidrotermales. Su extrema porosidad le permite absorber el agua entre las capas de aluminosilicatos. Este grupo de minerales incluye la montmorillonita, la hectorita, la saponita, la nontronita y otros minerales específicos.

La fórmula estructural típica de estas arcillas es la siguiente:



Si se sustituye un átomo de aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) por un solo átomo de magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) en la estructura reticular (disposición de los átomos), ésta tendrá un electrón excedente o una carga negativa (ver la Figura 2.4). La carga negativa neta es compensada por la adsorción de cationes (iones positivos) en las superficies de la capa unitaria, tanto en las superficies interiores como en las superficies exteriores del apilamiento.

Los cationes que se adsorben en las superficies de las capas unitarias pueden ser cambiados por otros cationes y se llaman los cationes intercambiables de la arcilla. La cantidad de cationes por peso unitario de la arcilla se mide y se registra como capacidad de intercambio catiónico (CEC). El catión puede ser un ion de simple carga como el sodio ( $\text{Na}^+$ ) o un ion de doble carga como el calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) o el magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). De este modo, tenemos montmorillonita sódica, montmorillonita cálcica y/o montmorillonita magnésica.

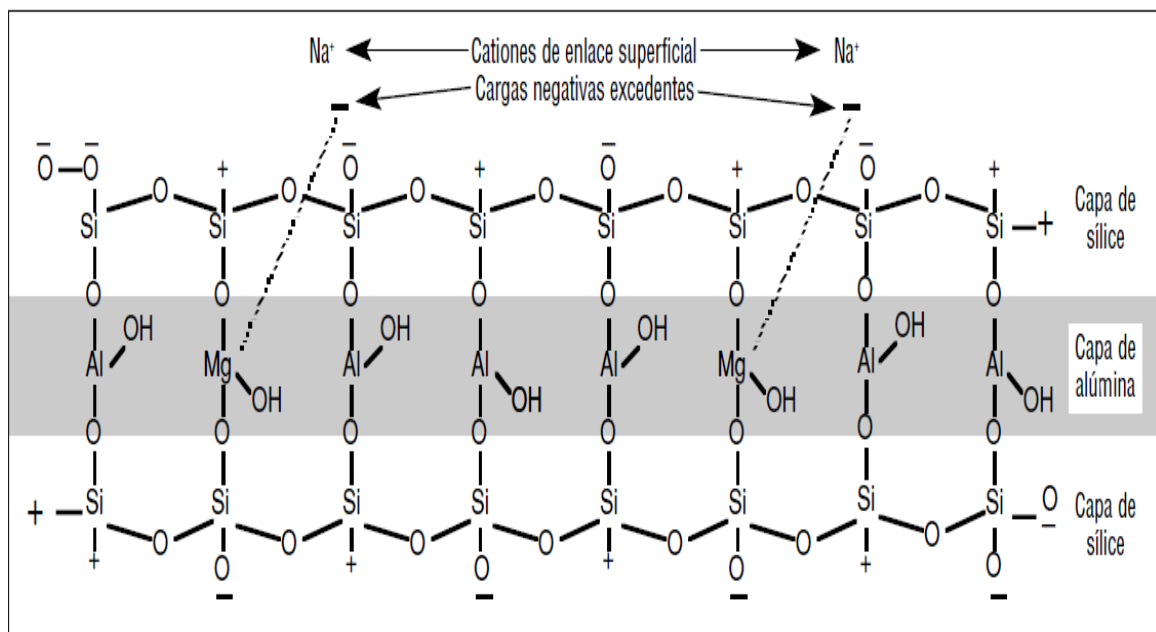
Aunque la bentonita de Wyoming esté generalmente definida como montmorillonita sódica, el calcio y el magnesio intercambiables pueden constituir de 35 a 67% de la capacidad total de intercambio. La propiedad más típica de las montmorillonitas es la capacidad de hinchamiento entre capas (hidratación) con el agua (ver las Figuras 2.5 y 2.6).

Además de la sustitución del aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) por el magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) en la red de montmorillonita, muchas otras sustituciones pueden ser realizadas. Por lo tanto, el nombre montmorillonita se usa frecuentemente como nombre de grupo que incluye muchas estructuras minerales específicas. Sin embargo, en los últimos años, se ha aceptado cada vez más el nombre esméctita como nombre de grupo, reservando el término montmorillonita para los miembros predominantemente aluminosos del grupo.

Este grupo de minerales incluye la montmorillonita, la hectorita, la saponita, la nontronita y otros minerales específicos.

FIGURA 2.4

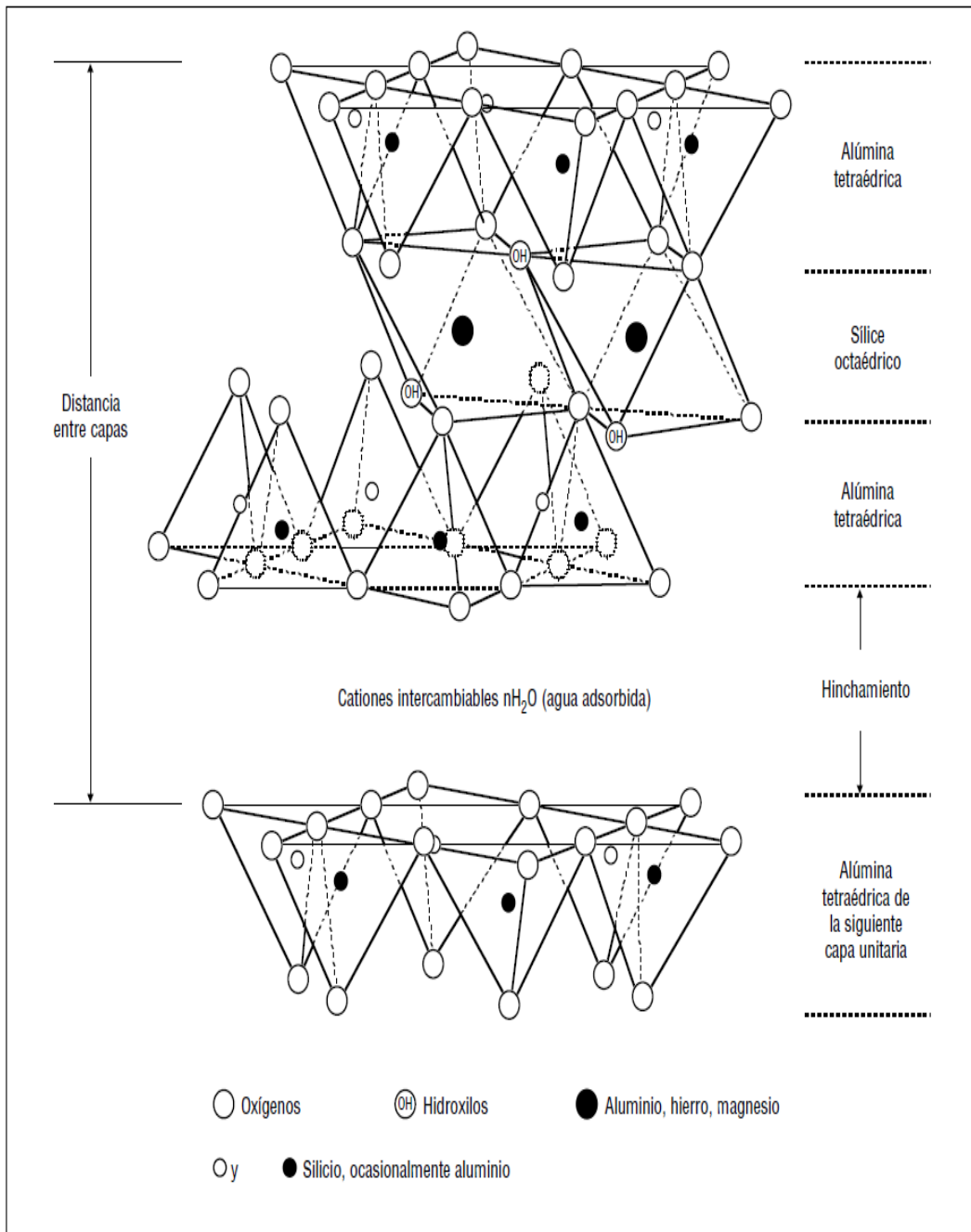
SUSTITUCIÓN DE  $\text{Al}^{3+}$  POR  $\text{Mg}^{2+}$  CAUSANDO UNA PARTÍCULA CARGADA NEGATIVAMENTE.



FUENTE: MI-SWACO

Las esméctitas presentan propiedades muy interesantes derivadas por supuesto de su estructura laminar, de su espacio interlaminares y de la carga residual. Entre ellas destaca la montmorillonita, cuyo nombre se deriva del francés Montmorillon, lugar de Francia en que se encontró esta arcilla típica en 1874.

FIGURA 2.5 ESTRUCTURA DE LA ESMÉCTITA



FUENTE: MI-SWACO

### 2.1.2.1.2 Iilitas

Las iilitas tienen la misma estructura básica que las montmorillonitas, pero no muestran la capacidad de hinchamiento entre capas. En vez de la sustitución de  $Al^{3+}$  por  $Mg^{2+}$  como en la montmorillonita, la iilita tiene una sustitución de  $Si^{4+}$  por

$Al^{3+}$ , lo cual aún produce una carga negativa. Los cationes compensadores son principalmente el ion potasio ( $K^+$ ), como lo indica la Figura 2.6.

La carga negativa neta de la red que resulta de estas sustituciones, mediante los iones potasio compensador, es generalmente mayor que la carga de la montmorillonita, pudiendo ser hasta una vez y media más grande que ésta.

El espacio entre las capas unitarias es de 2,8 Å. El diámetro iónico de  $K^+$  es de 2,66 Å. Esto permite que el  $K^+$  encaje perfectamente entre las capas unitarias, formando un enlace que impide el hinchamiento en la presencia de agua.

Como las capas unitarias no se hinchan ni se separan al ser expuestas al agua, los iones potasio ( $K^+$ ) presentes entre las capas unitarias no están disponibles para el intercambio.

Sólo los iones potasio que se encuentran en las superficies exteriores pueden ser cambiados por otros cationes.

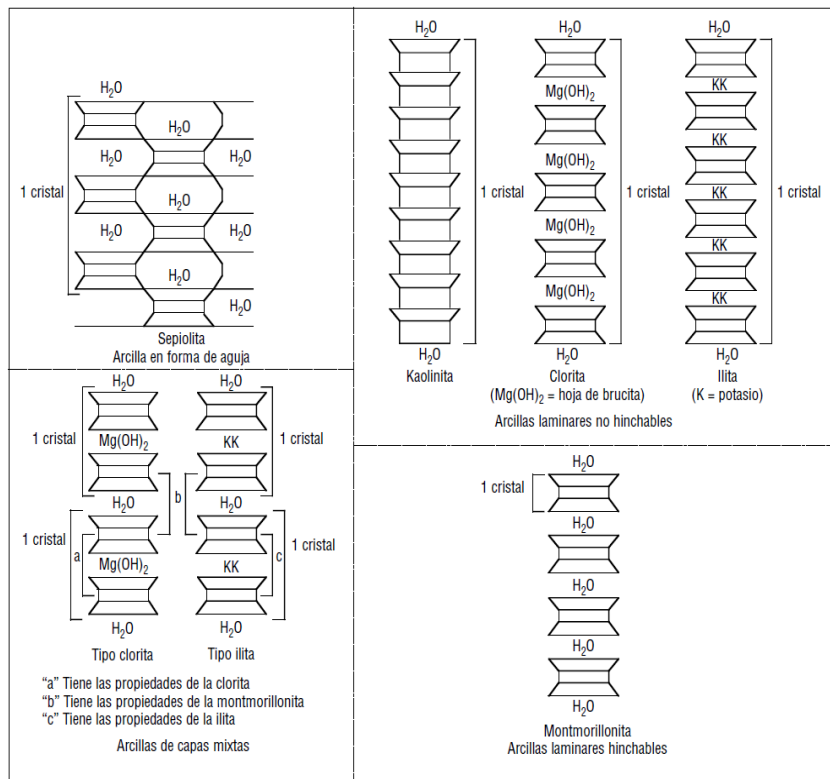
Entre los minerales arcillosos 2:1, la esméctita, illita, y capas mixtas de illita y esméctita son encontradas durante la perforación de formaciones de lutita, causando frecuentemente distintos problemas relacionados con la estabilidad del pozo y el mantenimiento del fluido de perforación.

La naturaleza problemática de estos minerales arcillosos puede estar relacionada con los cationes débilmente enlazados entre las capas y las cargas débiles de las capas que producen el hinchamiento y la dispersión al entrar en contacto con el agua.

A medida que la profundidad aumenta, la esméctita se convierte gradualmente en arcillas de capas mixtas de illita/esméctita, y finalmente en illita y mica.

Como resultado, las formaciones de lutita se vuelven generalmente menos hinchables pero más dispersivas en agua, a medida que la profundidad aumenta.

FIGURA 2.6 COMPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE ARCILLAS



FUENTE: MI-SWACO

### 2.1.2.1.3 Cloritas

Las cloritas se encuentran frecuentemente en antiguos sedimentos marinos enterrados a grandes profundidades, y normalmente no causan ningún problema importante a menos que estén presentes en grandes cantidades. Los minerales arcillosos de clorita son similares a la arcilla illita en lo que se refiere a la reactividad, no contiene agua entre las capas, no se hinchan en su forma pura, pero puede hacerse que hinchen ligeramente al ser modificadas.

Las cloritas están estructuralmente relacionadas con las arcillas de tres capas. Las cloritas no se hinchan en su forma pura, pero puede hacerse que hinchen ligeramente al ser modificadas.

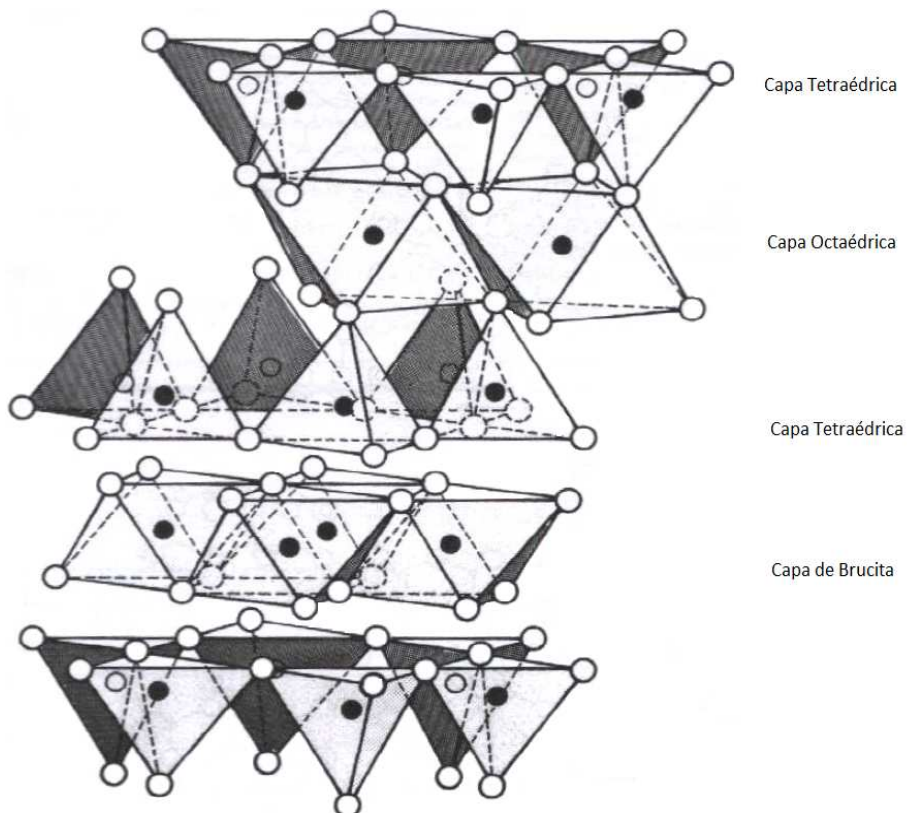
En estas arcillas, los cationes compensadores de carga entre las capas unitarias de tipo montmorillonita son reemplazados por una capa de hidróxido de magnesio

octaédrico, o brucita (ver la Figura 2.7). Esta capa tiene una carga positiva neta debido a la sustitución de ciertos  $Mg^{2+}$  por  $Al^{3+}$  en la capa de brucita.

Las cloritas se encuentran frecuentemente en antiguos sedimentos marinos enterrados a grandes profundidades, y normalmente no causan ningún problema importante a menos que estén presentes en grandes cantidades. La capacidad de intercambio catiónico de la clorita varía de 10 a 20 meq/100 g, principalmente debido a los enlaces rotos.

La distancia entre capas del clorita suele ser de aproximadamente 14 Å. La clorita también puede formar arcillas de capas mixtas con otros minerales arcillosos tales como la esméctita. La arcilla resultante de capas mixtas tendría las propiedades de ambos tipos de minerales arcillosos.

FIGURA 2.7 DIAGRAMA DE LA ESTRUCTURA DE LA CLORITA



FUENTE: IDF



#### 2.1.2.1.4 Sepiolita y atapulgita

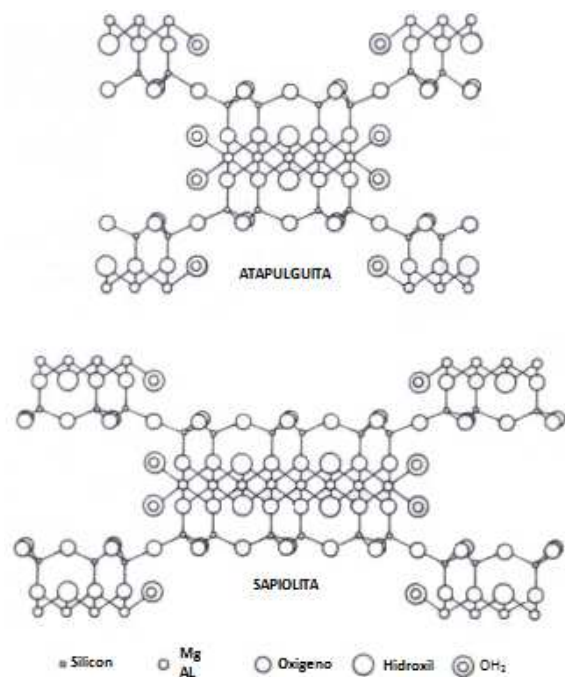
Son arcillas en forma de aguja no hinchables, se cree que la forma de las partículas es responsable de la capacidad que esta arcilla tiene para aumentar la viscosidad. El tamaño natural de cristales finos y la forma de aguja hacen que la arcilla desarrolle una estructura de “escobillas amontonadas” en suspensión, demostrando así una alta estabilidad coloidal, incluso en la presencia de una alta concentración de electrolitos.

La atapulgita se usa principalmente como mejorador de viscosidad en los lodos base agua salada, mientras que la sepiolita se usa generalmente como viscosificador suplementario para los fluidos geotérmicos y de alta temperatura.

Estas arcillas no están casi nunca presentes en las lutitas de las formaciones. La atapulgita es un mineral único. Su estructura cristalina es en forma de aguja, como lo indica la Figura 2.8.

FIGURA 2.8

#### ESTRUCTURA ESQUEMÁTICA DE LA SEPIOLITA Y DE LA ATAPULGITA



FUENTE: IDF

Su capacidad para aumentar la viscosidad es independiente del agua de preparación. Sus desventajas son: mayor costo, falta de control de filtración debido a la forma de las partículas y características reológicas más difíciles de controlar.

### **2.1.2.2 Arcillas de dos capas**

#### ***2.1.2.2.1 Kaolinitas***

Las arcillas kaolinitas presentan caolín por hidrólisis de los feldspatos que contienen las rocas graníticas. La caolinita se encuentra comúnmente como componente menor a moderado (5 a 20%) de las rocas sedimentarias tales como las lutitas y las areniscas.

La kaolinita es una arcilla no hinchable cuyas capas unitarias están fuertemente ligadas mediante enlaces de hidrógeno.

Esto impide la expansión de la partícula, porque el agua no es capaz de penetrar en las capas. La kaolinita no contiene cationes entre capas ni tiene cargas superficiales porque no se produce casi ninguna sustitución en las hojas tetraédricas u octaédricas.

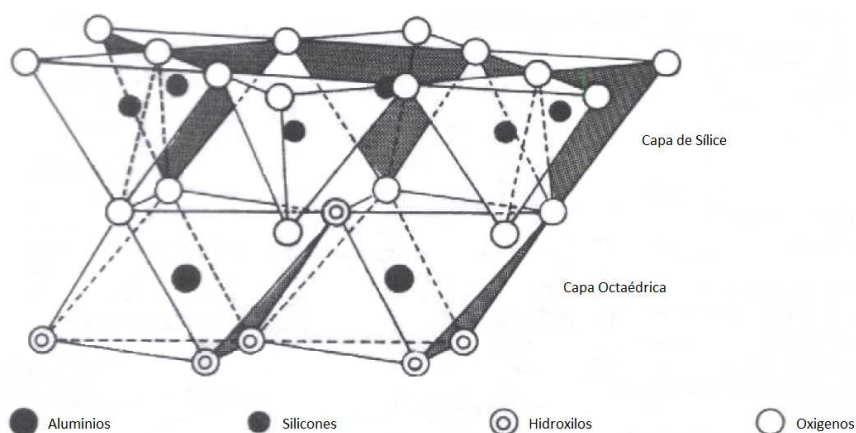
Sin embargo, algunas pequeñas cargas pueden resultar de los enlaces rotos o las impurezas. Por lo tanto, la kaolinita tiene una capacidad de intercambio catiónico relativamente baja (de 5 a 15 meq/100 g). La kaolinita se encuentra comúnmente como componente menor a moderado (5 a 20%) de las rocas sedimentarias tales como las lutitas y las areniscas.

La Tabla 2.3 contiene un resumen de los minerales arcillosos y la Figura 2.9 presenta una comparación esquemática de las diferentes estructuras de las arcillas. La fórmula química de las caolinitas es:



Su estructura la podemos observar en la figura 2.9.

FIGURA 2.9 DIAGRAMA DE LA ESTRUCTURA DE LA KAOLINITA



FUENTE: IDF


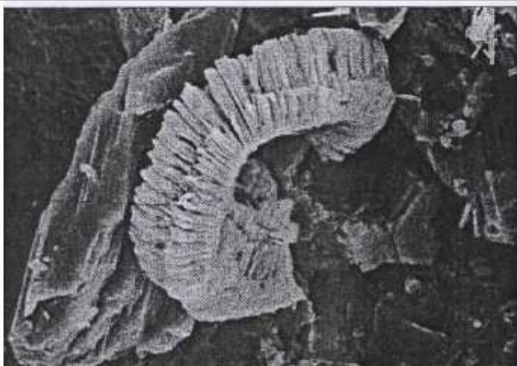
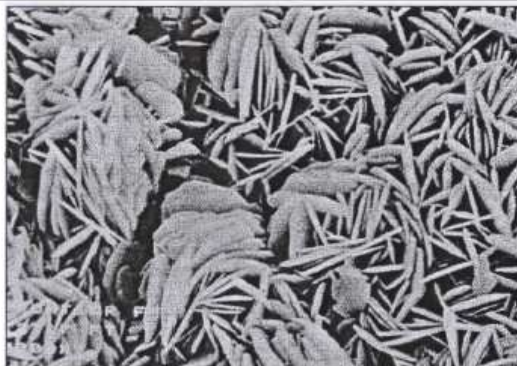
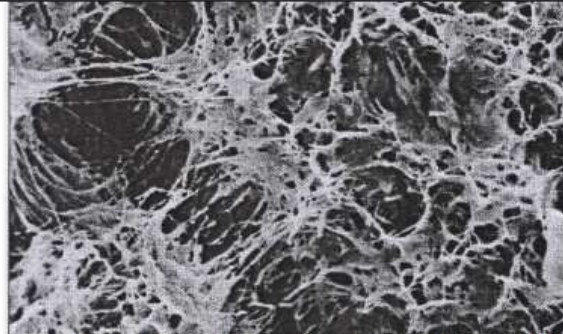
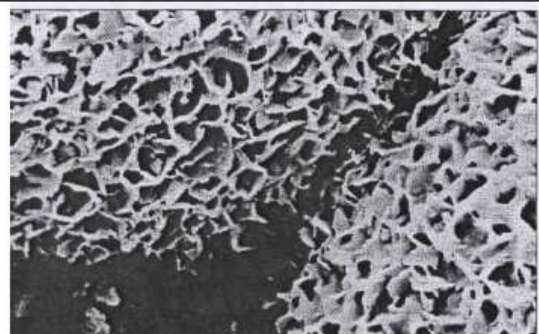

TABLA 2.3 ARCILLAS ENCONTRADAS COMÚNMENTE

GRUPO	ESTRUCTURA	CARGA	CATIÓN DE INTERCAMBIO	DISTANCIA INTERATÓMICA (Å)	HINCHAMIENTO
Kaolinita	capa 1:1	Nula	Ninguno	7,2	Ninguno
Talco	capa 2:1	Nula	Ninguno	9,3	Ninguno
Esméctita	capa 2:1	0,3 - 0,6	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	11,0 - 15,0	Variable
Vermiculita	capa 2:1	1,0 - 4,0	K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	14,0 - 15,0	Variable
Ilita	capa 2:1	1,3 - 2,0	K <sup>+</sup>	10	Nulo
Mica	capa 2:1	2	K <sup>+</sup>	10	Ninguno
Chlorita	capa 2:2	Variable	Capa de brucita	14	Nulo
Sepiolita	cadena 2:1	Nula	Ninguno	12	Nulo
Paligorskita	cadena 2:1	Menor	Ninguno	10,5	Nulo

FUENTE: MI-SWACO

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

FIGURA 2.10 ESTRUCTURA DE LAS ARCILLAS

 <p>Cara a cara placas pseudo-hexagonales con poros llenos de caolinita. (Aumento de 100X).</p>	 <p>Caolinita (aumento de 2300X).</p>	 <p>Pozo desarrollado con placas de cloritas autigénica (aumento de 3000X).</p>
 <p>Fibras delicadas de puentes porales de illita. Bajo ratas de flujo altas, las fibras pueden romperse y migrara llegando alojándose en la garganta poral. (aumento de 3000X)</p>	 <p>Recubrimiento de Esmectita de grano autogénico. ( Aumento de 2000X)</p>	 <p>Ilita capa mixta con recubrimientos de granos y oclusión de poros de illita y esmectica (Aumento 750 X)</p>

FUENTE: CORE LAB

### **2.1.3 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CEC)**

Los cationes compensadores que se adsorben en la superficie de la capa unitaria pueden ser cambiados por otros cationes y se llaman los cationes intercambiables de la arcilla. La cantidad de cationes por peso unitario de la arcilla es medida y registrada como la CEC (capacidad de intercambio catiónico). La CEC está expresada en miliequivalentes por 100 g de arcilla seca (meq/100 g).

- La CEC de la montmorillonita está comprendida dentro del rango de 80 a 150 meq/100 g de arcilla seca.
- La CEC de las ilitas y cloritas es de aproximadamente 10 a 40 meq/100 g
- La CEC de las kaolinitas es de aproximadamente 3 a 10 meq/100 g de arcilla.

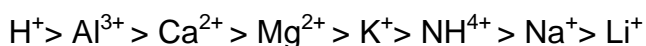
La Prueba de Azul de Metileno (MBT) es un indicador de la CEC aparente de una arcilla. Cuando se realiza esta prueba sobre un lodo, se mide la capacidad total de intercambio de azul de metileno de todos los minerales arcillosos presentes en el lodo.

Normalmente se registra la Capacidad de Azul de Metileno (MBC) como cantidad equivalente de bentonita de Wyoming requerida para obtener esta misma capacidad.

Es importante notar que la prueba no indica directamente la cantidad de bentonita presente. Sin embargo, la cantidad aproximada de bentonita y sólidos en el lodo puede ser calculada basándose en el hecho de que los sólidos de perforación normales tienen una CEC equivalente a 1/9 de la CEC de la bentonita, y si se calcula la cantidad de sólidos de perforación presentes en el lodo a partir de un análisis de retorta.

Este cálculo aproximado de la cantidad de bentonita añadida y sólidos de perforación puede ser más preciso cuando se mide la MBC de los recortes de perforación. Este procedimiento puede ser útil para evaluar la cantidad y la calidad de las arcillas en el lodo.

Para hacerse una idea de los cationes que reemplazarán a otros cationes en las posiciones de intercambio, se acepta generalmente la siguiente secuencia, disponiéndola en orden de preferencia decreciente:



Es decir que cualquier catión a la izquierda reemplazará a cualquier catión ubicado a su derecha.

La concentración relativa de cada catión también afecta esta preferencia de intercambio catiónico. Aunque resulte más difícil reemplazar el calcio que el sodio, si la concentración iónica de  $\text{Na}^+$  es considerablemente más alta que la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$ , el sodio desplazará al calcio.

El intercambio catiónico puede resultar de un cambio de temperatura visto que muchos compuestos tienen diferentes relaciones de solubilidad a temperatura. La solubilidad de algunas de las sales cálcicas comunes, tales como  $\text{CaSO}_4$ , disminuye a grandes temperaturas, mientras que la solubilidad de la mayoría de los compuestos de sodios aumenta. A medida que la concentración de  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  aumenta, los cationes  $\text{Ca}^{2+}$  de la arcilla tienden a ser reemplazados por los cationes  $\text{Na}^+$  de la solución.

#### **2.1.4 HIDRATACIÓN DE LAS ARCILLAS**

El cristal de bentonita se compone de tres capas: una capa de alúmina con una capa de sílice encima y otra debajo. La laminilla de arcilla está cargada negativamente y una nube de cationes está relacionada con ésta. Si un gran número de estos cationes son sodio, la arcilla será frecuentemente llamada

montmorillonita sódica. Si los cationes son principalmente calcio, la arcilla será llamada montmorillonita cálcica.

Según el número de cationes presentes, el espacio entre capas de la montmorillonita seca estará comprendido entre 9,8 (sodio) y 12,1 Å (calcio) y lleno de agua fuertemente ligada. Cuando la arcilla seca entra en contacto con agua dulce, el espacio entre capas se expande y la arcilla adsorbe una gran "envoltura" de agua. Estos dos fenómenos permiten que las arcillas generen viscosidad.

Como lo indica la Figura 2.11, las bentonitas a base de calcio sólo se expanden hasta 17 Å, mientras que la bentonita sódica se expande hasta 40 Å.

El espesor de la película de agua adsorbida es controlado por el tipo y la cantidad de cationes asociados con la arcilla. El agua que se adsorbe en las grandes superficies planares contiene la mayor parte del agua total retenida por las arcillas hidratables.

Los cationes divalentes como  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  aumentan la fuerza de atracción entre las laminillas, reduciendo así la cantidad de agua que se puede adsorber. Los cationes monovalentes como  $\text{Na}^+$  producen una fuerza de atracción más débil, permitiendo que más agua penetre entre las laminillas.

Como la bentonita sódica se hincha cuatro veces más que la bentonita cálcica, la bentonita sódica generará una viscosidad cuatro veces más importante. Además de adsorber el agua y los cationes en las superficies exteriores, la esmectita absorbe agua y cationes en las superficies entre las capas de su estructura cristalina. La esmectita tiene una capacidad de adsorción de agua mucho más grande que otros minerales arcillosos. La capacidad de adsorber agua, la cantidad de cationes intercambiables (CEC) y el área superficial son fenómenos muy relacionados entre sí que a veces son llamados propiedades coligativas de la arcilla.

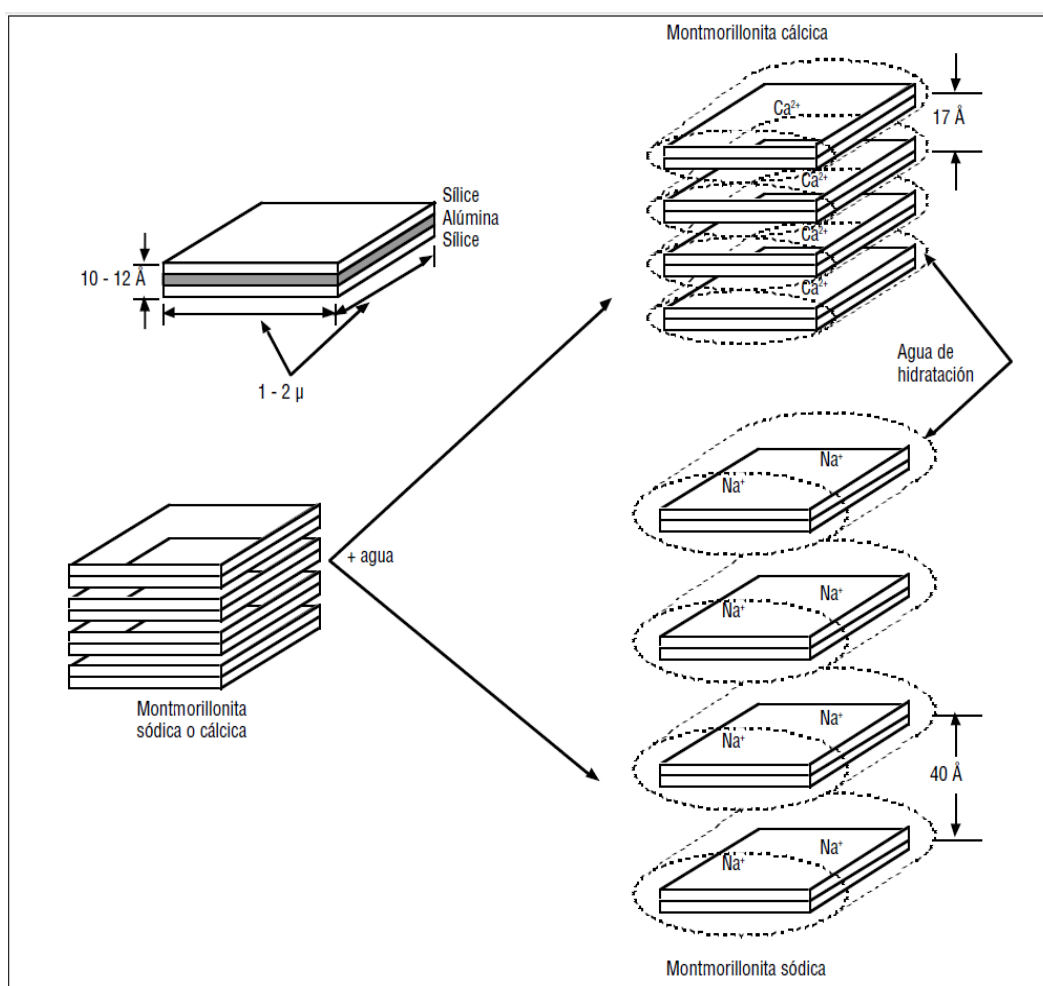


Estas propiedades coligativas son básicamente medidas de la reactividad de la arcilla. Como la CEC es fácil de medir, se trata de un método práctico para evaluar la reactividad de la arcilla o lutita.

La CEC de la arcilla se puede medir mediante una valoración de azul de metileno. Para medir la CEC, se usa una solución de azul de metileno 0,01 N, de manera que el número de milímetros de solución de azul de metileno requeridos para llegar al punto final sea igual a meq/100 g.

FIGURA 2.11

COMPARACIÓN DEL HINCHAMIENTO PARA LA MONTMORILLONITA CÁLCICA Y SÓDICA



FUENTE: MI-SWACO



El rango de CEC para materiales minerales arcillosos puros está indicado en la tabla 2.4:

TABLA 2.4

RANGO DE CEC PARA MATERIALES MINERALES ARCILLOSOS PUROS

ARCILLA	CEC (meq/100g)
Esméctita	80 - 200
Ilita	10,0 - 50
Clorita	10 - 40 (20)
Kaolinita	3 - 10
Vermiculita	100 - 180
Halloisita	10 - 40
Montmorillonita	120 - 250
Sepiolita-Paligorskita	20 - 35

FUENTE: Q-MAX

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

La esmectita es claramente mucho más reactiva que otros materiales minerales arcillosos. Las lutitas que contienen esmectita son las más sensibles al agua y las más hidratables.

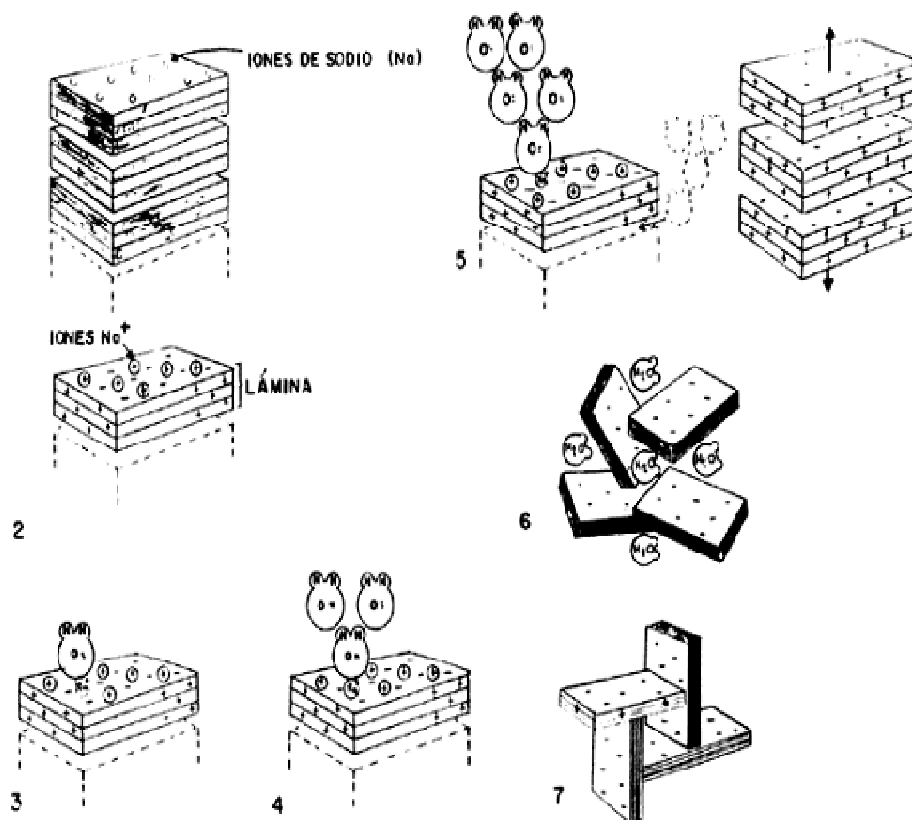
Las lutitas que contienen otros minerales arcillosos tienen una menor capacidad de hidratación, aunque puedan ser sensibles al agua. La mayoría de las lutitas contienen varios tipos de arcillas en cantidades variables. La reactividad de una lutita depende de los tipos y de las cantidades de minerales arcillosos presentes en la lutita. Muchas veces, la CEC constituye una mejor

medida de la reactividad de la arcilla que el análisis mineralógico deducido del análisis de difracción de rayos X.

Veamos ahora en forma secuencial lo que ocurre cuando el agua se aproxima al edificio laminar de la arcilla con ayuda de la figura 2.12.

FIGURA 2.12

ETAPAS SECUENCIALES EN LA INTERACCIÓN DEL AGUA EN LA ARCILLA



FUENTE: IDF

**Etapa 1:** en el principio la arcilla se encuentra en un estado deshidratado, son algunos iones de sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) o tal vez calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) adsorbidos en el espacio interlaminar.

**Etapa 2:** desde el punto de vista electrostático, las cargas negativas en la arcilla se acumulan en las superficies planas de las laminillas, mientras que

los bordes acumulan cargas positivas. Luego los iones de sodio tienden a concentrarse sobre las caras planas.

**Etapa 3:** al ponerse en contacto con la arcilla, las moléculas de agua son atraídas fuertemente hacia las superficies planas debido a la presencia de los iones sodio cargados positivamente. Hay que recordar que, a la escala molecular, las fuerzas electrostáticas son las más importantes.

**Etapa 4:** en este estado, las moléculas de agua se hacen más dipolares, atrayendo a otras de su especie.

**Etapa 5:** la carga negativa en la superficie de las laminillas se incrementa conforme las moléculas de agua se enlazan unas con otras al aumentar su polarización. Llega un momento en que la carga superficial es tal, que las láminas se repelen entre sí separándose unas de otras por lo que el espacio interlaminar se expande, originando el hinchamiento característico de las arcillas.

**Etapa 6:** las moléculas de agua continúan llenando el espacio interlaminar, neutralizando parcialmente las superficies expuestas y manteniendo las láminas apartadas unas de otras (Ver figura 2.21)

**Etapa 7:** el equilibrio de la hidratación es alcanzado cuando termina la mezcla de la arcilla con el agua, dando como resultado una estructura interna hidratada que hace coincidir los bordes cargados positivamente con las caras planas cargadas negativamente, de modo que se forma una estructura de castillo de naipes, por lo que las moléculas de agua entran y salen libremente.

Este castillo puede derrumbarse mediante una agitación vigorosa de la suspensión, pero tiende a formarse de nuevo si la agitación termina, esto es, si el medio queda libre de esfuerzos mecánicos. Este último efecto se debe a que las hojas mantienen la fuerte carga electrostática que las atrae.

### 2.1.5 SUPERFICIE ESPECÍFICA

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en  $\text{m}^2/\text{g}$ .

Los minerales arcillosos tienen la capacidad de adsorber agua y cationes en su superficie. Como se mencionó anteriormente, los minerales arcillosos tienen un pequeño tamaño de partículas y una estructura estratificada o laminar.

Por este motivo, los minerales arcillosos tienen una gran superficie específica (superficie específica = superficie por gramo de material), muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad. Algunos ejemplos de superficies específicas de arcillas se muestran en la tabla 2.5

TABLA 2.5 SUPERFICIE ESPECÍFICA DE ARCILLAS

MATERIAL	SUPERFICIE ESPECÍFICA ( $\text{m}^2/\text{g}$ )
Caolinita de elevada cristalinidad	hasta 15
Caolinita de baja cristalinidad	hasta 50
Halloisita	hasta 60
Illita	hasta 50
Montmorillonita	80 - 300
Sepiolita	100 - 240
Paligorskita	100 - 200

FUENTE: MI-SWACO

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

### **2.1.6 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN**

Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (esmeclitas) o en los canales estructurales (sepiolita y Paligorskita).

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada:

Absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso.

### **2.1.7 TIXOTROPÍA**

La tixotropía es el fenómeno que consiste en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido.

Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.

También por estas razones, al añadir una pequeña proporción de arcilla al agua ésta permanece flotando sobre el líquido indefinidamente, alcanzando el estado coloidal. Sin embargo, si se añade aún más, el líquido se torna viscoso y se resiste a fluir; en cambio, si se agita vigorosamente la suspensión, el líquido recupera su fluidez, perdiéndola nuevamente al cesar la agitación.

A esta propiedad se le llama tixotropía, y es típica de muchas de las arcillas comunes.

Tiene su asiento en la afinidad por el agua, así como en la capacidad de hinchamiento del espacio interlaminar, el cual puede alcanzar hasta quince veces el volumen original.

### **2.1.8 PLASTICIDAD**

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso.

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla.

En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

### **2.1.9 PROCESOS DE ENLACE DE LAS PARTÍCULAS DE ARCILLA**

Además de conocer la cantidad y calidad de las arcillas de un lodo, se requiere conocer el estado de asociación de las partículas de arcilla.

Los distintos procesos de enlace de las partículas de arcilla son importantes para la reología de las suspensiones de arcilla. Estos procesos de enlace deben ser comprendidos para entender y controlar los cambios reológicos en los fluidos de perforación.

Las partículas laminares finas y planas de arcilla tienen dos superficies diferentes. La cara grande o superficie planar está cargada negativamente y la superficie fina del borde está cargada positivamente donde se interrumpe la red y se expone la superficie del enlace roto.

Estas cargas eléctricas y los cationes intercambiables crean alrededor de las partículas de arcilla un campo de fuerzas eléctricas que determina la manera en que dichas partículas interactúan las unas con las otras.

Si los iones intercambiables se disocian de la superficie de la arcilla, la fuerza repulsiva entre las láminas cargadas negativamente es grande y las láminas se dispersarán, alejándose las unas de las otras. La dispersión completa es rara y es probable que sólo pueda ocurrir en suspensiones diluidas de montmorillonita sódica purificada.

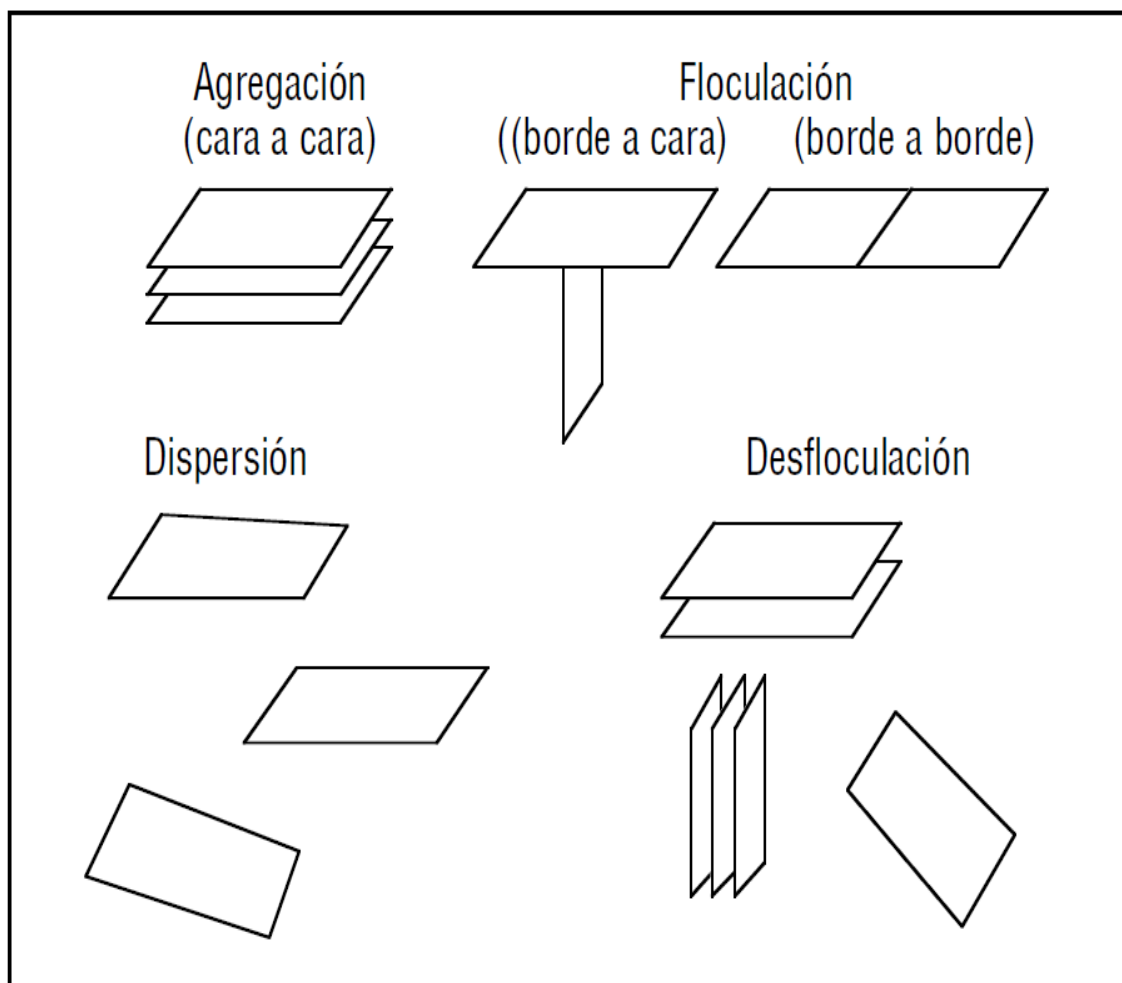
En general se produce un cierto grado de enlaces entre las partículas.

Las partículas de arcilla se asocian cuando están en uno de los siguientes estados (ver la Figura 2.12):

- Agregación
- Dispersión
- Floculación
- Desfloculación

Pueden estar en uno o varios estados de asociación al mismo tiempo, con un estado de asociación predominando.

FIGURA 2.13 ASOCIACIÓN DE LAS ARCILLAS



FUENTE: MI-SWACO



### **2.1.9.1 La agregación**

(Enlace de cara a cara) resulta en la formación de láminas o paquetes más gruesos. Esto reduce el número de partículas y causa una reducción de la viscosidad plástica. La agregación puede ser causada por la introducción de cationes divalentes, tales como  $\text{Ca}^{2+}$ , en el fluido de perforación.

Esto podría resultar de la adición de cal o yeso, o de la perforación de anhidrita o cemento. Después del aumento inicial, la viscosidad disminuirá con el tiempo y la temperatura, hasta llegar a un valor inferior al valor inicial.

### **2.1.9.2 La dispersión**

Reacción contraria a la agregación, resulta en un mayor número de partículas y viscosidades plásticas más altas.

Las laminillas de arcilla son normalmente agregadas antes de ser hidratadas y cierta dispersión ocurre a medida que se hidratan. El grado de dispersión depende del contenido de electrolitos en el agua, del tiempo, de la temperatura, de los cationes intercambiables en la arcilla y de la concentración de arcilla.

La dispersión es más importante cuando la salinidad es más baja, los tiempos más altos, las temperaturas más altas y la dureza más baja. Incluso la bentonita de Wyoming no se dispersa totalmente en agua a la temperatura ambiente.

### **2.1.9.3 La floculación**

Se refiere a la asociación de borde a borde y/o borde a cara de las partículas, resultando en la formación de una estructura similar a un “castillo de naipes”. Esto causa un aumento de la viscosidad, gelificación y filtrado.

La severidad de este aumento depende de las fuerzas que actúan sobre las partículas enlazadas y del número de partículas disponibles para ser enlazadas.

Cualquier cosa que aumenta las fuerzas repulsivas entre las partículas o causa la contracción de la película de agua adsorbida, tal como la adición de cationes divalentes o las temperaturas elevadas, puede fomentar la floculación.

#### **2.1.9.4 La desfloculación**

Es la disociación de las partículas floculadas. La adición de ciertos productos químicos al lodo neutraliza las cargas electroquímicas en las arcillas. Esto elimina la atracción que resulta del enlace borde a borde y/o borde a cara entre las partículas de arcilla. Como la desfloculación causa una reducción de la viscosidad, los productos químicos desfloculantes son frecuentemente llamados diluyentes de lodo.

La desfloculación también permite la disposición plana de las partículas de arcilla en el revoque para reducir el filtrado.

## **2.2 ESTABILIDAD DE LA LUTITA Y DEL POZO**

### **2.2.1 INTRODUCCIÓN**

Mantener un pozo estable es uno de los principales retos al perforar un pozo. Los estudios indican que los sucesos imprevistos relacionados con la inestabilidad del pozo representan más del 10% de los costos del pozo, con un costo anual para la industria estimado en más de mil millones de dólares.

Prevenir la inestabilidad de las zonas con lutitas es muy importante para cada fase de la industria de fluidos de perforación, desde los esfuerzos de investigación y desarrollo hasta la implementación en el campo por el ingeniero de lodos.

Nuevas tecnologías están siendo desarrolladas y aplicadas continuamente, mientras que las tecnologías anteriores son perfeccionadas.

La inestabilidad del pozo es causada por un cambio radical del esfuerzo mecánico y de los ambientes químicos y físicos durante la perforación, exponiendo la formación al lodo de perforación.

Tal inestabilidad del pozo suele ser indicada por lutitas derrumbables, resultando en ensanchamiento del pozo, puentes y relleno. Las consecuencias más comunes son:

- Pegadura de la tubería
- Desviaciones del pozo
- Dificultades relacionadas con los registros y su interpretación
- Dificultades en la recuperación de núcleos laterales
- Dificultades al meter la tubería de revestimiento
- Cementaciones de mala calidad
- La pérdida de circulación.
- Limpieza insuficiente del pozo
- Atascamiento de tubería y operaciones de pesca
- Ensanchamientos del pozo
- Derrumbes
- Puentes y rellenos en los viajes
- Incremento del torque y arrastre
- Decremento de la tasa de penetración

Todas éstas resultan en mayores costos, la posibilidad de perder parte del pozo o el pozo entero, o una producción reducida.

### **2.2.2 CAUSAS DE LA INESTABILIDAD DEL POZO**

La inestabilidad del pozo es causada por:

- Esfuerzo mecánico.
  - Rotura causada por la tensión – fracturación y pérdida de circulación
  - Rotura causada por la compresión – fisuración y colapso o flujo plástico.
  - Abrasión e impacto.
- Interacciones químicas con el fluido de perforación.
  - Hidratación, hinchamiento y dispersión de la lutita.
  - Disolución de formaciones solubles.
- Interacciones físicas con el fluido de perforación.
  - Erosión
  - Humectación a lo largo de fracturas preexistentes (lutita frágil).
  - Invasión de fluido – transmisión de presión.

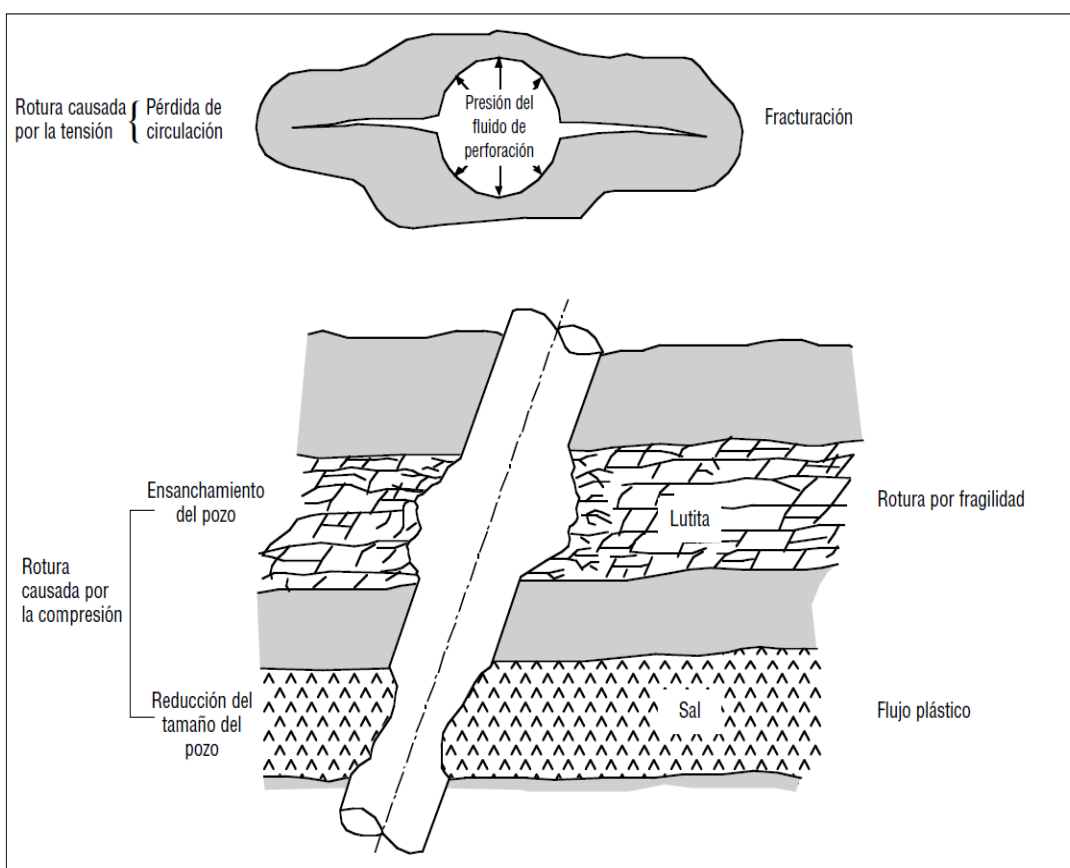
#### **2.2.2.1 Rotura por esfuerzo mecánico**

La falla del pozo que se debe al esfuerzo mecánico suele ser causada por una de dos situaciones. Primero, el peso del lodo es demasiado alto, provocando una fractura (roca bajo tensión) que causa la pérdida de circulación.

Segundo, el peso del lodo es demasiado bajo, causando el derrumbe (fisuración) o colapso (roca bajo compresión) de la roca, de la manera ilustrada en la Figura 2.14.

La abrasión mecánica y el impacto de la columna de perforación también pueden causar el ensanchamiento del pozo y producir la inestabilidad de las rocas frágiles.

FIGURA 2.14 INESTABILIDADES MECÁNICAS DEL POZO



FUENTE: MI-SWACO

### 2.2.2.1.1 Rotura-fracturación causada por la tensión

Las rocas tienen bajas resistencias a la tensión. En realidad, las formaciones de arena no consolidada o fracturadas tienen una resistencia a la tensión igual

a cero. Las areniscas suelen tener una resistencia a la tensión más baja que la lutita.

Las rocas duras pueden tener resistencias a la tensión de 300 a 600 psi. Normalmente se aumenta el peso del lodo para controlar el flujo de gas y líquidos dentro del pozo, manteniendo una presión hidrostática ligeramente más alta que la presión poral.

Si la presión del lodo excede el gradiente de presión de la roca, una fractura comienza a formarse, causando la pérdida de circulación. La fractura estará orientada en un plano paralelo a la dirección del esfuerzo principal máximo y perpendicular al esfuerzo mínimo, resultando generalmente en la abertura de una fractura vertical hacia el esfuerzo principal más pequeño.

Según la teoría de hinchamiento, si el peso del lodo es excesivo, el pozo puede ensancharse (hincharse) y aprisionar la presión de la misma manera que un recipiente a presión.

#### ***2.2.2.1.2 Rotura/colapso causado por la compresión o flujo plástico***

Las rocas tienen resistencias a la compresión que varían generalmente de 4.000 a 15.000 psi. Si el peso del lodo no es suficiente para balancear este esfuerzo máximo admisible de la roca, uno de dos mecanismos de rotura puede entrar en juego:

1. Ensanchamiento del pozo debido a la fisuración o al colapso en las rocas frágiles.
2. Deformación del pozo y pozo reducido debido al flujo plástico en las formaciones plásticas como la sal, causando la compresión del pozo hasta que se cierre.

Las lutitas sometidas a esfuerzos y las lutitas presurizadas son dos problemas especiales de estabilidad del pozo que ocurren porque el peso del lodo no es suficiente para satisfacer las resistencias a la compresión.

#### ***2.2.2.1.2.1 Lutitas sometidas a esfuerzos***

Los pesos del lodo son generalmente aumentados para controlar el flujo de gas y líquidos dentro del pozo. Si la formación está sometida a esfuerzos debido a las fuerzas tectónicas, el peso del lodo puede ser necesario para evitar la inestabilidad del pozo.

La lutita de este tipo se puede definir como una lutita que no se hidrata mucho pero que se derrumba en el pozo al ser penetrada.

Las diferencias térmicas entre el flujo de lodo frío y la formación caliente también pueden causar esfuerzos sobre el pozo y la inestabilidad del pozo. Este problema no es común, pero debería ser considerado al evaluar la rotura del pozo en pozos de alta temperatura.

#### ***2.2.2.1.2.2 Lutitas presurizadas***

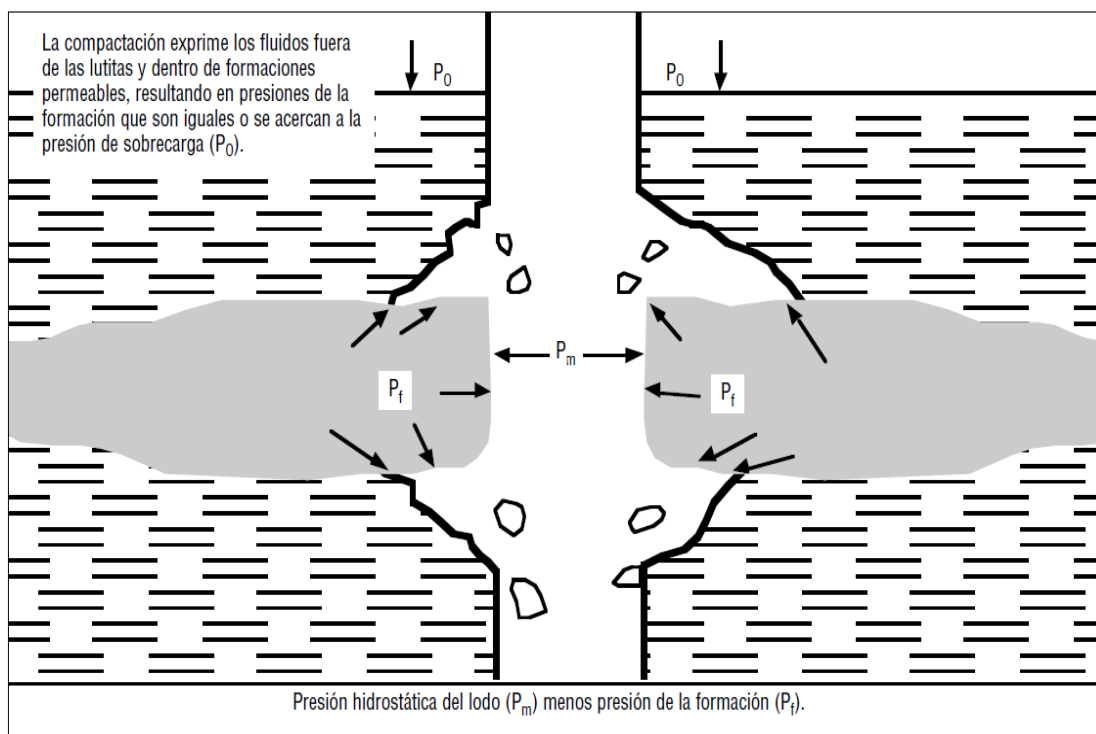
Si la formación es impermeable, sin que haya ninguna formación permeable adyacente, tal como un cuerpo masivo de lutita o sal, puede que sea difícil identificar algún aumento de la presión debido a la ausencia de gas de fondo/conexión o al influjo de fluidos porales.

Las lutitas problemáticas relacionadas con las geopresiones suelen limitarse geográficamente a zonas de geología más reciente, generalmente postcretáceas. Las lutitas de este tipo son normalmente masivas, pero no homogéneas.

Durante la evolución del tiempo geológico, los limos y las lutitas se comprimen y se compactan debido a la masa cada vez más grande de la sobrecarga. Durante el proceso de compactación, los fluidos contenidos dentro de la lutita son exprimidos fuera de ésta y dentro de lentes de arena más porosas y permeables, y no se comprimen ni se compactan de ningún modo. Por lo tanto, todos los fluidos que entran en dichas lentes quedan atrapados y están

completamente aislados por la lutita circundante, de la manera ilustrada en la Figura 2.15.

FIGURA 2.15 LUTITA PRESURIZADA



FUENTE: MI-SWACO

La resolución de este problema de lutita causado por la presión es relativamente simple, i.e. aumentar el peso del lodo para crear una presión hidrostática suficiente para confinar la presión de la formación.

Además de aumentar la densidad, otras prácticas pueden ayudar a controlar el problema, minimizando cualquier reducción adicional de la presión hidrostática:

1. Mantener el pozo lleno de lodo al sacar la tubería. Esto mantiene la presión hidrostática al nivel más alto posible en todo momento.



2. La baja viscosidad y los bajos esfuerzos de gel del lodo contribuirán a la prevención del pistoneo. Los revoques más finos obtenidos con una filtración más baja también permitirán evitar el pistoneo del pozo.
3. Sacar lentamente la tubería a través de la sección que está ocasionando el problema.

#### ***2.2.2.1.2.3 Lutitas quebradizas***

Las lutitas quebradizas parecen ser firmes y macizas pero se deshacen al colocarlas en agua. Estos pedazos de lutita no se ablandan ni se hinchan en el agua. La inestabilidad puede ser causada por uno de dos mecanismos. La lutita puede ser debilitada por la penetración de agua a lo largo de las superficies de las microfracturas y los planos de estratificación.

Por otra parte, el segundo mecanismo se origina cuando una pequeña cantidad de arcilla está rodeada por una matriz de cuarzo y feldespato. Incluso una ligera hidratación de la arcilla causará una elevada presión de hinchamiento y la formación será inestable.

Las lutitas secas, quebradizas, altamente fracturadas, con altos ángulos de buzamiento pueden ser extremadamente inestables cuando son perforadas. La insuficiencia de estas formaciones secas y quebradizas es principalmente de carácter mecánico y normalmente no está relacionada con las fuerzas hidráulicas o químicas.

#### ***2.2.2.1.2.4 Lutitas bajo esfuerzos tectónicos***

Estas lutitas se presentan en áreas donde la corteza terrestre ha sido modificada por fuerzas tectónicas.

La lutita de este tipo se puede definir como una lutita que no se hidrata mucho pero que se derrumba en el pozo al ser penetrada. Estas lutitas son

encontradas en regiones donde se han producido movimientos diastróficos o tectónicos (el proceso mediante el cual la corteza terrestre se deforma.). Las lutitas pueden estar muy inclinadas en relación con el plano horizontal, en planos de estratificación de fuerte buzamiento.

Las formaciones pueden estar sometidas a unas fuerzas que, una vez reducidas, pueden causar la caída de la lutita dentro del pozo. El problema puede ser agravado si los planos de estratificación son humectados por agua o aceite.

Además, el material natural que cementa estas lutitas puede ser relativamente débil. Algunas lutitas sometidas a esfuerzos nunca pueden ser totalmente controladas por el peso del lodo, porque problemas de pérdida de circulación (y otros) pueden producirse. Para estas situaciones, parte de la lutita siempre tendrá tendencia a derrumbarse dentro del pozo.

#### **2.2.2.2 Interacciones químicas**

##### ***2.2.2.2.1 Hidratación, hinchamiento y dispersión de Lutita***

Cuando una lutita está expuesta a un fluido de base agua sin una química que permita el taponamiento de los poros, el filtrado interactúa directamente con la lutita. Los resultados son hidratación y un aumento de la presión de poro.

- ***Hinchamiento:*** expansión de las arcillas debido a la absorción de agua.
- ***Dispersión:*** desintegración del cuerpo de las lutitas debido al contacto con agua.

En agua dulce, las capas adsorben el agua y se hinchan hasta el punto en que las fuerzas que las mantienen unidas se debilitan y las capas individuales pueden separarse de los paquetes. La separación de estos paquetes en múltiples capas se llama dispersión. Este aumento del número de partículas,

junto con el aumento resultante del área superficial, causa el espesamiento de la suspensión.

Debido a que la lutita posee minerales no arcillosos como el cuarzo y el feldespato, además de una mezcla de arcillas, se producirá una combinación de mecanismos de hidratación en el mismo pedazo de roca. Los minerales no arcillosos no reaccionarán, mientras que la clorita, caolinita e illita se hidratarán dando problemas de sólidos, y la esmectica se hidratará, hinchará y reaccionará con soluciones iónicas.

#### ***2.2.2.2 Lutita sensible al agua***

La inestabilidad y el ensanchamiento del pozo también son afectados por la química del fluido de perforación base agua y su efecto sobre la lutita.

La mayoría de las veces, las lutitas sensibles al agua o hidratables contienen altas concentraciones de arcilla montmorillonita.

La hidratación por el agua es una de las causas más importantes de la inestabilidad del pozo. La hidratación puede ocurrir de dos maneras en las lutitas sensibles al agua: adsorción superficial y osmótica.

La hidratación superficial ocurre cuando un pequeño volumen de agua se adsorbe fuertemente en las superficies planas de las arcillas, lo cual causa poco ablandamiento o hinchamiento, pero puede producir esfuerzos excesivos si el hinchamiento está confinado.

El hinchamiento osmótico ocurre cuando un gran volumen de agua débilmente retenida es atraído por las superficies de arcilla por las fuerzas electrostáticas. El hinchamiento osmótico causa el ablandamiento y un hinchamiento considerable, a medida que las capas de arcilla adyacentes hidratan el agua y se expanden.

Las lutitas que contienen montmorillonita pueden adsorber agua del fluido de perforación e hidratarse o dispersarse. La rotura se produce generalmente mediante la constricción del pozo a partir de una zona hinchada ablandada o mediante la fisuración de fragmentos relativamente firmes. La adsorción e hidratación osmótica ablandará e hincharán el pozo expuesto en las lutitas blandas y dispersables, causando un pozo reducido y aumentando el potencial de dispersión.

En las lutitas más antiguas y más rígidas, la hidratación superficial produce un aumento del esfuerzo cerca del pozo (debido al esfuerzo interno del hinchamiento confinado), causando derrumbes y desprendimientos firmes, frágiles y angulares. Parece ser que el agua penetra en estas lutitas a través de líneas de fractura preexistentes parcialmente cementadas.

Esto resulta en un gran esfuerzo interno producido por el hinchamiento superficial, causando la rotura de la roca a lo largo de las líneas de fractura.

Las pruebas de permeabilidad indican que las lutitas son relativamente impermeables. Los iones entran en las lutitas para causar la deshidratación o la hidratación mediante acción capilar, ósmosis o invasión de los planos de estratificación. Por lo tanto, la alteración es producida por una transferencia de agua del lodo dentro de la lutita o del agua de la lutita dentro del lodo.

La lutita se vuelve inestable cuando es alterada de cualquier manera, ya sea por hidratación o deshidratación. Es importante impedir la transferencia de agua entre el fluido de perforación y la lutita que puede causar la alteración de la lutita. Esto se puede lograr balanceando la actividad (concentración iónica) del lodo con la actividad de la lutita.

Otro factor que afecta la estabilización de la lutita es el pH. Casi todos los lodos están controlados dentro de un rango alcalino, i.e. con un pH 7,0 o mayor. Al controlar el pH del fluido dentro del rango de 8,5 a 9,5, se obtiene una mejor estabilidad del pozo con un control adecuado de las propiedades del lodo.

Las presiones dentro de las lutitas y el buzamiento de las formaciones complican aún más el problema. Tres remedios fundamentales existen para resolver un problema de este tipo en la lutita:

1. Densidad suficiente
2. Rango correcto de pH
3. Control del filtrado

#### ***2.2.2.2.3 Disolución de las formaciones solubles***

Varias formaciones son un tanto solubles en el lodo base agua. Éstas incluyen las formaciones de sal y los sulfatos de calcio, el yeso y la anhidrita. La estabilidad del pozo puede quedar comprometida si se permite que la formación soluble se derrumbe. Otros problemas pueden surgir, tal como la limpieza del pozo y la obtención de una cementación satisfactoria. La solubilidad es un fenómeno complejo que es afectado por la temperatura, la presión, la salinidad y el pH.

La sal es muy soluble en un lodo base agua subsaturado. Es importante limitar el ensanchamiento del pozo en las formaciones de sal móvil para lograr una buena cementación que maximice la integridad y la resistencia a las cargas concentradas para evitar el colapso de la tubería de revestimiento.

El yeso y la anhidrita se vuelven más solubles a medida que la salinidad aumenta. Si no se puede lograr la estabilidad del pozo y obtener un pozo de calibre uniforme en una zona de yeso o anhidrita, será necesario usar un sistema de yeso o calcio a base de cal.

#### **2.2.2.3 Interacciones físicas**

Las interacciones físicas también pueden causar la inestabilidad del pozo. Éstas incluyen la erosión, la cual causa el ensanchamiento del pozo, la

humectación a lo largo de fracturas preexistentes y la invasión de fluido que causa la transmisión de la presión. Un pozo es más estable cuando hay suficiente presión hidrostática para que el sobre balance siga actuando exactamente sobre el frente del pozo y cuando el esfuerzo máximo sobre el pozo es inferior a la resistencia de la formación. Por este motivo, es importante mantener un pozo de calibre uniforme para minimizar las pérdidas de filtrado dentro de las formaciones permeables.

#### ***2.2.2.3.1 Erosión***

La erosión es causada por la turbulencia del fluido en las formaciones blandas. Las formaciones blandas que se erosionan fácilmente son las areniscas no consolidadas, las tizas blandas, y las arcillas y lutitas más blandas. El flujo turbulento puede causar la erosión en las formaciones más blandas.

La cantidad de erosión que se producirá depende de la resistencia de la roca; algunas formaciones no serán afectadas. Se ha demostrado que la erosión en las lutitas y las areniscas es más importante si la velocidad de corte de la tobera es  $> 100.000 \text{ seg}^{-1}$ .

Al perforar arenas no consolidadas, puede que sea necesario usar otras técnicas para limitar la erosión.

#### ***2.2.2.3.2 Humectación, invasión de fluido y transmisión de presión***

La humectación a lo largo de las microfracturas preexistentes de la lutita, la invasión de fluido y la compensación de la presión de sobre balance son factores que comprometen la estabilidad del pozo.

Como se mencionó anteriormente, una de las causas principales de la inestabilidad de la lutita es la humectación por agua a lo largo de las microfracturas de la lutita.

Aunque estas lutitas no se ablanden ni se descompongan cuando están en contacto con el agua, la invasión de filtrado o lodo creará debilidades en los planos de estratificación y causará partiduras y derrumbes. Para describir esta condición, se suele hablar de fracturas tipo “páginas de libro” o “bordes deshilachados”. Aunque la inhibición química y el aumento del peso del lodo puedan ayudar a minimizar el problema, estas acciones no son tan eficaces como el sellado de la formación con agentes de obturación o de taponamiento.

## **2.3 ANÁLISIS EN EL POZO**

Las condiciones de perforación extremadamente difíciles han producido enfoques más sistemáticos para analizar las inestabilidades del pozo. Uno de estos enfoques (de Zausa y Civolani) que el ingeniero de lodos puede usar como pauta, supone tres pasos básicos:

1. Monitorear y analizar el mecanismo básico de rotura.
2. Determinar y entender los factores que rigen este mecanismo de rotura.
3. Modelar el problema teniendo en cuenta el impacto de los cambios propuestos.

### **2.3.1 MONITOREAR Y ANALIZAR EL MECANISMO DE ROTURA**

El monitoreo de los datos y sucesos en el equipo de perforación constituye el primer paso del proceso e incluye:

1. Adquisición, organización y procesamiento de los datos de perforación.
2. Caracterización de la formación.
3. Evaluación y análisis de los síntomas de inestabilidad.

### **2.3.2 DETERMINAR Y ENTENDER EL MECANISMO DE ROTURA**

Todos los parámetros monitoreados y trazados son evaluados para identificar el mecanismo más probable que está causando la inestabilidad. Los síntomas más útiles que son usados para indicar el mecanismo responsable de la inestabilidad del pozo son los siguientes:

- Análisis de derrumbes.
- Dificultades al realizar los viajes.
- Condiciones de perforación.
- Análisis del sistema de lodo.
- Condiciones in-situ.

### **2.3.3 MODELAR Y CONSIDERAR LOS CAMBIOS PROPUESTOS**

Una vez que los parámetros han sido producidos por los pasos de monitoreo y determinación, organizar y analizar estos datos para obtener soluciones cualitativas y evaluar los cambios propuestos.

A este fin, un método eficaz consiste en usar un árbol de decisión o un organigrama para evaluar el posible mecanismo de rotura e identificar los remedios más prometedores. Después de llegar a una solución propuesta, una medida correctiva debería ser aplicada y los resultados usados como retroinformación en el método de árbol de decisión.

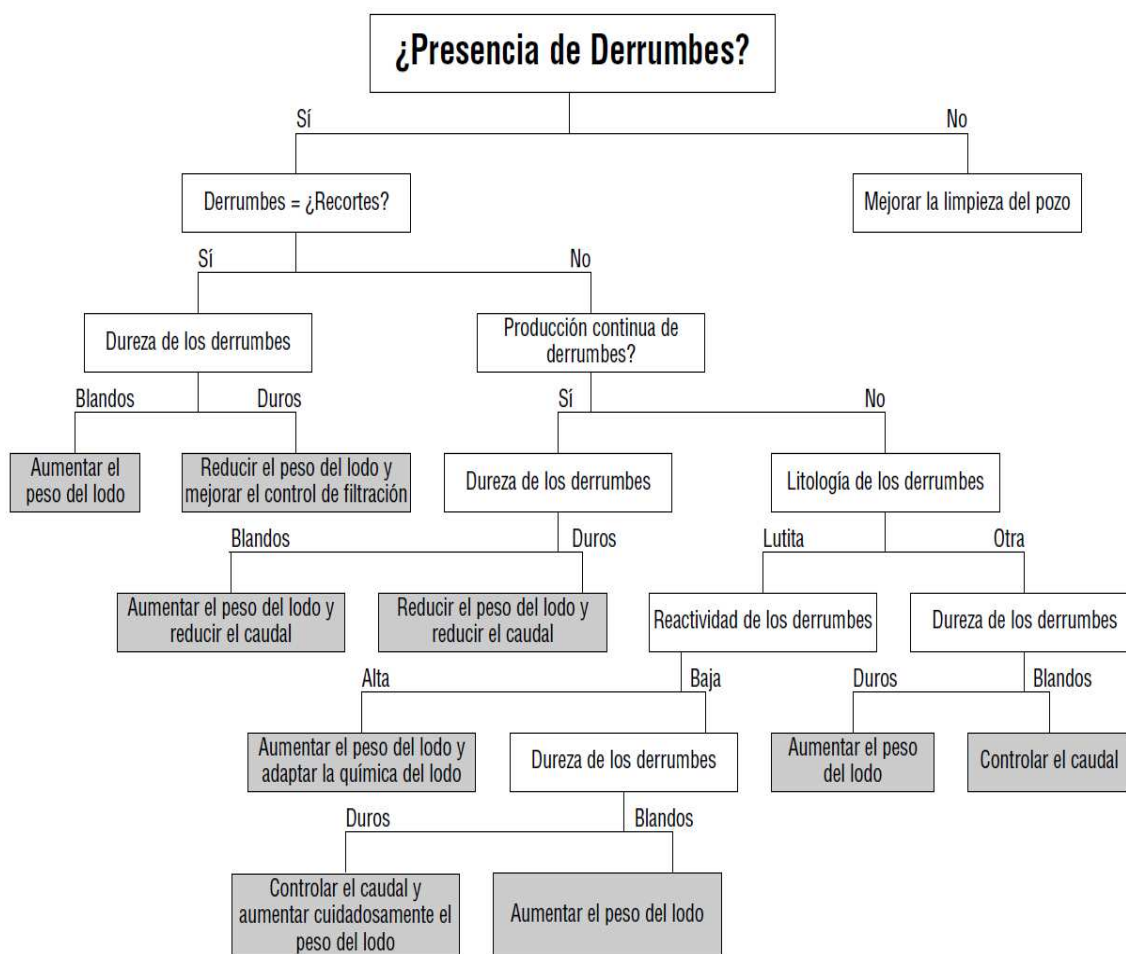
Un árbol de decisión u organigrama, como el que está ilustrado en la Figura 2.16 para la evaluación de la causa de derrumbes excesivos, proporciona una



trayectoria lógica para la identificación del mecanismo y una solución cualitativa.

FIGURA 2.16

ÁRBOL DE DECISIÓN PARA DERRUMBES EXCESIVOS (DE ZAUSA)



FUENTE: MI-SWACO

El mantenimiento de la estabilidad del pozo durante la perforación de secciones de lutita puede ser especialmente problemático. Soluciones simples no siempre están disponibles, pero las buenas prácticas de perforación, unidas a buenas prácticas de lodo, producen generalmente resultados exitosos.

## **CAPÍTULO 3**

### **FORMULACIÓN DEL NUEVO FLUIDO MAXDRILL**

#### **3.1. FLUIDO DE PERFORACIÓN BASE AGUA**

Los fluidos de perforación base agua son los fluidos más comunes dentro de la perforación por la facilidad de acceso al fluido base y su bajo costo, sin embargo, el agua debe ser de buena calidad ya que las sales disueltas que pueda tener, como calcio, magnesio, cloruros, tienden a disminuir las buenas propiedades requeridas.

De todos modos en las actividades de perforación de nuestro país este tipo de fluido en ocasiones es el más rentable y el más eficiente.

##### **3.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA**

Los fluidos de perforación base agua pueden generalmente clasificarse en una de las siguientes categorías:

1. Sistemas base agua-arcilla no densificados.
2. Sistemas base agua-arcilla densificados y desfloculados.
3. Sistemas base agua-arcilla desfloculados, densificados y tratados con calcio.
4. Sistemas de agua salada.
5. Sistemas inhibidos a base de potasio.
6. Sistemas desfloculados de Alta Temperatura, Alta Presión (ATAP).
7. Sistemas de polímeros ATAP.
8. Sistemas de polímeros encapsuladores.

9. Sistemas de polímeros catiónicos.
10. Sistemas base arcilla extendidos o floculados.
11. Sistemas mejorados con poliglicol.
12. Sistemas inhibidos a base de silicato.

### **3.1.2 PRINCIPALES COMPONENTES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA**

La composición de estos fluidos depende de los aditivos químicos empleados en la formulación de los mismos. En la tabla 3.1 se describen los principales componentes de los fluidos de perforación base agua:

TABLA 3.1  
PRINCIPALES COMPONENTES DE LOS FLUIDOS BASE AGUA

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
Densificante	Barita (sulfato de Bario), oxido de hierro, compuestos de plomo, hematita
Viscosificante	Arcilla, bentonita, fibras de amantio, CMC
Fase continua	Agua, gas oil, aceites minerales y sintéticos
Agentes dispersantes	Lignosulfonatos, lignitos, taninos
Controlador de pH	Cal, soda caustica, TEA
Otros Reductores de filtración, anticorrosivos, etc.	Almidón, CMC, polímeros, aminas, emulsificantes, humectantes, formaldehido

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

La composición química de los aditivos de mayor uso en los fluidos de perforación base agua se muestra en la tabla 3.2

TABLA 3.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ADITIVOS AÑADIDOS

NOMBRE GENÉRICO	COMPOSICIÓN QUÍMICA
Barita	Sulfato de bario, hierro, sílice
Bentonita	Aluminio, oxido de magnesio, calcio, sodio
Soda caustica	NaOH
Cal viva	CaO
Cal hidratada	Ca(OH) <sub>2</sub>
Bicarbonato de sodio	NaHCO <sub>3</sub>
Cloruro de calcio	CaCl <sub>2</sub>
Lignito	Leonardina, compuestos de carbono, ácido húmico
Lignosulfonato	Lignina, cromo , hierro
Lubricante	Mezcla de aminoácidos con aceite sulfurizado
Humectante	Ácido graso con amina, metanol
Arcilla Organofílica	Sodio, calcio, sales de amonio, sílica
Emulsificante	Ácido graso, amina, metanol nafta
Carbonato de calcio	CaCO <sub>3</sub>
Polímeros (CMC, PHPA, etc.)	Carboximetilcelulosa Poliacrilamida parcialmente hidrolizada

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

### 3.1.2.1 Sistemas de polímeros modernos base agua

Los sistemas de polímeros sintéticos modernos tienen la capacidad de perforar más eficientemente la mayoría de los pozos que anteriormente dependían de fluidos de base agua convencionales y en algunos casos, pozos que se perforaban con fluidos de emulsión inversa. La reducción del costo al incrementar las tasas de penetración y al producir estabilidad del pozo, hacen de estos fluidos una alternativa económicamente atractiva. Su carácter de fluidos de daño mínimo a la formación, asegura una producción potencial

consistente, y sus rangos de aplicación y versatilidad, los hacen fluidos que pueden resolver los problemas de perforación actuales.

Todas las ventajas de perforar con un fluido de sólidos mínimos a base de polímeros, altamente tixotrópico y con características de estabilización de lutitas son parte de estos sistemas. Sus ventajas específicas son:

- a) Mejor hidráulica y máximas tasas de penetración, debido al mínimo contenido de sólidos y su resultante viscosidad plástica reducida.
- b) Mejor control de las presiones de succión y densidad equivalente de circulación. Esto ayuda a prevenir la pérdida de circulación, atascamientos de tubería, o brotes producidos por succión cuando se extrae la tubería.
- c) Mejores cementaciones y operaciones de evaluación de formación más efectivas, debido a la menor erosión de pozos.
- d) Mayor estabilidad del pozo. Los sistemas se mantienen a bajo pH, y es menos probable que ocurra dispersión de lutitas de la formación.
- e) Reducción del daño a la formación.
- f) Mejor control de densidad y viscosidades.
- g) Menor desgaste del equipo.
- h) Reducción de la adhesión de sólidos de perforaciones sobre la broca, estabilizadoras y tubulares.
- i) Flexibilidad y adaptabilidad a ambientes diferentes. Debido a su compatibilidad con la mayoría de los sistemas, los sistemas de polímeros pueden ser convertidos a otros si se requiere.

- j) Mejor control en pozos direccionales.
- k) Muy aceptables características ambientales.

### **3.2 FLUIDO MAXDRILL®**

El sistema de fluido de perforación MAXDRILL® es utilizado por la compañía propietaria de mismo en nuestro país como lodo para la segunda sección del pozo (desde Orteguaza).

El cual ha demostrado ser eficaz en situaciones de estabilidad de los pozos en toda la precordillera y cuencas profundas.

La base de polímeros hace que el fluido MAXDRILL® tenga un numero de ventajas sobre la base del transporte de bentonita. En primer lugar, en un sistema de polímeros, el inhibidor no está vinculado con la bentonita por lo que está totalmente disponible para interactuar con la formación.

La prestadora de servicios con su filial en Canadá realizó una investigación en 82 diferentes aminas, buscando una alternativa de un agente inhibidor. Siendo el MAXDRILL la mejor opción.

Por primera vez en nuestro país se aplicó el fluido MAXDRILL® para el pozo Shushufindi 111D, obteniendo resultados concluyentes.

#### **3.2.1 CONFORMACIÓN DEL FLUIDO MAXDRILL®**

Las concentraciones apropiadas para determinar la conformación del fluido MAXDRILL® han sido determinadas a través de pruebas piloto realizadas simulando las condiciones del campo.

El orden de adición es, también, un factor determinante para el desarrollo optimo de las propiedades del sistema MAXDRILL®. Dicho orden a sido

determinado basándose en la experiencia obtenida en numerosas áreas geográficas y bajo diferentes condiciones de perforación llegando así a tener formulaciones y técnicas especiales para situaciones específicas.

A continuación se presenta la descripción de los productos a utilizar en la preparación del fluido MAXDRILL®

TABLA 3.3

DESCRIPCIÓN DE PRODUCTOS DEL SISTEMA MAXDRILL®

PRODUCTO	COMPOSICIÓN	APLICACIÓN
MAXDRILL	Aminas orgánicas no volátiles	Inhibidor de arcillas
GLYMAX	Glicol de polietileno/polímero mejorado de alta densidad	Agente de taponamiento deformable Inhibición de lutitas Estabiliza la pared del pozo
STARDRILL	Polisacárido modificado	Control de pérdidas de fluido
SYNERFLOC A25-D	Poliacrilamida Parcialmente Hidrolizada (PHPA)	Encapsulador
KELZAN XCD	Goma Xantica	Viscosificador-gelificante
BARITA	BaSO <sub>4</sub> – Químicamente inerte	Agente densificante
SODA CAUSTICA	Hidróxido alcalino (hidróxido de Sodio) NaOH	Incrementa solubilidad de Dispersantes
DEFOAM X	Surfactante de alcohol aniónico	Agente antiespumante

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

### 3.2.1.1 Productos del sistema MAXDRILL®

#### 3.2.1.1.1 Maxdrill

Es un inhibidor de arcilla de base polímero que se utiliza en los fluidos perforación, es soluble en agua. Inhibidor orgánico catiónico usado para perforar formaciones sensibles al agua.

#### Naturaleza Química

1,6 hexadiamina:  $\text{NH}_2 (\text{CH}_2)_6 \text{NH}_2$ . Catiónico, Multivalente Aminas orgánico non-volátil en el agua.

TABLA 3.4

#### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMPONENTE MAXDRILL

Forma	Líquido
Color	Transparente
Densidad (g/cc 25 °C)	1.07
Solubilidad	100% soluble
pH	6 – 8

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

#### Aplicaciones

Maxdrill es un inhibidor de arcillas para formaciones sensibles al agua. Tiene un fácil intercambio iónico que permite la sustitución fácil en los sitios del intercambio el ion de sodio, que permite la hidratación del agua.

La prueba de la succión capilar ilustra las propiedades de inhibición de arcilla de Maxdrill. Estas pruebas ilustran la inhibición a las concentraciones tan bajo



como 0.005%. Además ha mostrado que presenta una estabilidad química.

### **Tratamiento**

Las concentraciones normales que se utiliza en el campo es de 0.3% a 0.6%. Maxdrill esta diseñado para ser utilizado en rangos de pH de 10,5 o menos. Al utilizar en rangos de pH mayor que 10,5 reduce su efectividad y requerida de una cantidad mayor de la misma.

#### **3.2.1.1.2 Glymax**

Poliglicol empleado como inhibidor de lutitas y mejorador de ROP. Glymax está diseñado para sistemas de glicol de alta saturación y puede ser utilizado en pozos con temperaturas de formación moderadamente altas y altas. Glymax es un polímero mejorado, para sistemas base agua, que emplea tecnología de poli glicoles.

### **Naturaleza Química**

$\text{OH}-(\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O})_n-\text{H}$ , Glicol de polietileno.

TABLA 3.5

#### **PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMPONENTE GLYMAX**

Forma	Líquido
Color	Amarillo
Gravedad específica	1.01
Solubilidad en agua	Soluble
Punto de ebullición	>568

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

## Aplicaciones

Glymax, se puede beneficiar de la adición de un incrementado del ROP en ciertas aplicaciones. Glymax provee un alto grado de inhibición de lutitas, estabilidad de la pared del pozo, alta temperatura y presión, control de pérdida de fluido y lubricación.

## Tratamiento

Al diseñar el sistema de tal manera que el punto de nube del glicol Glymax coincida con la temperatura al interior del pozo se obtiene máximo beneficio. Por encima de esta temperatura, el glicol forma un tipo de micro emulsión a la que se la conoce con nombre de “emulsión de lodo térmicamente activada”. Este efecto contribuye a la estabilización de la pared del pozo de 3 maneras distintas: adsorción química, micro-emulsión y taponamiento de poros inestables y mejora del filter-cake.

### 3.2.1.1.3 Stardrill

Stadrill es muy eficiente para el control de pérdida de fluido. Este se aplica en concentraciones de acuerdo a lo requerido en el sistema de fluidos.

## Naturaleza Química

Es un Polisacárido modificado.

TABLA 3.6

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMPONENTE STARDRILL

Forma	Polvo
Color	Blanco
Solubilidad	100% soluble

TABLA 3.6 CONTINUACIÓN

pH	10.0 – 11.0
Gravedad Específica	N/A

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

### **Aplicaciones**

Stardrill es muy eficiente para el control de pérdida de fluido. La cinética del Stardrill con la bentonita y otros polímeros refuerzan las propiedades de desleimiento de esquila de un fluido de perforación que proporciona una excelente costra para evitar que el lodo se pierda por aquel agujero.

Stardrill puede depender la temperatura estable de 150°C está non-fermentando y no requiere ningún biosida bajo las condiciones normales.

### **Tratamiento**

Stardrill se mezcla al sistema de fluido a través del depósito de alimentación de 10 - 15 minutos por saco. Stardrill se usa en concentraciones que van de 5.0 - 25.0 kg/m<sup>3</sup> que dependen de los requisitos de pérdida fluidos y la cantidad de sólidos en el sistema.

#### ***3.2.1.1.4 Synerfloc A-25 D***

Synerfloc A 25-D es una acrilamida-copolimérica de alto peso molecular soluble en agua con un mediano grado de carga aniónica.

Es un polvo dispersable que se mezcla fácilmente en el agua reduciendo la formación de ojos de pescado.

### **Naturaleza Química**

Poliacrilamida parcialmente hidrolizada (PHPA).

TABLA 3.7

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMPONENTE SYNERFLOC A-25 D

Forma	Gránulos
Color	Blanco
Gravedad Específica	0.80
Solubilidad en agua	Soluble 100% en 60 min.

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

### Aplicaciones

Synerfloc A25-D es un polímero aniónico efectivo floculante usado en todos los segmentos del proceso mineral y en el proceso de perforación.

Es usado comúnmente en dewatering y clarificación, como una ayuda de filtro en aplicaciones de la centrifuga. Y es usado para remover los sólidos cuando pasan por el shaker o por el sumidero.

### Tratamiento

El requerido según las condiciones del pozo o el programa de lodos.

#### 3.2.1.1.5 Kelzan XCD

Kelzan XCD es utilizado como un viscosificador en lodos de base agua fresca y agua salina.

## Naturaleza Química

Goma xántica, biopolímero de alto peso molecular.

TABLA 3.8

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMPONENTE KELZAN XCD

Forma	Polvo
Color	Beige claro
Gravedad específica	1.5
Solubilidad	Soluble en agua.
pH	7.0 (1% en solución)

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

## Aplicaciones

Kelzan XCD es usado principalmente como un viscosificador en todos los sistemas de lodo, base - agua. Es usado para suplementar el punto de deformación cuando los valores de Viscosidad Plástica / Punto de Cedencia se tornan inmanejables, estable a temperatura de 150°C. También, puede usarse en pastillas seleccionadas de 5 - 10 m<sup>3</sup> para barridos, para limpiar el pozo antes de registros, T.R's, etc.

## Tratamiento

Kelzan XCD exhibe la propiedad reológica de pseudoplasticidad (Reducción de esfuerzo). Pequeñas cantidades proveen altos puntos de cedencia y bajas viscosidades plásticas. Concentraciones de 0.25 - 1.0 kg/m<sup>3</sup> son normales. Éstas pueden ser incrementadas de acuerdo con la capacidad de transporte deseada. Cuando es usado como el único viscosificador de un sistema fluido

de polímero, pueden requerirse concentraciones de 3-4 kg/m<sup>3</sup> de XCD.

### 3.2.1.1.6 Barita

La Barita es usada como un agente densificante en sistemas de fluidos basados en agua o en aceite.

#### Naturaleza Química

Se encuentra naturalmente como sulfato de bario ( $\text{BaSO}_4$ ) mineral.

TABLA 3.9

#### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMPONENTE BARITA

Forma	Polvo
Color	Entre gris y blanco
Gravedad específica	4.2 – 4.4
Densidad en volumen	2160 kg/m <sup>3</sup>
Solubilidad	Insoluble en agua y en aceite
Peso específico	4.2
pH	7.0 – 9.5
Punto de fusión	1580 <sup>0</sup> C

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

#### Aplicaciones

La Barita es empleada para incrementar la densidad de lodos base agua y lodos base aceite. Pueden obtenerse pesos de lodos por arriba de 2400 - 2600 kg/m<sup>3</sup> mientras aún se retiene un fluido bombeable. La Barita es químicamente

inerte y no reaccionará con varios aditivos para lodo o con contaminantes encontrados.

### Tratamiento

La cantidad de Barita requerida para obtener una densidad deseada:

$$\text{Peso de Barita requerido} = \frac{4200 (W_2 - W_1)}{4200 - W_2} \quad (3.1)$$

Donde:

$W_1$  = peso inicial del lodo ( $\text{kg/m}^3$ )

$W_2$  = peso deseado del lodo ( $\text{kg/m}^3$ )

#### 3.2.1.1.7 Soda cáustica

La Soda Cáustica es usada para control de pH en la mayoría de los sistemas de fluido de perforación base agua.

### Naturaleza Química

Hidróxido alcalino (Hidróxido de sodio), NaOH.

TABLA 3.10

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMPONENTE SODA CÁUSTICA

Forma	Sólido, gránulos
Color	Blanco
Gravedad Específica	2.13
Solubilidad en agua	Soluble 100%

TABLA 3.10 CONTINUACIÓN

Punto de ebullición	138°C
Punto de fusión	318°C
PH	13 en solución al 1%

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

### **Aplicaciones**

La Soda Cáustica es usada para el control de pH y alcalinidad de la fase líquida varía de acuerdo con varios factores, por ejemplo: pH del lodo antes de los añadidos cáusticos, cantidad y tipo de los aditivos presentes en el sistema, tipo y cantidad de la formación perforada y contaminantes encontrados.

La Soda Cáustica también es usada para incrementar la solubilidad de los dispersantes tales como Peltex o Lignito. Manteniendo el pH moderadamente alto con soda cáustica es una ayuda en el control de corrosión.

### **Tratamiento**

La Soda Cáustica debería agregarse completa a través del barril químico con agua lentamente o sobre una circulación por saco. Es fácil de sobrepasarse ya que esta se ve afectada por los aditivos que se encuentra en el lodo de perforación.

#### ***3.2.1.1.7 Defoam X***

Defoam X constituye una mezcla de baja toxicidad de agentes antiespumantes, formuladas para controlar la formación de espumas en los lodos que contienen agua dulce o agua de mar.



### Naturaleza Química

Surfactante de alcohol aniónico de alto peso molecular.

TABLA 3.11

#### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMPONENTE DEFOAM X

Gravedad específica	0.95
Forma	Líquida
Color	Blanco
Solubilidad en agua	Insoluble, dispersable en agua
Punto de ebullición	>400°F (202.8°C) (PMCC)
Punto de congelación	- 20°F (-28.9 °C)
PH	7 – 8

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

### Aplicaciones

Defoam X es un agente antiespumante para ser usado en los sistemas de lodos en base de agua, en condiciones difíciles a severas. Es efectivo en cualquier grado de pH, en altas temperaturas y en un amplio rango de salinidad.

### Tratamiento

Para mayor efectividad, el antiespumante debe ser añadido directamente al sistema de lodo lo más próximo al shale shaker como sea posible. Las concentraciones pueden variar, aunque para una espuma ligera 0.3- 0.9 L/ m<sup>3</sup>

pueden ser requeridas.

### **3.2.2 EFECTOS DE LOS COMPONENTES INHIBITORIOS DEL SISTEMA MAXDRILL EN LOS MINERALES ARCILLOSOS**

El sistema MAXDRILL para tener la efectividad demostrada posee varios inhibidores o aditivos químicos para facilitar el control de las interacciones entre el fluido de perforación y las formaciones arcillosas (lutitas). Los sistemas con altos niveles de calcio, potasio u otros inhibidores químicos son mejores para perforar en formaciones sensibles al agua. Sales, polímeros, materiales asfálticos, glicoles, aceites, agentes tensoactivos y otros inhibidores de lutita pueden ser usados en los fluidos de perforación a base de agua para inhibir el hinchamiento de la lutita e impedir el derrumbe.

*La lutita está caracterizada por composiciones y sensibilidades tan variadas que no se puede aplicar universalmente ningún aditivo en particular.*

#### **3.2.2.1 COMPORTAMIENTO DE LAS AMINAS (COMPONENTE MAXDRILL)**

Es un químico derivado del amoníaco entre los cuales se incluyen aminas, amidas, poli-aminas, iminas, nitrilos y aminoácidos son usados como componentes en algunos lodos base agua. Estos químicos están dirigidos a contribuir en la estabilidad de las arcillas y las lutitas.

El cloruro de amonio fue probado hace más de 2 décadas como un inhibidor de arcillas, el fosfato de di-amonio ha sido usado durante más de 15 años, por otra parte, los materiales catiónicos orgánicos se les adicionó a los fluidos de perforación hace más de una década para la buena suspensión, transporte de los recortes y la estabilidad del pozo.

El ion Potasio y Amonio son considerados como los mejores iones intercambiables ya que a pesar de que su radio iónico (2.66 y 2.86 Å

respectivamente) son los mayores; en estado de hidratación sus radios tienen las medidas más pequeñas (7.6 y 5 Å respectivamente).

De esta manera, las capas están unidas fuertemente y se produce una estructura no-expandible. Estas características de interacción del ion amonio con la superficie de las arcillas pueden ser relacionadas con dos efectos: tamaño iónico y energía de hidratación.

#### ***3.2.2.1.1 Reacciones de las arcillas con los iones Aminas***

Las reacciones químicas entre las arcillas y las aminas son únicas en comparación con otros iones. El modelo de intercambio de iones no explica totalmente la interacción de las aminas y las arcillas.

Se prestará particular atención a este proceso, debido al uso generalizado que las aminas vienen adquiriendo en los fluidos de perforación y terminación para estabilizar las lutitas reactivas.

Las aminas pueden asociarse con los minerales arcillosos de dos maneras:

1. Intercambio de iones.
2. Fijación de iones.

La reacción de intercambio de iones se rige por la ley de acción de masas, es decir que la velocidad de intercambio depende de la concentración de los iones (cuanto más grande sea la relación de iones amonio a iones Na, más rápida será la velocidad de intercambio de las aminas por Na<sup>+</sup>).

Además del intercambio de iones, la fijación de iones ocurrirá en las arcillas con capa de alta carga. Esto aumenta la selectividad de las arcillas respecto a las aminas en un orden de magnitud. Basándose en cálculos teóricos, se ha determinado que la fijación de aminas en las arcillas esmectitas ocurre cuando la carga de capas es alta e inclina el equilibrio hacia el intercambio preferencial de cationes con las aminas.

Las arcillas esmectitas en general tienen capas de alta carga, y una mayor porción de la carga aparecerá en la capa tetraédrica que debería ser más selectiva respecto a las aminas a bajas temperaturas. En algunas lutitas de tipo “gumbo”, las capas de esmectica con capa de alta carga coexisten con las capas de esmectica con capa de baja carga.

Las capas de esmectica con capa de baja carga no fijarán las aminas, y en los casos donde la concentración de aminas es considerablemente menor que la concentración de sodio, dichas capas se comportarán de conformidad con la teoría clásica de intercambio de iones.

Por lo tanto, aumentando la relación de iones aminas a sodio en el lodo se ayudará a saturar las capas de esmectica con capa de baja carga, con aminas y aumentará la estabilización de la lutita.

#### ***3.2.2.1.2 Reacciones de las arcillas con los iones Aminas***

Los fluidos base amina/polímeros en sistemas en los que el agua es su fase continua se han desarrollado proporcionando una importante evolución en procesos de perforación en formaciones en las que la arcilla y lutitas son el mayor problema. Alterando la química de la fase acuosa (las altas concentraciones de aniones) pueden retardar los efectos del agua, o por inclusión de cationes activos (calcio y potasio) el intercambio catiónico puede ser reducido.

El grupo de los cationes de las aminas terciarias son fuertemente adsorbidos en las arcillas, reduciendo esta carga y repeliendo fuerzas, inhibiendo el hinchamiento y la dispersión. Los polímeros catiónicos con la arcilla se asocian en un proceso irreversible.

Los sistemas polímero catiónicos pueden ser los lodos base agua más inhibidores que existen. Los polímeros catiónicos parecen absorberse sobre la superficie cargada negativamente de las arcillas.

El mecanismo de adsorción es compatible con una reacción de intercambio iónico.

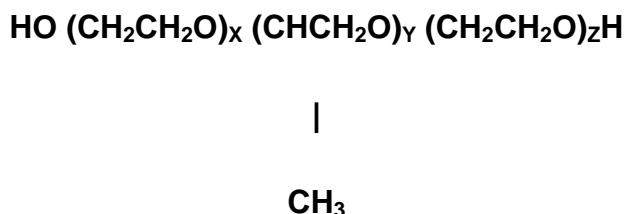
El polímero es muy grande comparado a materiales catiónicos más simples. El tamaño de la molécula previene la penetración en los poros de la arcilla o baja permeabilidad en las zonas productoras. Los polímeros catiónicos son típicamente aplicados en un rango de 3 a 8 libras por barril de concentración del mismo.

### 3.2.2.2 COMPORTAMIENTO DEL GLYCOL (COMPONENTE GLYMAX)

El Glicol (Glymax) es un agente de taponamiento deformable usado en fluido de perforación base agua, utilizado para la inhibición de lutitas. Generalmente estos elementos comprenden una serie de uniones alquil unidas con átomos de oxígeno y terminados en radicales oxidrilos.

La atención actualmente está enfocada sobre los glicoles polialquenos ó PAG. La unidad central Y, es óxido de propileno y las unidades X y Z, se refiere al óxido de etileno.

La fórmula estructural de estos glicoles es:



La inhibición lograda por polyoles (glicoles) es menos comprendida que la de otros polímeros pero está recibiendo actualmente una considerable atención desde que se han logrado buenos resultados de campo.

Un sistema con Glicol base agua de polímeros mejorados usa la tecnología de poliglicol para proporcionar un alto grado de inhibición de lutitas, estabilidad del pozo, control de filtrado alta temperatura y alta presión y lubricidad.

Este sistema también es ideal para perforar las arenas agotadas donde la pegadura por presión diferencial causa grandes problemas, en las operaciones de agua profunda, y para la perforación de pozos de alto ángulo en las formaciones reactivas donde la estabilidad del pozo y el torque y arrastre son motivos de preocupación.

Otras ventajas incluyen el mejoramiento de la integridad de los recortes y de la calidad del revoque, la reducción de las tasas de dilución, menos ensanchamiento del pozo, una mayor tolerancia de sólidos, un mejor rendimiento de las brocas PDC, la reducción del embolamiento de la barrena y una velocidad de perforación (ROP) más alta.

El sistema también es aceptable desde el punto de vista ambiental, debido a su baja toxicidad y a sus reducidas frecuencias de eliminación de desechos. El fluido de perforación a base de glicol, ha sido concebido como una alternativa ambientalmente segura en comparación con los fluidos de base aceite y sintética.

#### ***3.2.2.2.1 Mecanismos de inhibición***

La aplicación principal de los glicoles solubles en agua y de bajo peso molecular en la perforación de lutitas reactivas.

La estabilidad del pozo mejora significativamente a través de los mecanismos de inhibición que se piensan son múltiples en cuanto a número y naturaleza.

A continuación se describen las teorías o mecanismos que han sido propuestos:

### ***3.2.2.2.1.1 Mecanismo 1***

Se piensa que los glicoles deben unir hidrógenos a las superficies de la arcilla y formando capas superficiales las cuales disminuyen la hidratación de los cortes y la zona expuesta del pozo. Las cadenas hidrogenadas podrían esperarse de los éteres oxigenados o particularmente de los radicales OH.

El fenómeno de adsorción del glicol ha sido estudiado por algún tiempo. La capa absorbida no es necesariamente más efectiva si el glicol es insoluble en la fase acuosa. Glicoles solubles pueden todavía adsorberse fuertemente sobre la superficie de las arcillas y una vez adsorbidas, el efecto inhibitor está determinado por la capa superficial y no por la vía por la cual el glicol encontró la superficie de la arcilla.

### ***3.2.2.2.1.2 Mecanismo 2***

Es más probable que estos glicoles, siendo lo suficientemente pequeños para penetrar dentro de los poros, se intercalen y/o adsorban sobre las placas de arcilla. El proceso de adsorción y/o intercalación es más factible a envolver interacciones electrostáticas débiles por medio de los grupos polares.

El mejoramiento observado (vía sinergia), que las PHPA exhiben cuando son añadidas a lodos que contienen glicoles, pueden ser atribuidas a diferentes mecanismos.

Las moléculas de PHPA son muy grandes y por lo tanto difícilmente penetran en los poros y se intercalan entre las laminillas de arcilla. Ellas están más dadas a ser adsorbidas en la parte exterior de los cortes o en la pared del hoyo.

### ***3.2.2.2.1.3 Mecanismo 3***

Los glicoles de bajo peso molecular como el glicerol son altamente móviles y pueden penetrar los espacios interlaminares de las arcillas y desplazar

cualquier molécula de agua presente. Esto resulta en una estructura estable arcilla - glicol, la cual es resistente a la hidratación y a la dispersión. Sin embargo se ha observado que los gliceroles por si solos son relativamente pobres inhibidores comparados con algunos glicoles de mayor peso molecular.

Consideraciones de entropía sugieren que glicoles mayores son intercalados preferencialmente sobre los glicoles más pequeños.

#### ***3.2.2.2.1.4 Mecanismo 4***

Los glicoles solubles son hidratados por agua y presión de vapor reducida y consecuentemente la actividad del agua actúa de forma similar a una sal soluble. Así, existe un menor potencial para la transferencia de la fase vapor del agua desde el fluido de perforación hacia la formación.

Sin embargo, tratamientos efectivos en operaciones de campo pueden ser menores de 3%, la cual produciría solo una pequeña disminución en la presión de vapor del agua.

Existe una gran duda si hay transferencia osmótica del agua desde los lodos de base agua hacia las arcillas. Además el nivel de inhibición obtenido con los glicoles es mucho mayor que los que podrían obtenerse por la adición de una sal como NaCl, para obtener una actividad del agua igual.

Es más probable que algunos glicoles solubles, incrementen la viscosidad de la fase acuosa, reduciendo así la movilidad de las moléculas de agua y por lo tanto la penetración del filtrado en las lutitas.

También incrementan el rendimiento de los polímeros y la estabilidad térmica, presumiblemente por la solubilidad de los polímeros. También se ha sugerido que algunos glicoles actúan como interruptores de estructura rompiendo las cadenas de agua en las superficies de las arcillas.



### **3.2.2.2.1.5 Mecanismo 5**

Los glicoles que exhiben “puntos de nube”, también proporcionan inhibición debido a la reducción de la pérdida de filtrado. Las finas gotitas de emulsión formados por estos sistemas de “Emulsión de Lodo Activada Térmicamente” (TAME), son efectivas para controlar bajos valores de filtrado HT-HP a temperaturas sobre el “punto de nube”. Este efecto indudablemente ayuda, pero a menos que la lutita contenga microfracturas, el mecanismo de control de la transferencia de agua es por difusión y no por filtración.

Considerando que el sistema de glicoles utilizado en el sistema de fluidos del estudio se fundamenta en el principio del punto de nube o niebla, se enfatizará en el desenvolvimiento del este mecanismo en la inhibición de lutitas.

### **3.2.2.3 COMPORTAMIENTO DE LAS POLIACRILAMIDAS PARCIALMENTE HIDROLIZADAS (COMPONENTE SYNERFLOC A-25D)**

Poliacrilamidas parcialmente hidrolizadas o PHPA son vistas como una prima de los sistemas base catión de amonio. El primer campo de prueba del cloruro de potasio PHPA fue controlado en 1969 en Canadá. PHPA y sus variantes siguen siendo usados en varias formulaciones de lodo inhibidor.

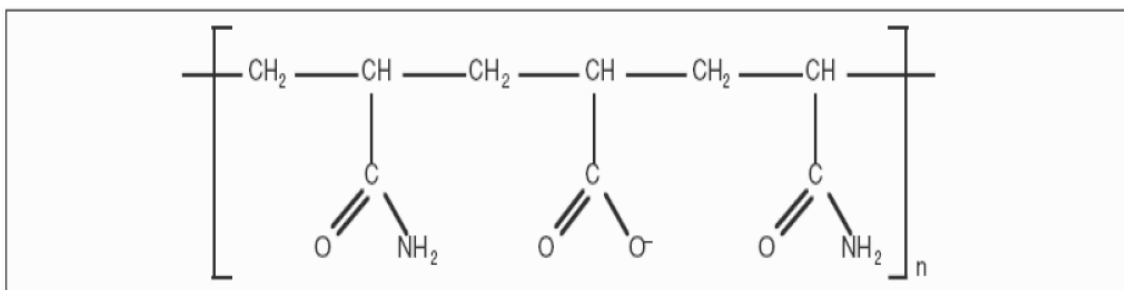
En lodos PHPA usados en el Mar del Norte, prefieren lodos con activos de cloruro de potasio como cationes intercambiables para reemplazar o excluir el sodio y prevenir el hinchamiento de las arcillas. En los Estados Unidos en el Golfo de México el lodo PHPA es usado con un nivel del 18-22% de cloruro de sodio.

La poliacrilamida sola es insoluble, por lo tanto debe ser combinada con acrilato de sodio para obtener la solubilidad en agua. La combinación con el acrilato de sodio produce una amina aniónica que es hidrosoluble. A esta combinación final se la conoce como PHPA.

Durante la combinación de esta amina con el acrilato de sodio, estos dos compuestos se enlazan de manera aleatoria para formar una cadena principal lineal de carbono-carbono.

Este compuesto resultante tiene grupos carboxilo y grupos amida distribuidos de manera aleatoria a lo largo de su cadena principal. La amina resultante está ilustrada en la Figura 3.1.

FIGURA 3.1 POLIACRILAMIDA PARCIALMENTE HIDROLIZADA



FUENTE: MI-SWACO

ELABORADO POR: MI-SWACO

Cabe notar que, debido al enlace carbono-carbono, la amina tiene una estabilidad térmica excepcional y es resistente a las bacterias. También cabe notar que la amina es aniónica, es decir que es afectada por la dureza y las superficies catiónicas como las que se encuentran en las arcillas.

La amina PHPA se usa como inhibidor de lutita y como polímero encapsulador de sólidos en los sistemas de agua dulce, agua salada, NaCl y KCl. Además de sus propiedades inhibidoras de lutita, también proporciona la encapsulación de los recortes y la viscosidad en los sistemas de agua dulce.

La característica inhibidora de lutita de la PHPA ocurre cuando la amina se agrega a las arcillas en el pozo y bloquea la hidratación y la dispersión que suelen producirse normalmente.

Los grupos carboxilo aniónico se agregan a las cargas positivas en los bordes de las partículas de arcilla. Como la amina tiene un alto peso molecular y es relativamente larga, esta amina se combina con varios sitios a lo largo del pozo. Esto tiene como resultado el revestimiento del pozo y la limitación del agua que entra en la arcilla.

El mismo efecto puede ser observado en los recortes. La amina ayuda a conservar la integridad de los recortes, lo cual facilita considerablemente la remoción de los recortes en la superficie. La PHPA también contribuye a la estabilización de las lutitas aumentando la viscosidad de la fase acuosa. La PHPA aumenta la viscosidad del filtrado de fluido de perforación, lo cual limita la profundidad de invasión del filtrado.

Aunque el agua pueda penetrar bien dentro de una lutita, un filtrado de PHPA grueso se enfrenta a una resistencia mucho más grande, debido a la acumulación rápida de presiones capilares.

Esto reduce la cantidad de agua de filtrado disponible para la hidratación. También limita la capacidad de un filtrado para entrar en un pequeño plano de fisura o de fractura dentro de una lutita.

Se cree que un poliacrilato de peso molecular alto tiene demasiada afinidad con las cargas positivas de las arcillas. El grupo amida ayuda, proporcionando cierta distancia entre los grupos carboxilo fuertemente aniónicos y los sitios catiónicos en las partículas de arcilla.

Cuando los grupos amida y los grupos carboxilo están distribuidos de manera uniforme a lo largo de la cadena de la amina, el volumen del grupo amida impide que el grupo carboxilo se aproxime demasiado a las cargas de arcilla y separe las arcillas.

El grupo acrilamida también tiene una afinidad con la superficie de la arcilla, pero se trata de un enlace de hidrógeno relativamente débil en comparación

con la fuerte interacción iónica entre el grupo carboxilo y los bordes cargados positivamente en las partículas de arcilla.

El grupo acrilamida es capaz de formar enlaces de hidrógeno a lo largo de la superficie de la arcilla. Aunque no sean tan fuertes como la interacción iónica que ocurre al lado, estos enlaces de hidrógeno sirven para mantener la interacción entre la amina y la arcilla, así como para establecer cierta distancia entre las cargas libres.

### **3.3 PRUEBAS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE INHIBICIÓN DEL FLUIDO MAXDRILL**

La inestabilidad que presentan durante la perforación los componentes arcillosos y específicamente las lutitas presentan un reto en el diseño de un sistema de lodo efectivo, a fin de evitar problemas tales como:

- Pega de tubería
- Ensanchamiento del hueco
- Empaquetamiento
- Derrumbes

Los ensayos usados para determinar si una lutita específica es propensa a causar problemas se analizan con varias pruebas de laboratorio para tratar de cuantificar esta interacción química entre el Fluido MAXDRILL y una lutita en particular. En el presente trabajo se incluye:

1. Capacidad de azul de metileno para sólidos perforados
2. Capacidad de azul de metileno para el Sistema MAXDRILL
3. Prueba de Tiempo de Succión Capilar (CST)
4. Prueba de dispersión de lutitas

## 5. Prueba de hinchamiento lineal (MHL)

A estas 5 pruebas en conjunto se les considera como los mejores indicadores para caracterizar arcillas y su posterior inhibición, obteniendo a través de estas los mejores y más cercanos resultados a la realidad.

Para que cualquiera de las pruebas a ser realizadas posteriormente tengan valides es necesario que nuestro sistema tenga una concentración iónica de hidrogeno pH en un rango de entre 9.0 a 9.5 por tanto para el presente estudio es de vital importancia realizar la prueba que determine que nuestro fluido esta dentro de los limites de pH permisibles para todo su estudio.

### **3.3.1 CONCENTRACIÓN IÓNICA DE HIDROGENO (pH)**

Las mediciones en campo del pH del fluido de perforación o del filtrado, son fundamentales para el control de los fluidos de perforación. La interacción con arcilla, la solubilidad de varios componentes y sus contaminantes, y la efectividad de aditivos son todos dependientes del pH, como es el control de los procesos de corrosión ácido y de sulfuros.

Actualmente existen dos métodos para medir el pH de un fluido de perforación. Los dos métodos son:

1. El método colorimétrico modificado utilizando tiras de papel
2. El método electrométrico utilizando un electrodo de vidrio. Ambos concentraciones de sal.

#### **3.3.1.1 Tiras de prueba de papel**

El papel de prueba para pH (Figura 3.2) está saturado con un colorante cuyo color dependen del pH de la solución que está siendo probada. El papel de prueba está disponible en tipo rango amplio permitiendo la estimación del pH hasta 0.5 de unidad.

Papeles de rangos más estrechos también se usan para determinar el pH hasta 0.2 de unidad. Ambos tipos de papel traen una tabla de colores estándar.

#### **3.3.1.1.1 Procedimiento de prueba con Tiras de papel pH**

1. Desprender del rollo o sacar de la caja una tira de papel de prueba para pH de 1 pulgada y colocarla sobre la superficie de la muestra del fluido de perforación, permitiendo que se humedezca.
2. Permitir que el papel esté sobre la superficie hasta que el cambio de color se ha estabilizado. Esto no debe tomar más de 30 segundos.
3. Una vez que el color se ha estabilizado, comparar el color del lado superior del papel con el color en la tabla suministrada y determinar el PH del fluido de perforación.
4. Registrar el pH del fluido de perforación hasta la próxima 0,5 o 0,2 de unidad, dependiendo de la escala de la tabla de colores para el papel indicador utilizado.

NOTA: El método de papel indicador está sujeto a error si la concentración de sal es alta.

FIGURA 3.2 PAPEL pH



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

### 3.3.1.2 Medidor de pH de electrodo de vidrio

El medidor de pH contiene un sistema de electrodo de vidrio frágil compuesto de

1. Electrodo de vidrio de pared delgada construido de un vidrio especial en el cual un electrolito adecuado y electrodo están sellados
2. Un electrodo de referencia, el cual es una célula de calomel saturado.

Una solución de cloruro de potasio saturada está contenida en un tubo que rodea a la célula de calomel y a través de ésta, se establece una conexión eléctrica con el lodo. El medidor de pH también consiste de un amplificador electrónico.

El potencial eléctrico generado en el sistema del electrodo de vidrio por los iones de hidrógeno en el lodo es amplificado, y opera el medidor calibrado o digital el cual indica el pH.

FIGURA 3.3 MEDIDOR DE PH DE ELECTRODO DE VIDRIO



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

### ***3.3.1.1.2 Procedimiento de prueba el medidor de pH de Electrodo de Vidrio***

1. Hacer los ajustes necesarios para poner el amplificador en funcionamiento.
2. Calibrar el medidor con soluciones provistas.
3. Lavar los extremos de los electrodos y cuidadosamente secarlos.
4. Insertar el electrodo en la muestra de prueba contenida en una cubeta de precipitación pequeña.
5. Rotar el fluido alrededor de los electrodos rotando la cubeta.
6. Medir el pH de la muestra siguiendo las instrucciones provistas con la unidad. Cuando se estabilice el indicador, registre el pH.
7. Registre el pH del fluido de perforación hasta la próxima 0,1 de unidad.

NOTA: Este método electrométrico está sujeto a error en muestras que tienen una alta concentración de iones sodio. Soluciones de este tipo requieren un electrodo de vidrio especial.

### **3.3.2 CAPACIDAD DE AZUL DE METILENO PARA SÓLIDOS PERFORADOS**

La capacidad de azul de metileno es un estimado de la capacidad de intercambio catiónico de los sólidos perforados. La verdadera capacidad de intercambio catiónico de los sólidos perforados probablemente será algo superior a la capacidad de azul de metileno.

La solución de azul de metileno se utiliza para valorar una muestra de los sólidos de perforación secos, molidos y tratados con un dispersante fuerte y un agente oxidante. La dispersión de la muestra de sólidos de perforación es



valorada con solución de azul de metileno hasta que aparezca un “halo” azul alrededor de una gota de sólidos de perforación sobre un papel filtro.

### **3.3.2.1 Equipo**

- Solución Azul de Metileno.
- Pirofosfato Tetrasódico al 2%.
- Peróxido de Hidrogeno al 3%.
- Ácido sulfúrico diluido 5N.
- Matraz Erlenmeyer 250 mL.
- Probeta de 10 mL, micropipeta de 0,5 mL o pipeta graduada de 1 mL.
- Cilindro graduado de 50 mL.
- Varilla agitadora.
- Plancha de calentamiento.
- Agitador magnético.
- Papel filtro No. 1 Whatman.
- Horno de secado: 220°F (105°C)
- Mortero
- Tamiz de malla No. 200 equivalente a 75 micrómetros.
- Balanza de sensibilidad 0,05 g.

### **3.3.2.2 Procedimiento**

1. Limpiar todas las señales de fluido de perforación de la muestra de los sólidos perforados y secar a 220°F (105°C) por dos horas.
2. Moler los sólidos perforados a un polvo fino usando el mortero y pasar a través del tamiz de malla 200.
3. Pesar 1.0 gramos de los sólidos perforados menores a 75 micrómetros y agregar a un matraz Erlenmeyer que contiene 25 ml de Pirofosfato Tetrasódico al 2%.

4. Mezclar bien y hervir suavemente por 10 minutos. No permitir que hierva a sequedad.
5. Agregar 15 ml de peróxido de hidrógeno y 1 ml de ácido sulfúrico. Hervir suavemente por unos 10 minutos adicionales. Enfriar a temperatura ambiente y diluir hasta 50 ml con agua.
6. Agregar solución de azul de metileno en el matraz en incrementos de 1 ml mientras se agita con el agitador magnético. Si la cantidad aproximada de la solución de azul de metileno necesaria para alcanzar el punto final es conocido de pruebas previas, se puede utilizar incrementos más grandes en el comienzo de la valoración.

Después de cada adición, mezclar el contenido del matraz por 30 segundos y remover una gota de suspensión con la varilla de agitación y poner sobre el papel filtro.

El punto final inicial de la valoración es alcanzado cuando aparece colorante como un anillo azul tenue o halo que rodea los sólidos teñidos.

7. Cuando el punto final inicial es detectado, remover el matraz por unos 2 minutos adicionales y poner otra gota sobre el papel de prueba. Si el anillo azul es otra vez evidente, el punto final a los dos minutos ha sido alcanzado. Si el anillo no aparece, continuar como en el paso 6 hasta tomar una gota después de agitar 2 minutos muestre el tinte azul.
8. Continuar agitando unos 10 minutos adicionales y poner otra gota sobre el papel de prueba. Si el anillo azul es otra vez evidente el punto final a los diez minutos ha sido alcanzado.

Si el anillo no aparece, continuar como en el paso 6 hasta tomar una gota después de agitar 30 segundos muestre el tinte azul.

Capacidad de azul de metileno de Sólidos Perforados – Cálculos.

$$\text{MBT de sólidos perforados} \frac{\text{meq}}{100\text{g}} = \frac{\text{solución de azul de metileno, ml}}{\text{peso de muestra de sólidos perforados, g}} \quad (3.2)$$

FIGURA 3.4  
EQUIPO NECESARIO PARA LA PRUEBA DE MBT



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

### 3.3.3 CAPACIDAD DE AZUL DE METILENO PARA EL SISTEMA MAXDRILL

La capacidad de azul de metileno correspondiente a un fluido de perforación es un indicio de la cantidad de arcillas reactivas (bentonita y/o sólidos de perforación) presentes, según se determina en base a una prueba con azul de metileno (MBT). La capacidad de azul de metileno ofrece una estimación de la capacidad total de intercambio catiónico (CEC) de los sólidos en los fluidos de perforación.

### 3.3.3.1 Equipo

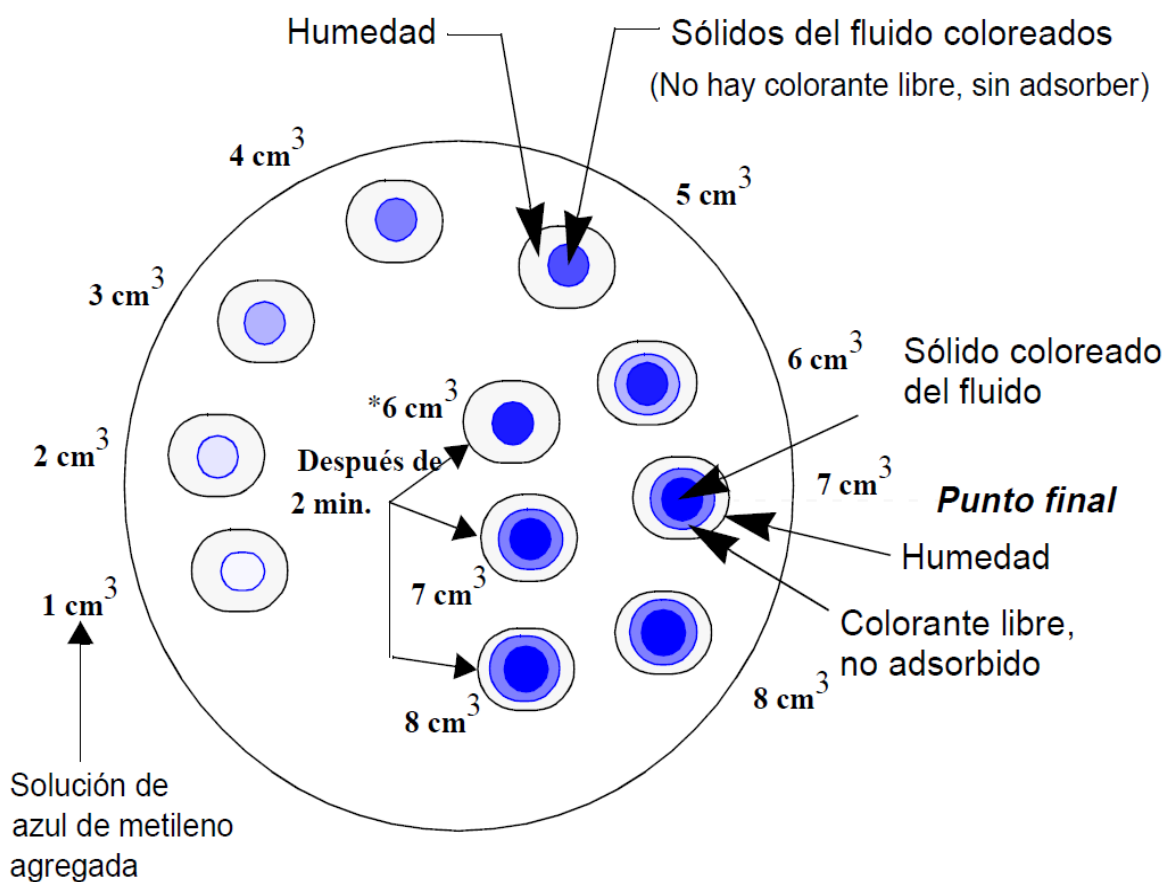
- Matraz Erlenmeyer de 250 cc.
- Agua destilada.
- Peróxido de hidrogeno (agua oxigenada al 3 %).
- Ácido sulfúrico 5 N.
- Solución de azul de metileno: 1 ml = 0,01 miliequivalentes (m.e.) que contenga 3,74 g de azul de metileno de calidad USP ( $C_{16}H_{18}N_3SCl \cdot 3H_2O$ )
- Papel filtro Whatman # 1 o equivalente.
- Varilla de vidrio.
- Parrilla de calentamiento

### 3.3.3.2 Procedimiento

1. Ponga 1 ml. de lodo en el Matraz Erlenmeyer
2. Agregue 10 ml. de agua destilada, 15 ml de agua oxigenada y 0.5 ml. de ácido sulfúrico 5 N. y calentar a ebullición durante 10 min.
3. A la solución anterior agregue 25 ml. de agua destilada y déjese enfriar.
4. Titule con azul de metileno, empleando una hoja de papel filtro, y usando de 0.5 en 0.5 c.c. de azul de metileno en la mezcla, agitando 10 seg. y con una varilla de vidrio, tomar una gota cada vez que agregue 0.5 c.c. y verterla en la hoja de papel filtro hasta que aparezca en el borde de la mancha un halo de color azul verdoso.
5. Agite nuevamente el matraz por 2 minutos mas, sin agregar mas azul de metileno y coloque otra gota en el papel filtro, si el halo es de nuevo evidente, la prueba ha terminado.

6. Si el halo no aparece continúe las adiciones de azul de metileno hasta que se cumpla la norma de los dos minutos. Entonces termina la prueba y se anota el volumen gastado de azul de metileno.

FIGURA 3.5  
ENSAYOS POR GOTAS – TITULACIÓN CON AZUL DE METILENO



FUENTE: BAKER HUGHES INTEQ

ELABORADO POR: BAKER HUGHES INTEQ

### 3.3.3.3 Cálculos

$$\text{Capacidad de azul de metileno} \left[ \frac{\text{ml}}{\text{ml}} \right] = \frac{\text{ml.gastados de azul de metileno}}{\text{ml.de lodo de la muestra}} \quad (3.3)$$

$$\text{Contenido equivalente de bentonita} \left[ \frac{\text{lb}}{\text{bbl}} \right] = \left( \frac{\text{c.c.gastados de azul de metileno}}{\text{c.c.de lodo de la muestra}} \right) \times 5 \quad (3.4)$$

#### **3.3.3.4 Observaciones**

En algunas publicaciones la capacidad de azul de metileno la reportan como MBT, pero las unidades de esta son ml / ml. Alternativamente la capacidad de azul de metileno puede ser reportada como el contenido equivalente de bentonita, es decir, cantidad de bentonita en el lodo en [lb / bbl].

El contenido equivalente de bentonita, si bien no es necesariamente igual a la capacidad de intercambio catiónico (CEC), provee un estimado del total de la capacidad de intercambio catiónico de los sólidos del fluido de perforación.

#### **3.3.4 TIEMPO DE SUCCIÓN CAPILAR (CST)**

Es un tipo de prueba de filtración para lodos base agua que mide la rata de filtración (tiempo para que el agua libre pase entre dos electrodos) usando papel filtro como el medio.

Es usado principalmente para indicar la permeabilidad de la torta de filtrado, pero los datos de la prueba han sido usados para estudiar como reaccionan las arcillas y lutitas en las tortas de filtrado y como las salmueras de varios tipos afectan las arcillas en una torta de filtrado.

El CST se ha usado para caracterizar lutitas y para optimizar la concentración de electrolitos en los fluidos de perforación, para minimizar su efecto sobre las formaciones arcillosas.

Se usa para medir la tendencia de la arcilla a hincharse una vez es introducida al agua fresca.

Los estudios de filtración CST de sistemas acuosos utilizan la presión de succión capilar de un papel poroso, lo cual tiene un efecto sobre la filtración. Cuando una suspensión se filtra bajo la influencia de esta presión de succión, la velocidad a la cual el filtrado pasa a través del medio filtrante, desde la

suspensión, es controlado predominantemente por la filtrabilidad de la suspensión.

El valor del CST es una indicación de la permeabilidad. Las partículas muy dispersables dan valores de baja permeabilidad del revoque y alto CST. Las partículas floculadas dan valores de alta permeabilidad de la torta y bajo CST.

El valor de CST depende del tipo de sólidos y el contenido de la lechada, el grado de mezclado, pH, salinidad, tipo y concentración de desfloculante o dispersante y tipo y concentración de polímeros.

Los resultados del ensayo CST muestran los efectos inhibitorios de varias sales y sus concentraciones en la dispersión de una lutita.

El tiempo registrado está directamente relacionado al potencial de hinchamiento de la muestra – entre más grande el tiempo, más alto es el potencial de hinchamiento.

#### **3.3.4.1 Equipo**

- Equipo CST
- Celda Licuadora de 100 mililitros.
- Jeringuilla de 2 mililitros.
- Papel para CST.
- Balanza electrónica.
- Agua destilada.
- Muestra de fluido MAXDRILL

#### **3.3.4.2 Procedimiento**

Antes de realizar la prueba se debe limpiar y secar el cabezal de ensayo.

1. Moler la muestra en un mortero y cernirla a través de un tamiz número 100.

2. Colocar el papel filtro especial en la parte superior del soporte del cabezal de ensayo, y colocar el bloque conteniendo las probetas o sondas de acero inoxidable en él, con el lado de la probeta mirando hacia abajo, sobre la parte superior del papel filtro.
3. Inserte en embudo (cilindro de acero) en el cabezal de ensayo y rotarlo mientras se aplica una ligera presión hacia abajo en esta posición, para asegurar un contacto parejo con el papel de filtro.
4. Pesar 0.5 gramos de muestra de formación y 50 ml de solución inhibidora.
5. Agitar durante 90 segundos. Encender el CST. El timer del equipo deberá indicar cero y la lucecita deberá estar apagada; si no es así entonces presionar "Reset"
6. Usando una jeringa, poner 2 ml de la muestra en el interior de la capsula de acero inoxidable montada en el equipo.
7. Los líquidos de la muestra son absorbidos por el papel filtro, en una trayectoria circular de diámetro creciente. Cuando el frente de líquido alcanza el primer par de contactos, sonará el "Beep" característico y comenzará el conteo del tiempo de succión capilar.

Cuando el frente de líquido alcance el tercer contacto, el conteo de tiempo cesará; la lámpara de terminación comenzará a realizar flashes y se escuchará un segundo "Beep".

Tome nota de las lecturas de conteo, las cuales representan el CST en segundos y decimas de segundos.

8. Remover cuidadosamente la parte superior del cabezal de ensayo, y luego el embudo. Remover el papel CST de la base y guardarlo para su posterior análisis.



Limpiar con un paño y secar el cabezal de ensayo o en el embudo podría producir lecturas erróneas.

9. Repetir desde la etapa 3, al menos un mínimo de tres medidas por muestra, y realice un promedio.

10. Colocar el instrumento en "Off" después de cada uso.

Diversos factores tienen un efecto significativo sobre el CST, incluyendo el papel filtro, temperatura y concentración de sólidos suspendidos.

FIGURA 3.6  
EQUIPO PARA LA PRUEBA DE CST



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

### **3.3.5 PRUEBA DE DISPERSIÓN DE LUTITAS**

El ensayo de dispersión de lutitas se usa para medir el efecto dispersante que un lodo tendrá sobre un tipo específico de arcillas.

Este procedimiento involucra el macerado, tamizado y colocación de las partículas de arcillas dentro de un fluido de perforación antes de envejecerlo, ya sea estáticamente o dinámicamente.

El recobro, la limpieza y el re-pesado de las partículas darán una indicación de la tendencia del fluido para prevenir la dispersión de la arcilla.

Las pruebas de dispersión usan fragmentos de lutita (o recortes) de granulometría determinada para medir la cantidad de dispersión que ocurre cuando estos fragmentos son sumergidos en un fluido de perforación y rolados por un periodo determinado.

Los resultados de la prueba se obtienen en porcentaje de erosión o dispersión. El porcentaje de erosión o dispersión se calcula en base a la pérdida de peso medida después que la muestra ha sido rolada durante 16 horas a 150°F (65°C).

Un porcentaje de erosión menor del 5 por ciento indica que la lutita no se erosiona en el fluido probado.

#### **3.3.5.1 Equipo**

- Celdas de acero de envejecimiento
- Horno de rolado con controlador de temperatura
- Horno de secado
- Desecador
- Tamices malla 5, 10 y 20
- Balanza digital

FIGURA 3.7 HORNO DE ROLADO



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

FIGURA 3.8 HORNO DE SECADO



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

### 3.3.5.2 Procedimiento

1. Se macera una muestra de arcilla para obtener partículas que pasan a través de un tamiz malla 10, pero que no pasan por un tamiz malla 20
2. Se pesan 3 gramos de muestra de arcilla en las muestras de lodo y se coloca dentro de las celdas de envejecimiento y se sellan.
3. Las celdas son luego roladas en caliente a 150°F (65°C) durante 16 horas.
4. Después del periodo de tiempo, se sacan las celdas del horno, dejándolas enfriar y se tamizan los lodos a través de una malla número 20. El fluido se lava con una solución inhibidora de KCl (15 ppb) o alcohol.
5. Los sólidos retenidos en el tamiz malla 20 son lavados, y puestos a secar en el horno a una temperatura de 220°F (105°C )
6. Después de secadas las muestras, se pesan nuevamente y comparando con el peso inicial se determina el porcentaje de dispersión de la muestra dentro del fluido probado. Este porcentaje se calcula en base a la pérdida de peso medida después que la muestra ha sido rolada.

$$\% \text{ de Dispersión} = \frac{\text{Peso despues del secado}}{\text{Peso inicial de la muestra}} \times 100 \quad (3.5)$$

### 3.3.6 PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL

El equipo de Hinchamiento Lineal Dinámico es un método altamente efectivo para examinar la interacción entre los fluidos base agua y las muestra minerales que contienen arcillas reactivas bajo condiciones simuladas mientras el fluido esta en movimiento.

Las características de hinchamiento observadas son utilizadas para anticipar y/o corregir los problemas no predecibles que son encontrados mientras se perfora formaciones de lutitas.

Es una herramienta muy útil cuando se están diseñando fluidos o cuando se está probando el comportamiento de lodos existentes debido a que muestra los cambios en la interacción arcilla/fluido por periodos cortos de tiempo (0-5 minutos) o periodos largos (mayor a 350 minutos)

Se fabrica una pastilla con el recorte de formación y se introduce en una celda a la cual se adiciona fluido de perforación (Figura 3.9).

La pastilla es preparada por una unidad de compactación hidráulica para colocarla dentro del stand de transferencia y realizar la prueba.

FIGURA 3.9 EQUIPO DE HINCHAMIENTO LINEAL



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

Similar a la Capacidad de Intercambio Catiónico, pero expresado como el aumento de volumen inicial de una pastilla de material reconstituido y comprimido. El aumento de volumen es por efecto de la unión física y química

de moléculas de agua que entran en la estructura cristalina del mineral como consecuencia del intercambio catiónico.

Se expresa como porcentaje de hinchamiento medido en una dirección, por un lapso de tiempo predeterminado.

FIGURA 3.10  
EQUIPO DE COMPACTACIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE PASTILLAS



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

### **3.4 NUEVO FLUIDO MAXDRILL**

El proyecto para determinar las concentraciones óptimas del Nuevo Sistema MAXDRILL se desarrolla a partir de la concentración original del mismo, la cual ha sido probada durante numerosas operaciones de perforación en nuestro país.

Realizando un análisis básico de medición de la capacidad de azul de Metileno y del CEC del fluido se desarrollaron 8 nuevos fluidos con concentraciones distintas los mismos que fueron sometidos a las mismas pruebas y a una comparación con el Sistema MAXDRILL original obteniéndose los siguientes resultados.

TABLA 3.12ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL

<b>FLUIDO MAXDRILL NORMAL</b>		
<b>Composición Base</b>	<b>Equivalente</b>	
<b>MAXDRILL</b> 0,25 Gal/Bls	5,952380952	ml/lit
<b>GLYMAX</b> 1 % v/v	10,0	ml/lit
<b>BENTONITA</b> 20 lb/Bbl	57,06699684	gr/lit
<b>SYNERFLOC A25D</b> 2 lb/Bbl	5,706699684	gr/lit
<b>STARDRILL</b> 2 lb/Bbl	5,706699684	gr/lit
<b>pH</b>		
Ph salida	8,9	
NaOH (5%)	0	
Ph Estable	8,9	
Temperatura °C	24,6	
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO ANTES DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	3,3	ml
MBT	8,25	
BASE	20	ppb
CALCULO	41,25	NO INHIBE
RESULTADO	58,75	INHIBE
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO DESPUÉS DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	3,3	ml
MBT	8,25	
BASE	20	ppb
CALCULO	41,25	NO INHIBE
RESULTADO	58,75	INHIBE

FUENTE: PROYECTO MAXDRILL Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

TABLA 3.13ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL 1

<b>FLUIDO MAXDRILL 1</b>		
<b>Composición Base</b>	<b>Equivalente</b>	
<b>MAXDRILL</b> 0.2 Gal/Bls	4.762	ml/lt
<b>GLYMAX</b> 1 % v/v	10,0	ml/lt
<b>BENTONITA</b> 20 lb/Bbl	57.067	gr/lt
<b>SYNERFLOC A25D</b> 2 lb/Bbl	5.707	gr/lt
<b>STARDRILL</b> 2 lb/Bbl	5.707	gr/lt
<b>pH</b>		
Ph salida	8,83	
NaOH (5%)	0	
Ph Estable	8,83	
Temperatura °C	28.5	
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO ANTES DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	3	ml
MBT	7.5	
BASE	20	ppb
CALCULO	47.5	NO INHIBE
RESULTADO	62.5	INHIBE
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO DESPUÉS DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	3,2	ml
MBT	8	
BASE	20	ppb
CALCULO	40	NO INHIBE
RESULTADO	60	INHIBE

FUENTE: PROYECTO MAXDRILL Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza



TABLA 3.14 ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL 2

<b>FLUIDO MAXDRILL 2</b>		
<b>Composición Base</b>	<b>Equivalente</b>	
<b>MAXDRILL</b> 0.15 Gal/Bls	3.571	ml/lt
<b>GLYMAX</b> 1 % v/v	10,0	ml/lt
<b>BENTONITA</b> 20 lb/Bbl	57.067	gr/lt
<b>SYNERFLOC A25D</b> 2 lb/Bbl	5.707	gr/lt
<b>STARDRILL</b> 2 lb/Bbl	5.707	gr/lt
<b>pH</b>		
Ph salida	9.3	
NaOH (5%)	0	
Ph Estable	9.3	
Temperatura °C	24.3	
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO ANTES DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	4	ml
MBT	10	
BASE	20	ppb
CALCULO	50	NO INHIBE
RESULTADO	50	INHIBE
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO DESPUÉS DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	4	ml
MBT	10	
BASE	20	ppb
CALCULO	50	NO INHIBE
RESULTADO	50	INHIBE

FUENTE: PROYECTO MAXDRILL Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

TABLA 3.15ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL 3

<b>FLUIDO MAXDRILL 3</b>		
<b>Composición Base</b>	<b>Equivalente</b>	
<b>MAXDRILL</b> 0.25 Gal/Bls	5.952	ml/lt
<b>GLYMAX</b> 0.5 % v/v	5	ml/lt
<b>BENTONITA</b> 20 lb/Bbl	57.067	gr/lt
<b>SYNERFLOC A25D</b> 2 lb/Bbl	5.707	gr/lt
<b>STARDRILL</b> 2 lb/Bbl	5.707	gr/lt
<b>pH</b>		
Ph salida	8.6	
NaOH (5%)	0	
Ph Estable	8.6	
Temperatura °C	25.4	
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO ANTES DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	3.8	ml
MBT	9.5	
BASE	20	ppb
CALCULO	47.5	NO INHIBE
RESULTADO	52.5	INHIBE
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO DESPUÉS DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	3.5	ml
MBT	8.75	
BASE	20	ppb
CALCULO	43.75	NO INHIBE
RESULTADO	56.25	INHIBE

FUENTE: PROYECTO MAXDRILL Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

TABLA 3.16 ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL 4

<b>FLUIDO MAXDRILL 4</b>		
<b>Composición Base</b>	<b>Equivalente</b>	
<b>MAXDRILL</b> 0.2 Gal/Bls	4.762	ml/lt
<b>GLYMAX</b> 0.5 % v/v	5	ml/lt
<b>BENTONITA</b> 20 lb/Bbl	57.067	gr/lt
<b>SYNERFLOC A25D</b> 2 lb/Bbl	5.707	gr/lt
<b>STARDRILL</b> 2 lb/Bbl	5.707	gr/lt
<b>pH</b>		
Ph salida	8.7	
NaOH (5%)	0	
Ph Estable	8.7	
Temperatura °C	28.7	
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO ANTES DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	4.2	ml
MBT	10.5	
BASE	20	ppb
CALCULO	52.5	NO INHIBE
RESULTADO	47.5	INHIBE
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO DESPUÉS DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	4	ml
MBT	10	
BASE	20	ppb
CALCULO	50	NO INHIBE
RESULTADO	50	INHIBE

FUENTE: PROYECTO MAXDRILL Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

TABLA 3.17ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL 5

<b>FLUIDO MAXDRILL 5</b>		
<b>Composición Base</b>	<b>Equivalente</b>	
<b>MAXDRILL</b> 0.15 Gal/Bls	3.571	ml/lt
<b>GLYMAX</b> 0.5 % v/v	5	ml/lt
<b>BENTONITA</b> 20 lb/Bbl	57.067	gr/lt
<b>SYNERFLOC A25D</b> 2 lb/Bbl	5.707	gr/lt
<b>STARDRILL</b> 2 lb/Bbl	5.707	gr/lt
<b>pH</b>		
Ph salida	8.81	
NaOH (5%)	0	
Ph Estable	8.81	
Temperatura °C	28.9	
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO ANTES DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	4.2	ml
MBT	10.5	
BASE	20	ppb
CALCULO	52.5	NO INHIBE
RESULTADO	47.5	INHIBE
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO DESPUÉS DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	4.2	ml
MBT	10.5	
BASE	20	ppb
CALCULO	52.5	NO INHIBE
RESULTADO	47.5	INHIBE

FUENTE: PROYECTO MAXDRILL Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

TABLA 3.18ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL 6

<b>FLUIDO MAXDRILL 6</b>		
<b>Composición Base</b>	<b>Equivalente</b>	
<b>MAXDRILL</b> 0.25 Gal/Bls	5.952	ml/lt
<b>GLYMAX</b> 0.3 % v/v	3	ml/lt
<b>BENTONITA</b> 20 lb/Bbl	57.067	gr/lt
<b>SYNERFLOC A25D</b> 2 lb/Bbl	5.707	gr/lt
<b>STARDRILL</b> 2 lb/Bbl	5.707	gr/lt
<b>pH</b>		
Ph salida	8.27	
NaOH (5%)	0.6	
Ph Estable	8.55	
Temperatura °C	26.1	
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO ANTES DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	3	ml
MBT	8.75	
BASE	20	ppb
CALCULO	43.5	NO INHIBE
RESULTADO	62.5	INHIBE
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO DESPUÉS DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	4.5	ml
MBT	8.75	
BASE	20	ppb
CALCULO	43.75	NO INHIBE
RESULTADO	56.25	INHIBE

FUENTE: PROYECTO MAXDRILL Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

TABLA 3.19ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL 7

<b>FLUIDO MAXDRILL 7</b>		
<b>Composición Base</b>	<b>Equivalente</b>	
<b>MAXDRILL</b> 0.20 Gal/Bls	4.762	ml/lt
<b>GLYMAX</b> 0.3 % v/v	3	ml/lt
<b>BENTONITA</b> 20 lb/Bbl	57.067	gr/lt
<b>SYNERFLOC A25D</b> 2 lb/Bbl	5.707	gr/lt
<b>STARDRILL</b> 2 lb/Bbl	5.707	gr/lt
<b>pH</b>		
Ph salida	8.48	
NaOH (5%)	0.5	
Ph Estable	8.63	
Temperatura °C	28	
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO ANTES DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	3.7	ml
MBT	9.25	
BASE	20	ppb
CALCULO	46.25	NO INHIBE
RESULTADO	53.75	INHIBE
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO DESPUÉS DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	4	ml
MBT	10	
BASE	20	ppb
CALCULO	50	NO INHIBE
RESULTADO	50	INHIBE

FUENTE: PROYECTO MAXDRILL Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

TABLA 3.20 ANÁLISIS DE INHIBICIÓN PARA EL FLUIDO MAXDRILL 8

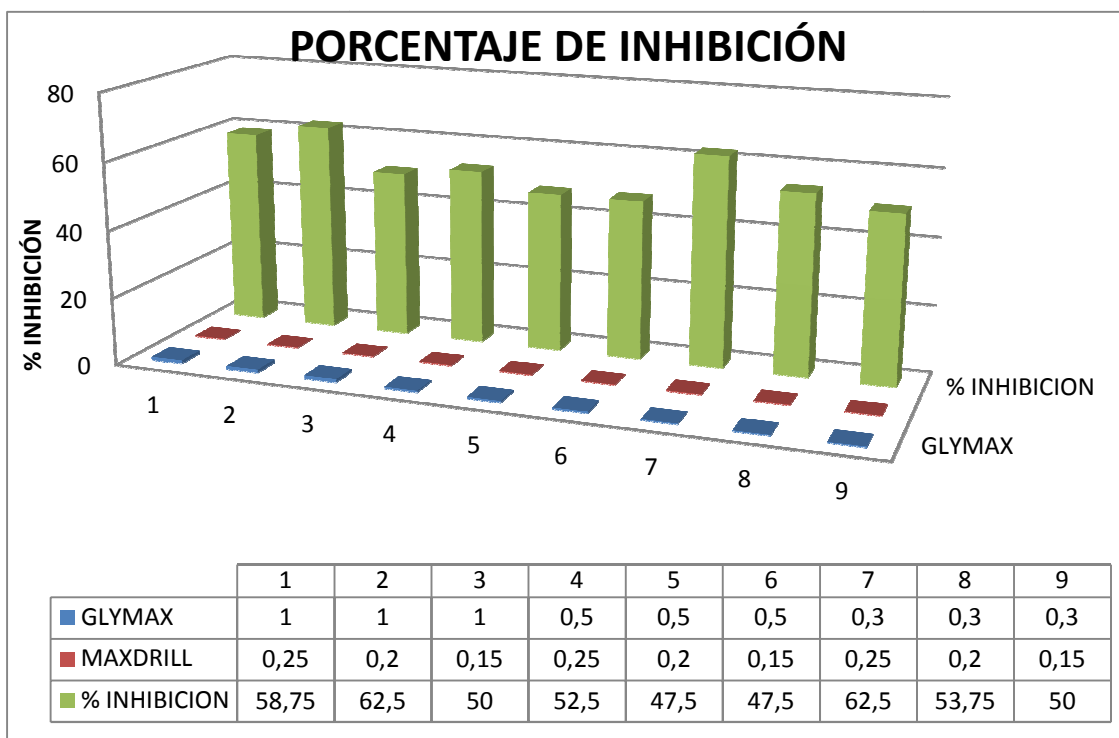
<b>FLUIDO MAXDRILL 8</b>		
<b>Composición Base</b>	<b>Equivalente</b>	
<b>MAXDRILL</b> 0.15 Gal/Bls	3.571	ml/lt
<b>GLYMAX</b> 0.3 % v/v	3	ml/lt
<b>BENTONITA</b> 20 lb/Bbl	57.067	gr/lt
<b>SYNERFLOC A25D</b> 2 lb/Bbl	5.707	gr/lt
<b>STARDRILL</b> 2 lb/Bbl	5.707	gr/lt
<b>pH</b>		
Ph salida	8.51	
NaOH (5%)	0.4	
Ph Estable	8.95	
Temperatura °C	24.5	
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO ANTES DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	4	ml
MBT	10	
BASE	20	ppb
CALCULO	50	NO INHIBE
RESULTADO	50	INHIBE
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AZUL DE METILENO DESPUÉS DE ROLAR</b>		
AZUL DE METILENO	4	ml
MBT	10	
BASE	20	ppb
CALCULO	50	NO INHIBE
RESULTADO	50	INHIBE

FUENTE: PROYECTO MAXDRILL Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

Del estudio de los ocho fluidos modificados en su composición original de acuerdo a su capacidad de inhibición se determina que aquellos con la mayor capacidad de control de arcillas son los fluidos 1 y 6 ambos con una capacidad de inhibir formaciones arcillosas de un 62.5%. Los resultados de dicho estudio se muestran en la Tabla 3.20 y en la Figura 3.11.

FIGURA 3.11 RESULTADO DE INHIBICIÓN DE LOS FLUIDOS DE PRUEBA



FUENTE: PROYECTO MAXDRILL Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

Al tener dos fluidos con la misma capacidad de inhibición se realizó al interior de la compañía un estudio económico llegando a la conclusión que el Fluido número 6 mostrado en la Tabla 3.21 es el adecuado para ser estudiado como el NUEVO FLUIDO MAXDRILL.

Una vez determinada la composición del Nuevo lodo lo que resta es prepararlo con todos sus componentes para de esta manera realizar las 5 pruebas anteriormente descritas comprobando que la nueva concentración va a dar resultados en laboratorio para su posterior aplicación en el campo.



TABLA 3.21 TABLA DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE INHIBICIÓN

				ANTES DE ROLAR		DESPUÉS DE ROLAR		% INHIBICIÓN
	GLYMAX	MAXDRILL	BENTONITA	AZUL DE METILENO	MBT	AZUL DE METILENO	MBT	
	% v/v	gal/bl	lb/bbl	ml	lb/bbl	ml	lb/bbl	
MUESTRA ORIGINAL	1	0,25	20	3,3	8,25	3,3	8,25	58,75
<b>MUESTRA 1</b>	<b>1</b>	<b>0,2</b>	<b>20</b>	<b>3</b>	<b>7,5</b>	<b>3,2</b>	<b>8</b>	<b>62,5</b>
MUESTRA 2	1	0,15	20	4	10	4	10	50
MUESTRA 3	0,5	0,25	20	3,8	9,5	3,5	8,75	52,5
MUESTRA 4	0,5	0,2	20	4,2	10,5	4	10	47,5
MUESTRA 5	0,5	0,15	20	4,2	10,5	4,2	10,5	47,5
<b>MUESTRA 6</b>	<b>0,3</b>	<b>0,25</b>	<b>20</b>	<b>3</b>	<b>7,5</b>	<b>3,5</b>	<b>8,75</b>	<b>62,5</b>
MUESTRA 7	0,3	0,2	20	3,7	9,25	4	10	53,75
MUESTRA 8	0,3	0,15	20	4	10	4	10	50

FUENTE: PROYECTO MAXDRILL Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

## **CAPÍTULO 4**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS DE INHIBICIÓN DE COMPONENTES ARCILLOSOS**

Para determinar el efecto inhibitorio es importante darle un tratamiento a las muestras para realizar cada prueba con ellas.

Para el caso de la Prueba de Azul de Metileno (MBT), Tiempo de Succión Capilar (CST), e Hinchamiento Lineal es necesario pulverizar cada formación. Mientras para la Prueba de Dispersión se requiere que la muestra no este pulverizada.

La densidad de los Fluidos de Perforación Maxdrill y Nuevo Maxdrill fueron preparadas con un peso de 9.0 LPG, y se mantienen antes y después de rolar. Con ello y el tratamiento de las muestras empezaremos el estudio del efecto inhibitorio sobre los componentes arcillosos.

#### **4.1 RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS**

Las muestras se obtienen manualmente de las zarandas y se realiza un lavado previo para de esta manera eliminar el exceso de lodo (no lavar con fuerza ni con agua ya que de hacerlo la arcilla contenida en los cortes es expulsada además de tender a hincharse). Realizar el mismo proceso tanto para las muestras de arcilla como de lutitas a fin de que las muestras mantengan sus características a lo largo del estudio.

Dichas muestras se deben guardar en bolsas adecuadas e impermeables (polipropileno/polietileno) como lo indica la Figura 4.1, identificadas con tinta indeleble. Deben reportar la profundidad estimada de origen como indica el survey del pozo (anexo 1), para esto se deben conocer los tiempos de viaje y así determinar dicha profundidad.

FIGURA 4.1 EMBALAJE DE MUESTRAS TOMADAS DE LAS ZARANDAS



FUENTE: GEOSERVICES

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

## 4.2 SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS

La frecuencia de recolección se da de acuerdo a las especificaciones de la compañía de perforación (Tabla 4.1) teniendo en consideración los topes formacionales para el pozo (Anexo 2). Los intervalos de recolección deben indicarse con un rango de profundidad, ya que existe un error asociado al origen del recorte.

TABLA 4.1 FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

TIPO DE MUESTRA	INTERVALO	NÚMERO REQUERIDO & DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA
Cortes	Superficie hasta 8856´(TVD) (Chalcana, Orteguaza, Tiyuyacu, Tena)	Muestras de corte seca, recolectadas y registradas (logged)	Cada 30´
	8856´ (TVD) - Profundidad total (Tena Basal, Napo y Hollin)	Muestras de corte seca, recolectadas y registradas (logged)	Cada 10´

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

### 4.3 TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Para las distintas pruebas las muestras deben ser sometidas a un tratamiento específico a fin de desprenderlas del lodo sobrante que viene en la muestra embalada.

El primer paso es seleccionar las muestras para el estudio de acuerdo a los topes formacionales y la prognosis del pozo. Las mismas que, una vez separadas deben ser lavadas con alcohol potable (Figura 4.2) para evitar la absorción de agua por las arcillas y lutitas.

FIGURA 4.2 LAVADO DE MUESTRAS



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

Posterior al lavado de las muestras viene el secado de las mismas para lo cual utilizamos un horno de secado a una temperatura de 105°C durante 2 horas (Figura 4.3) posterior a lo cual se coloca la muestra seca en un desecador para eliminar en su totalidad la humedad (Figura 4.4) y que estén listas para ser molidas y tamizadas obteniendo de esta manera el material necesario para su utilización en las pruebas para determinar la capacidad de inhibición de nuestro nuevo fluido.

FIGURA 4.3 SECADO DE MUESTRAS EN EL HORNO



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

FIGURA 4.4 DESHUMIFICADOR DE MUESTRAS



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

Las muestras secas se dividen para las distintas pruebas, una parte para las pruebas de Capacidad de azul de metileno (MBT), Tiempo de Succión Capilar (CST) e Hinchamiento Lineal y otra para la prueba de Dispersión.

Las muestras para las pruebas de MBT, CST e Hinchamiento Lineal son pulverizadas y tamizada con una malla número 200 lo cual garantiza que se mezcle uniformemente en el lodo y de esta manera poder realizar dichos ensayos. Por otro lado, para la prueba de Hinchamiento Lineal es necesario el correcto tamizado ya que con las formaciones se realizan las pastillas a fin de analizar en estas.

Mientras que la muestra para la prueba de dispersión, se utilizan los ripios que pasen a través del tamiz de 10 pero que no atraviesen el de 20.

#### **4.4 PRUEBAS PARA DETERMINAR EL EFECTO DE INHIBICIÓN SOBRE COMPONENTES ARCILLOSOS**

##### **4.4.1 CAPACIDAD DE AZUL DE METILENO PARA SÓLIDOS PERFORADOS**

Para determinar la capacidad de intercambio catiónico (CEC), se realizó la Prueba de azul de Metileno para Sólidos Perforados tomando las muestras seleccionadas de las formaciones Orteguzza, Tiyuyacu, Tena y Napo, mediante el procedimiento presentado en el Capítulo 3.

Previamente se tomaron las muestras de las diferentes formaciones (Orteguzza, Tiyuyacu, Tena y Napo), pulverizándolas y pasándolas por un tamiz No. 200 con el fin de obtener 1 gramo de cada muestra como nos indica en la Norma API 13I, de esta manera se realizó la prueba y se obtuvo los siguientes valores para cada formación mostradas en la tabla 4.2.

TABLA 4.2

RESULTADO DEL MBT PARA SÓLIDOS PERFORADOS (PRUEBA DE AZUL DE METILENO)

FORMACIÓN	LECTURA	AZUL DE METILENO (ml)	CEC (meq/100g)
ORTEGUAZA	Lectura 1	15	75
	Lectura 2	15,5	77,5
	Lectura 3	16	80
	<b>PROMEDIO</b>	<b>15,5</b>	<b>77,5</b>
TIYUYACU	Lectura 1	13,5	67,5
	Lectura 2	13	65
	Lectura 3	13	65
	<b>PROMEDIO</b>	<b>13,2</b>	<b>65,8</b>
NAPO	Lectura 1	5	25
	Lectura 2	5	25
	Lectura 3	5	25
	<b>PROMEDIO</b>	<b>5</b>	<b>25</b>
TENA	Lectura 1	8,5	42,5
	Lectura 2	9	45
	Lectura 3	8	40
	<b>PROMEDIO</b>	<b>8,5</b>	<b>42,5</b>

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza



FIGURA 4.5 RESULTADOS CEC PARA LAS FORMACIONES ESTUDIADAS



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

#### 4.4.1.1.1 Análisis de Resultados

Para esta prueba se realizó 3 lecturas para cada formación, esto nos ayuda a tener una mejor visualización de los resultados obtenidos y con ello obtener un promedio, para conocer el resultado más idóneo para cada formación.

En la Tabla 4.2 se puede observar las formaciones Orteguaza y Tiyuyacu son altamente reactivas con una Capacidad de Intercambio catiónico de 77.5 y 68.5 meq/100g respectivamente, lo cual nos da una idea de que son Esmectitas ya que contienen un alto CEC. Para el caso de la formación Napo, su CEC se ubica en el nivel de la Sepiolita de 20 – 35 meq/100g, lo que no presenta un alto nivel de reactividad pero eso no quiere decir que no se le de importancia, ya que también intercambian iones y esto puede ocasionar derrumbes, inestabilidad del pozo, embolamiento, pega de tubería, entre otros.



TABLA 4.3

RESULTADOS GRÁFICOS PARA LA PRUEBA MBT PARA SÓLIDOS PERFORADOS

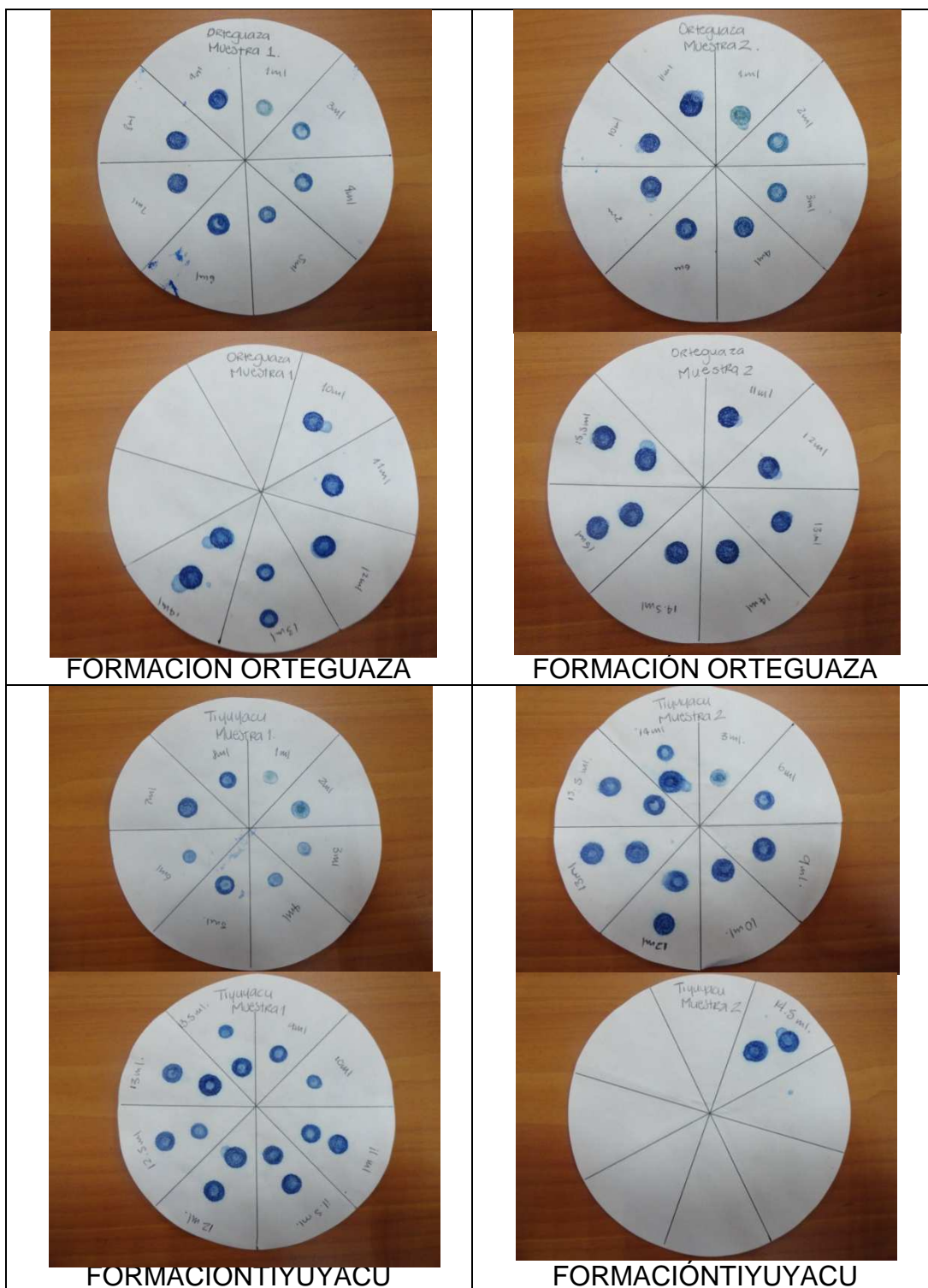
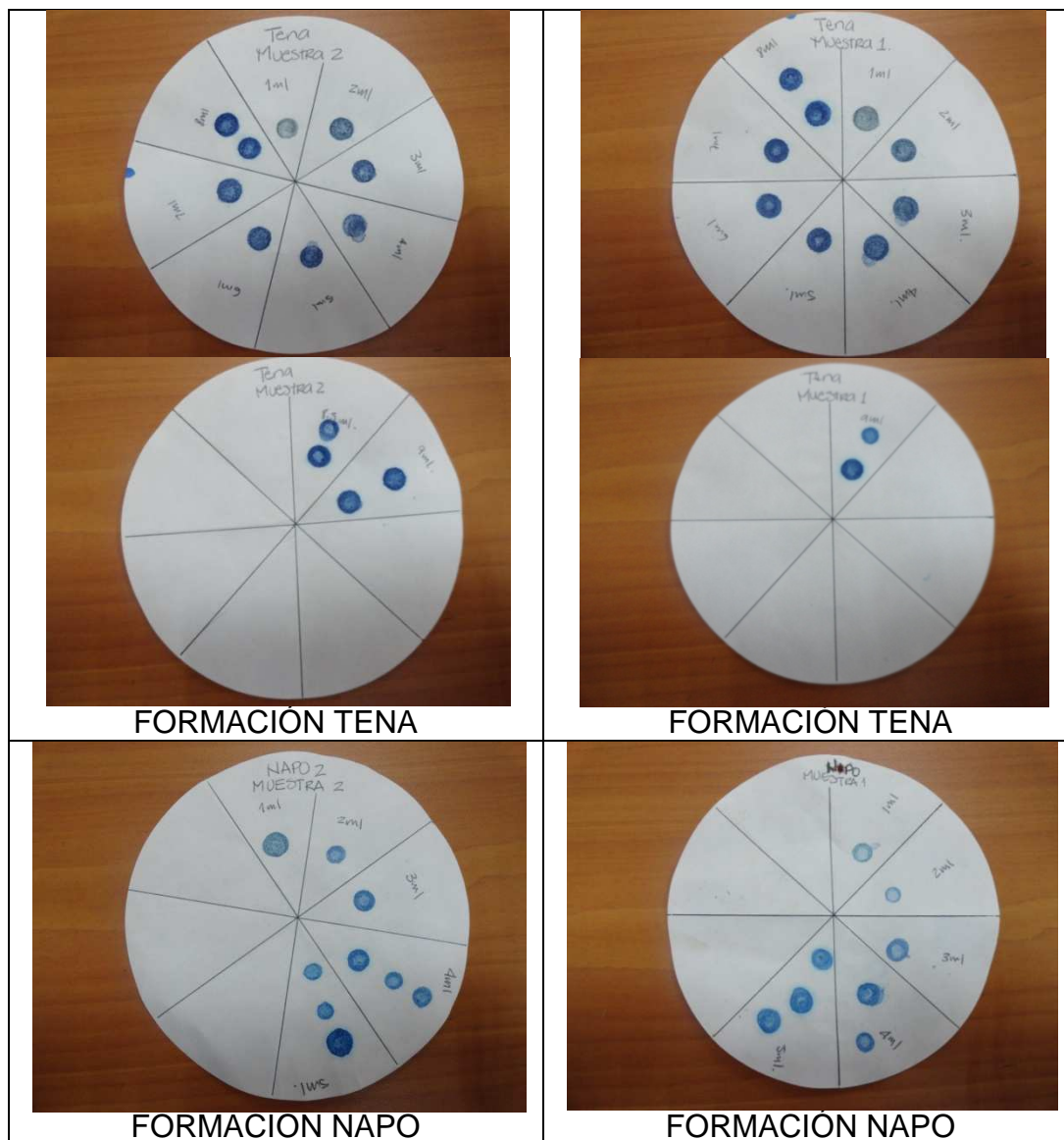


TABLA 4.3 CONTINUACIÓN



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

#### 4.4.2 PRUEBA DE AZUL DE METILENO (MBT)

##### 4.4.2.1 Fluido Antes de Rolar

Para realizar esta prueba se elaboraron dos fluidos de perforación con componentes arcillosos (Tiyuyacu, Orteguzza, Napo y Tena) con las

concentraciones de cada uno de los fluidos, con la finalidad de conocer la capacidad de inhibición de los lodos usados con cada una de las formaciones y de esta manera conocer la arcilla más reactiva y menos reactiva.

Para lo cual se preparó 350ml tanto del fluido Maxdrill como del Fluido Nuevo Maxdrill con 15 ppb de muestra tamizada por un tamiz N°. 200, se agitó por 1 hora para que todos los componentes se mezclen perfectamente.

TABLA 4.4

COMPOSICIÓN DE LOS FLUIDOS MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL

COMPONENTES	FLUIDO MAXDRILL		FLUIDO NUEVO MAXDRILL	
	CONCENTRACIÓN	350 ml	CONCENTRACIÓN	350 ml
Maxdrill	0,25 gal/bbl	2,08 ml	0,25 gal/bbl	2,08 ml
Glymax	1%	3,5 ml	0,3%	1,05 ml
Stardrill	2 lb/bbl	1,99 g	2 lb/bbl	1,99 g
Synerfloc	2 lb/bbl	1,99 g	2 lb/bbl	1,99 g
Kelzan	0,5 lb/bbl	0,49 g	0,5 lb/bbl	0,49 g
Barita	38,54 lb/bbl	38,52 g	38,54 lb/bbl	38,52 g
Formación	15 ppb	15 g	15 ppb	15 g

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

Inmediatamente se saca de los mezcladores y se mide el pH que debe estar en un rango de 9 a 9.5, y si no está en ese rango se adiciona Soda Caústica (NaOH).

De esta manera medimos el pH de cada uno de los fluidos con sus respectivas muestras de formación, que se mostrarán en la Tabla 4.5

TABLA 4.5 pH DE LOS FLUIDOS MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL ANTES DE ROLAR

	ANTES DE ROLAR			
	FLUIDO MAXDRILL		FLUIDO NUEVO MAXDRILL	
FORMACIÓN	pH INICIAL	pH FINAL	pH INICIAL	pH FINAL
Orteguaza	8,43	9,01	8,55	9,05
Tiyuyacu	8,71	9,05	8,36	9,04
Napo	8,7	9,26	8,34	9,3
Tena	8,6	9,11	8,66	9,26

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

Una vez estabilizado el pH se realiza la Prueba MBT según la Norma API 13B 1.

#### 4.4.2.1.1 *Análisis de Resultados*

A continuación se muestran los valores obtenidos de 3 lecturas que se realizó a los 2 fluidos a condiciones de superficie (antes de rolar).

TABLA 4.6

RESULTADOS OBTENIDOS DEL FLUIDO NUEVO MAXDRILL ANTES DE ROLAR

FORMACIÓN	LECTURA	FLUIDO NUEVO MAXDRILL	
		AZUL DE METILENO (ml)	CEC (meq/100g)
ORTEGUAZA	Lectura 1	1,0	2,5
	Lectura 2	0,8	2,0

TABLA 4.6 CONTINUACIÓN

	Lectura 3	1,0	2,5
	<b>PROMEDIO</b>	<b>0,9</b>	<b>2,3</b>
TIYUYACU	Lectura 1	1,0	2,5
	Lectura 2	1,0	2,5
	Lectura 3	1,0	2,5
	<b>PROMEDIO</b>	<b>1,0</b>	<b>2,5</b>
NAPO	Lectura 1	1,0	2,5
	Lectura 2	0,8	2,0
	Lectura 3	1,2	3,0
	<b>PROMEDIO</b>	<b>1,0</b>	<b>2,5</b>
TENA	Lectura 1	0,6	1,5
	Lectura 2	0,6	1,5
	Lectura 3	0,6	1,5
	<b>PROMEDIO</b>	<b>0,6</b>	<b>1,5</b>

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

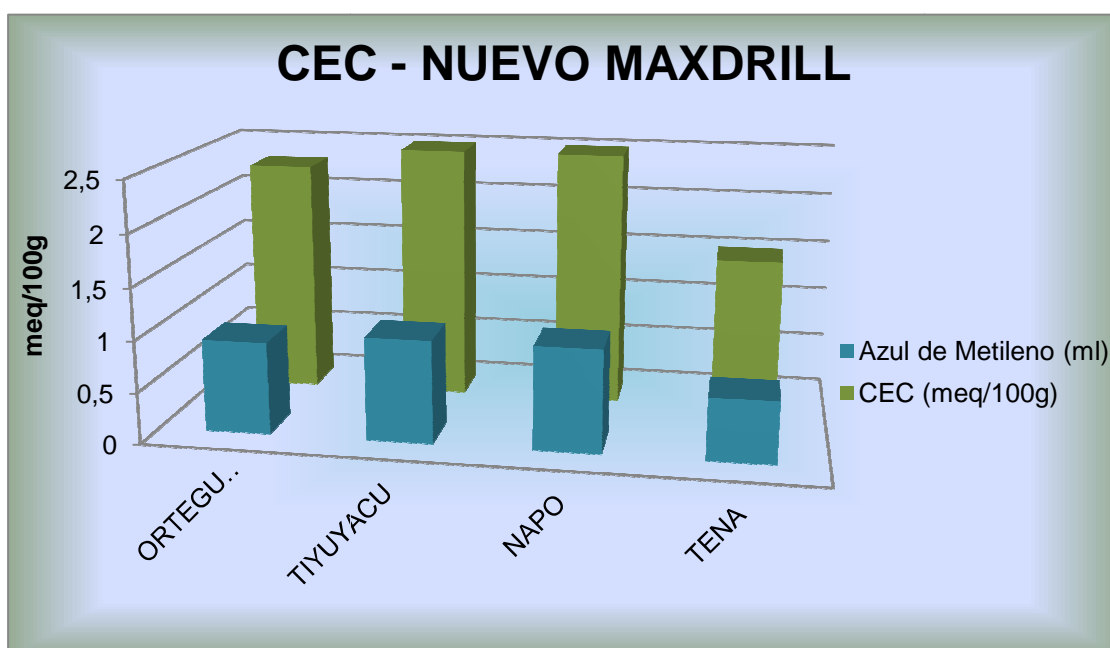
ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

En la tabla 4.6 se puede observar que los valores no varían demasiado, por lo tanto existe repetitividad, para la formación Tiyuyacu y Napo se puede concluir que se tiene la misma cantidad de intercambio catiónico de 1.0 meq/100g, siguiéndole Orteguzza con un CEC de 1.5 meq/100g y finalmente con Tena con un CEC de 1.5 meq/100g.

Para el Fluido Nuevo Maxdrill las arcillas más reactivas son Tiyuyacu y Napo, y la menos reactiva es Tena.

FIGURA 4.6

RESULTADOS OBTENIDOS DEL FLUIDO NUEVO MAXDRILL ANTES DE ROLAR



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

TABLA 4.7

RESULTADOS GRÁFICOS PARA LA PRUEBA MBT DEL NUEVO FLUIDO MAXDRILL



TABLA 4.7 CONTINUACIÓN



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

En la Tabla 4.8 se muestran los valores obtenidos para el fluido Maxdrill, de la misma manera se realizó 3 lecturas para cada formación.

TABLA 4.8

RESULTADOS OBTENIDOS DEL FLUIDO MAXDRILL ANTES DE ROLAR

FORMACIÓN	LECTURA	FLUIDO MAXDRILL	
		AZUL DE METILENO (ml)	CEC (meq/100g)
ORTEGUAZA	Lectura 1	1,2	3,0
	Lectura 2	1,0	2,5
	Lectura 3	1,2	3,0
	<b>PROMEDIO</b>	<b>1,1</b>	<b>2,8</b>

TABLA 4.8 CONTINUACIÓN

TIYUYACU	Lectura 1	1,0	2,5
	Lectura 2	1,0	2,5
	Lectura 3	1,0	2,5
	<b>PROMEDIO</b>	<b>1,0</b>	<b>2,5</b>
NAPO	Lectura 1	0,8	2,0
	Lectura 2	0,6	1,5
	Lectura 3	1,0	2,5
	<b>PROMEDIO</b>	<b>0,8</b>	<b>2,0</b>
TENA	Lectura 1	0,8	2,0
	Lectura 2	0,8	2,0
	Lectura 3	0,8	2,0
	<b>PROMEDIO</b>	<b>0,8</b>	<b>2,0</b>

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

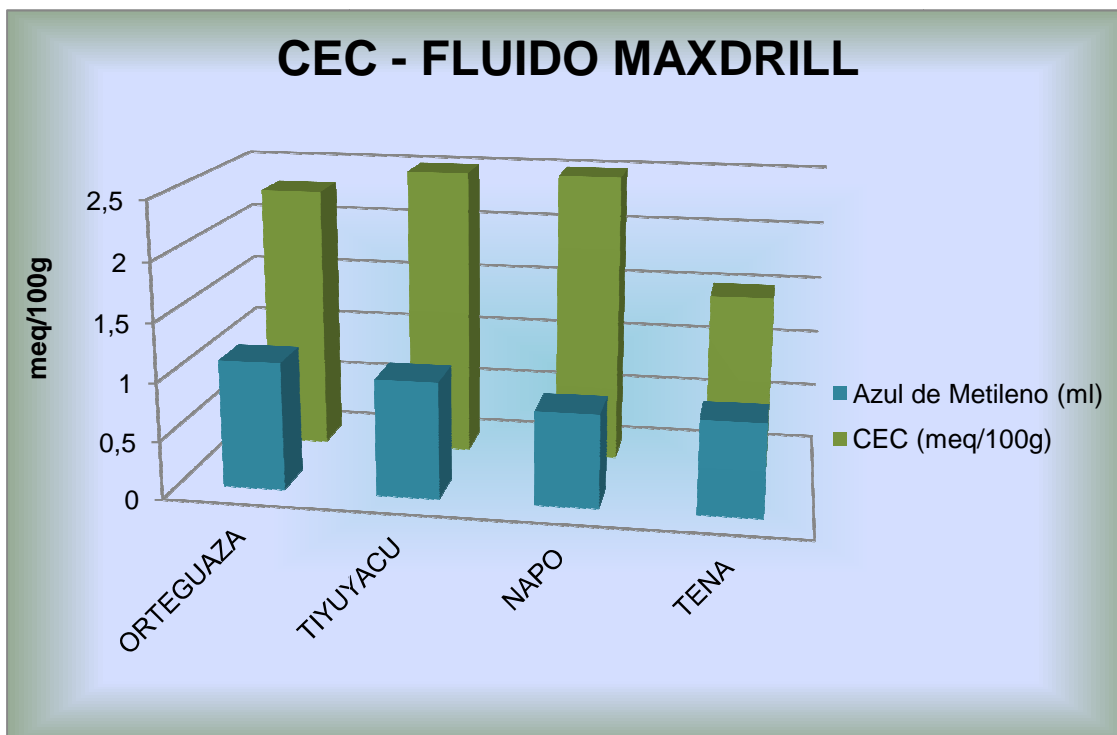
En la tabla 4.8 se muestra que los valores tienen repetitividad, la formación Ortegaza es la más reactiva con un CEC de 2.8 meq/100g y las formaciones menos reactivas son Napo y Tena con un CEC de 2.0 meq/100g.

Tanto para el fluido Maxdrill como para el Fluido Nuevo Maxdrill los valores dados en las lecturas son similares y esto nos indica que hay una homogeneidad. Por lo tanto, los valores nos muestran que no hay alteración en los resultados obtenidos.



FIGURA 4.7

RESULTADOS OBTENIDOS DEL FLUIDO MAXDRILL ANTES DE ROLAR



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

TABLA 4.9

RESULTADOS GRÁFICOS PARA LA PRUEBA MBT DEL FLUIDO MAXDRILL

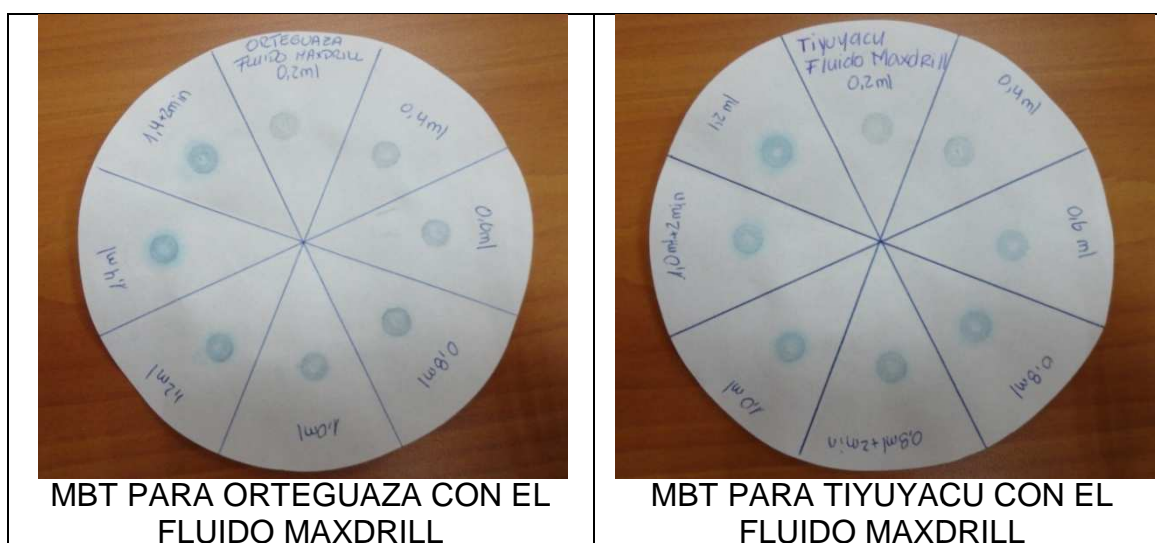
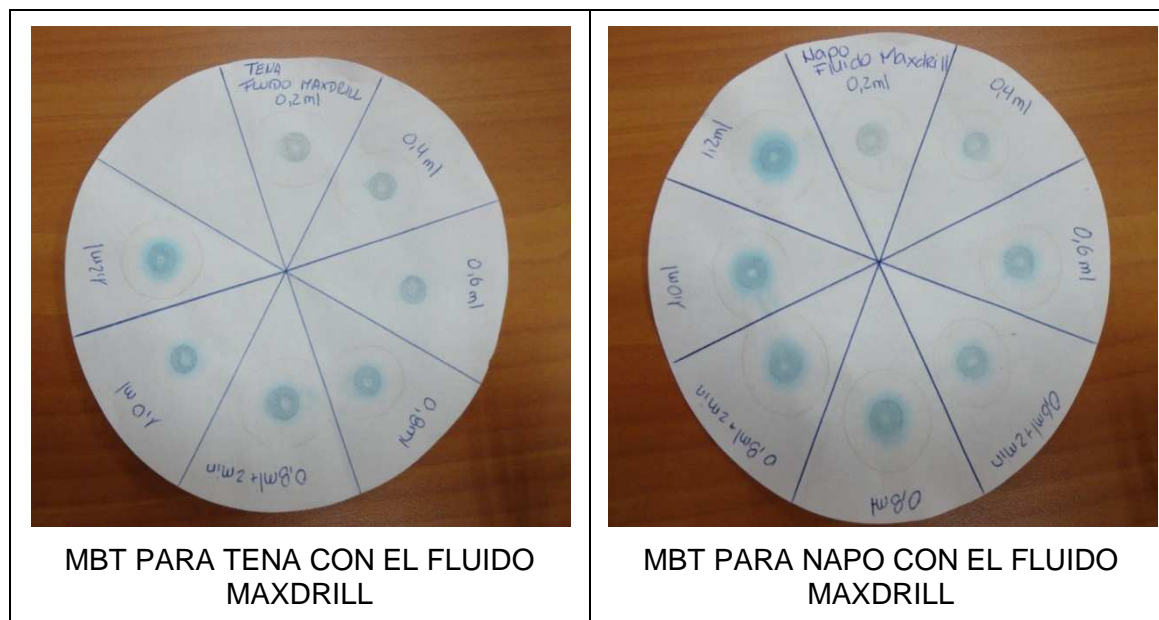


TABLA 4.9 CONTINUACIÓN



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

TABLA 4.10

PORCENTAJE DE INHIBICIÓN DE LAS FORMACIONES CON LODO A CONDICIONES DE SUPERFICIE (ANTES DE ROLAR)

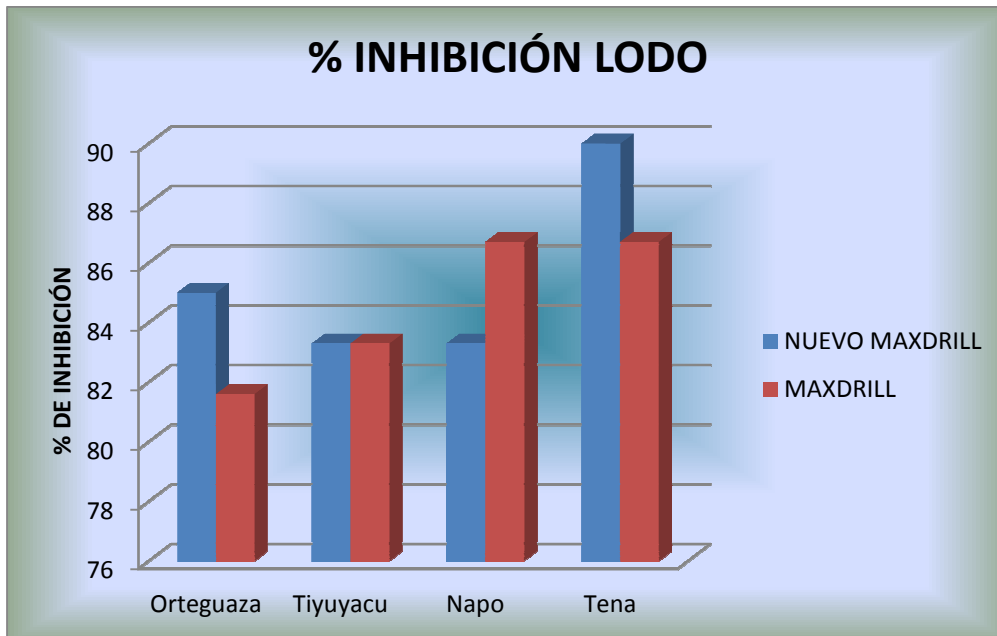
% DE INHIBICIÓN		
ANTES DE ROLAR		
FORMACIÓN	NUEVO MAXDRILL	MAXDRILL
Orteguaza	85	81,6
Tiyuyacu	83,3	83,3
Napo	83,3	86,7
Tena	90,0	86,7

FUENTE: QMAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

FIGURA 4.8

PORCENTAJE DE INHIBICIÓN DE LAS FORMACIONES CON LODO A CONDICIONES DE SUPERFICIE (ANTES DE ROLAR)



FUENTE: QMAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

Se puede observar según los datos mostrados en la tabla 4.10 que, para el Fluido Nuevo Maxdrill el porcentaje de inhibición está sobre el 83%, tomando en cuenta que las formaciones que menos inhibieron fue Tiyuyacu y Napo, lo que no ocurre con la Formación Tena que fue la que más inhibió con un 90%,

Con el Fluido Maxdrill el porcentaje de Inhibición está sobre el 81%, lo cual indica que la formación que menos inhibió es Ortegua con un 81.6%, y las formaciones que más inhibieron fue Napo y Tena con un 86.7%

Por lo tanto el resultado de esta prueba es que el Fluido Nuevo Maxdrill tiene mayor eficiencia en las formaciones Ortegua y Tena; mientras el Fluido Maxdrill en las formaciones Napo y Tena.

Los dos fluidos tienen un porcentaje similar de inhibición, aunque el Fluido Nuevo Maxdrill será el más oprimado para un exitoso proceso de perforación.

#### 4.4.2.2 Fluido Después de Rolar

Una vez que se ha metido las celdas de envejecimiento con los fluidos al horno de rolado y esperado 16 horas, se ha sacado cada uno de ellos, y registrado el pH de cada uno de los fluidos con sus respectivas muestras de formación. Cabe destacar que es importante que se registren los valores de pH antes y después del rolado a una misma temperatura y si es necesario añadir Soda Caústica (NaOH) para aumentar el potencial hidrógeno. La Tabla 4.11 muestra los valores de pH de los fluidos Maxdrill y Nuevo Maxdrill así como sus respectivas formaciones

TABLA 4.11 pH DE LOS FLUIDOS MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL DESPUÉS DE ROLAR

FORMACIÓN	DESPUÉS DE ROLAR			
	FLUIDO MAXDRILL		FLUIDO NUEVO MAXDRILL	
	pH INICIAL	pH FINAL	pH INICIAL	pH FINAL
Orteguaza	8,41	9,00	8,58	9,01
Tiyuyacu	8,52	9,01	8,56	9,03
Napo	8,53	9,02	9,00	9,04
Tena	8,62	9,01	8,65	9,02

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

Una vez estabilizado el pH se realiza la Prueba MBT según la Norma API 13B 1.

##### 4.4.2.1.2 Análisis de Resultados

A continuación se muestran los siguientes valores obtenidos de 3 lecturas que se realizaron a los 2 fluidos después del rolamiento.

TABLA 4.12

RESULTADOS OBTENIDOS DEL FLUIDO NUEVO MAXDRILL DESPUÉS DE ROLAR

		NUEVO MAXDRILL	
FORMACIÓN	LECTURA	AZUL DE METILENO (ml)	CEC (meq/100g)
ORTEGUAZA	Lectura 1	1,0	2,5
	Lectura 2	0,9	2,3
	Lectura 3	1,0	2,5
	<b>PROMEDIO</b>	<b>1,0</b>	<b>2,4</b>
TIYUYACU	Lectura 1	0,8	2,0
	Lectura 2	0,8	2,0
	Lectura 3	0,7	1,8
	<b>PROMEDIO</b>	<b>0,8</b>	<b>1,9</b>
NAPO	Lectura 1	0,8	2,0
	Lectura 2	0,7	1,8
	Lectura 3	0,8	2,0
	<b>PROMEDIO</b>	<b>0,8</b>	<b>1,9</b>
TENA	Lectura 1	0,6	1,5
	Lectura 2	0,6	1,5
	Lectura 3	0,6	1,5
	<b>PROMEDIO</b>	<b>0,6</b>	<b>1,5</b>

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

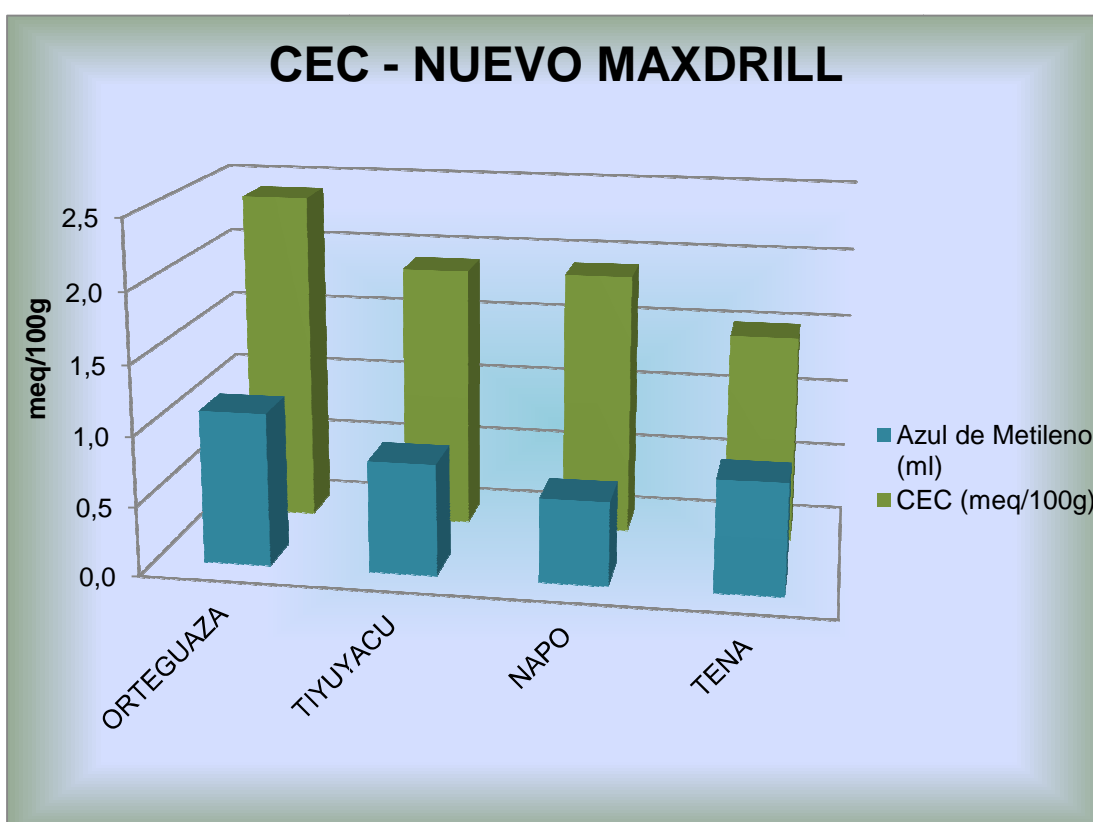
ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

Se realiza este procedimiento con el objetivo de conocer la disminución de las propiedades de inhibición del fluido, debido a que están sometidos a presiones y temperaturas extremas. Simulando de esta manera lo más próximo a la realidad bajo las condiciones de reservorio.

Se puede observar que pese a que el Fluido Nuevo Maxdrill se sometió a un proceso de envejecimiento, no se disminuyó el efecto inhibitorio en los componentes arcillosos. La formación Orteguaza sigue siendo más reactiva con un CEC de 2.4 meq/100g y la menos reactiva es la formación Tena con un CEC de 1.5 meq/100g.

FIGURA 4.9

RESULTADOS OBTENIDOS DEL FLUIDO NUEVO MAXDRILL DESPUÉS DE ROLAR

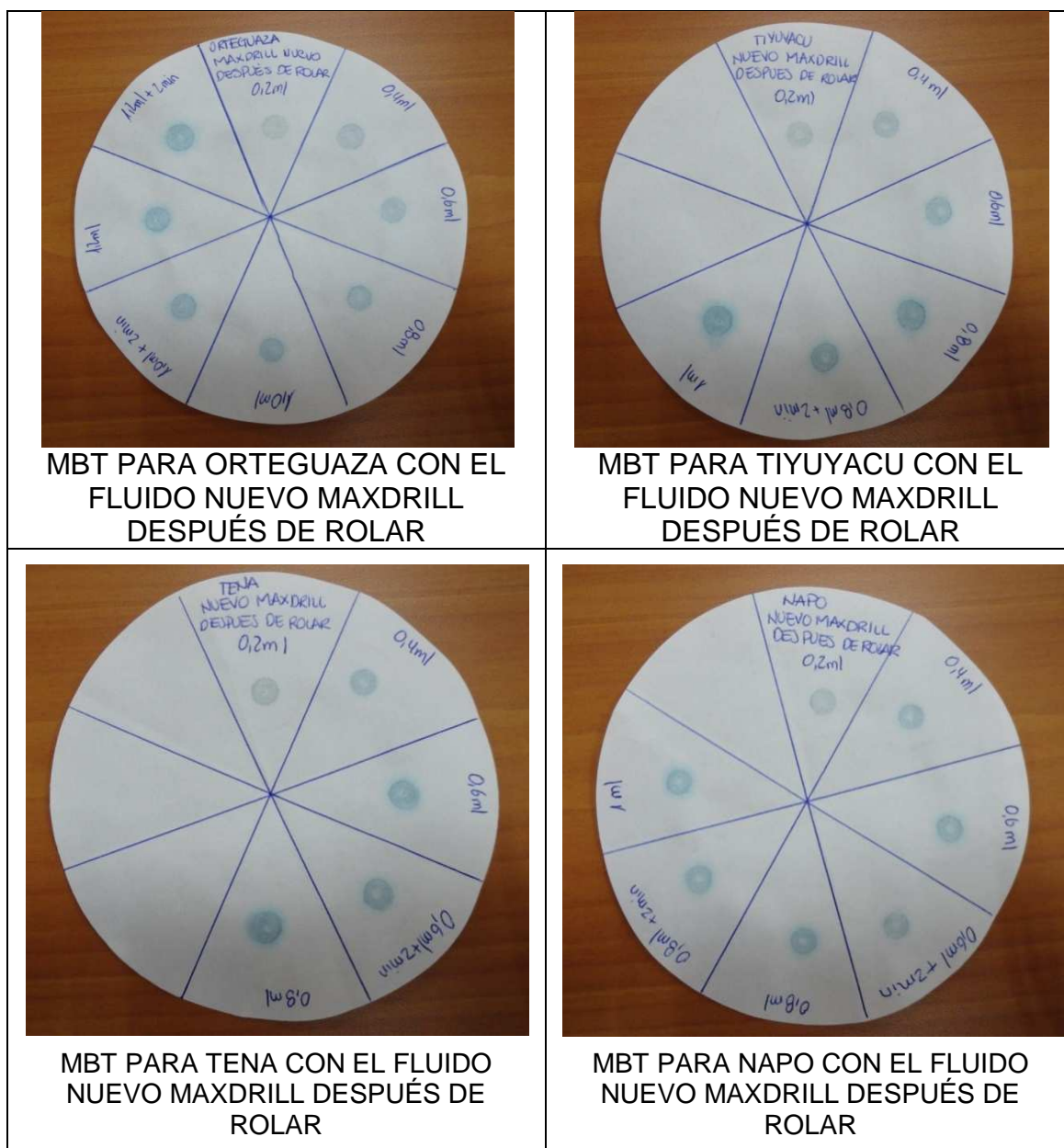


FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

TABLA 4.13

## RESULTADOS GRÁFICOS PARA LA PRUEBA MBT DEL FLUIDO MAXDRILL



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

En la Tabla 4.14 se muestran los valores obtenidos para el fluido Maxdrill, de la misma manera se realizó 3 lecturas para cada formación.

TABLA 4.14

RESULTADOS OBTENIDOS DEL FLUIDO MAXDRILL DESPUÉS DE ROLAR

		MAXDRILL	
FORMACIÓN	LECTURA	AZUL DE METILENO (ml)	CEC (meq/100g)
ORTEGUAZA	Lectura 1	1,2	3,0
	Lectura 2	1,0	2,5
	Lectura 3	1,2	3,0
	PROMEDIO	1,1	2,8
TIYUYACU	Lectura 1	0,8	2,0
	Lectura 2	0,7	1,8
	Lectura 3	0,8	2,0
	PROMEDIO	0,8	1,9
NAPO	Lectura 1	0,6	1,5
	Lectura 2	0,6	1,5
	Lectura 3	0,7	1,8
	PROMEDIO	0,6	1,6
TENA	Lectura 1	0,8	2,0
	Lectura 2	0,8	2,0
	Lectura 3	0,9	2,3
	PROMEDIO	0,8	2,1

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

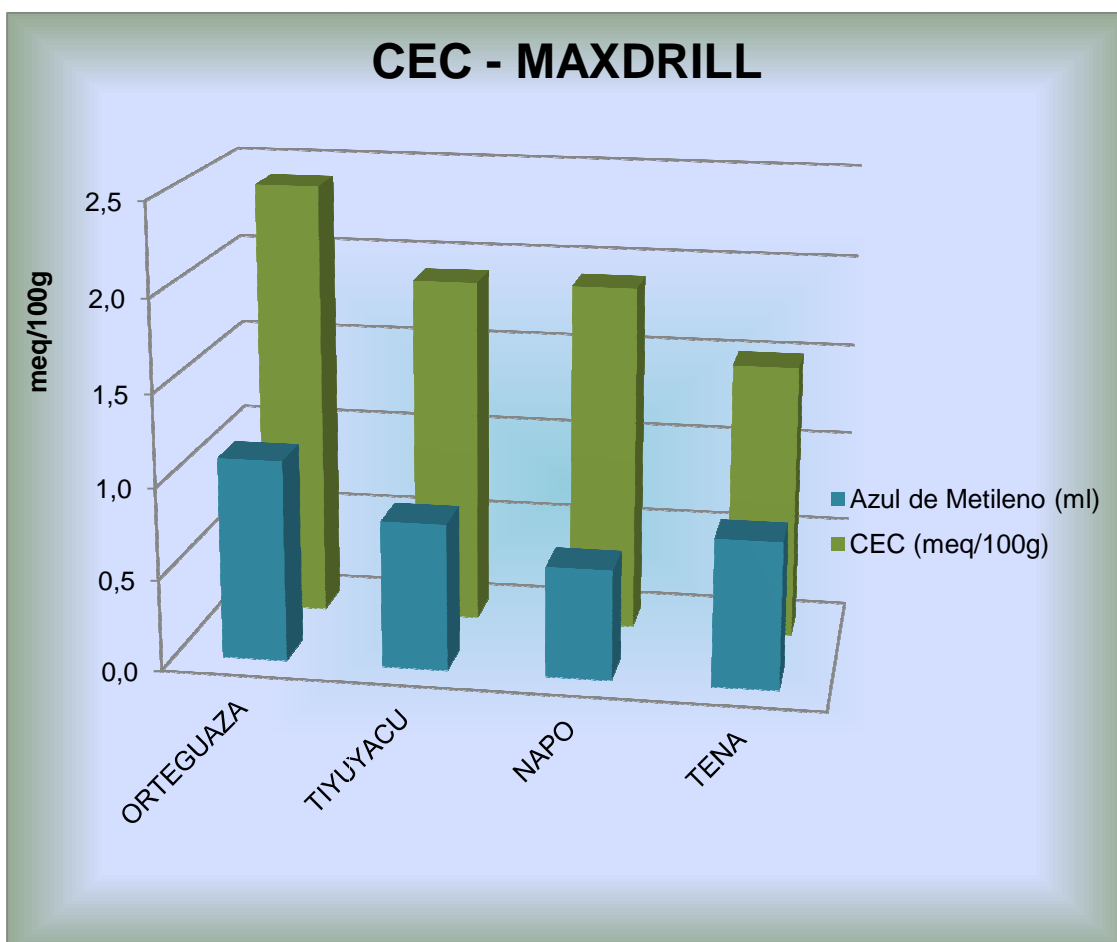


Para el Fluido Maxdrill rolado se observa que los valores no varían con respecto a los del Fluido Maxdrill sin rolar, esto nos indica que las propiedades de inhibición no disminuyeron para los componentes arcillosos.

La formación más reactiva es Ortegaza con un CEC de 2.8 meq/100g, y la formación menos reactiva es Napo con un CEC de 1.6 meq/100g.

FIGURA 4.10

RESULTADOS OBTENIDOS DEL FLUIDO MAXDRILL DESPUÉS DE ROLAR

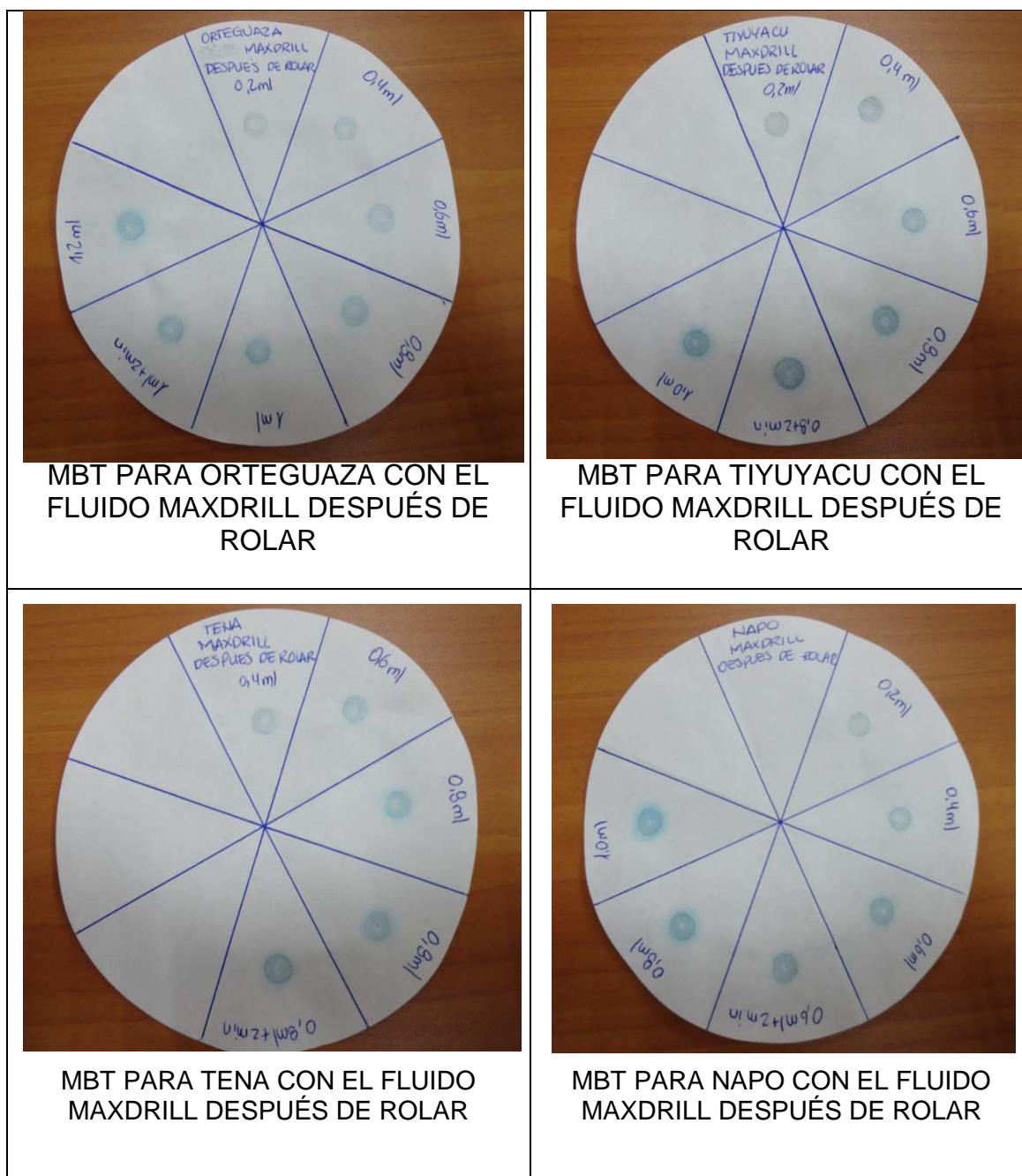


FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

TABLA 4.15

## RESULTADOS GRÁFICOS PARA LA PRUEBA MBT DEL FLUIDO MAXDRILL



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

TABLA 4.16

PORCENTAJE DE INHIBICIÓN DE LAS FORMACIONES CON LODO DESPUÉS DE ROLAR

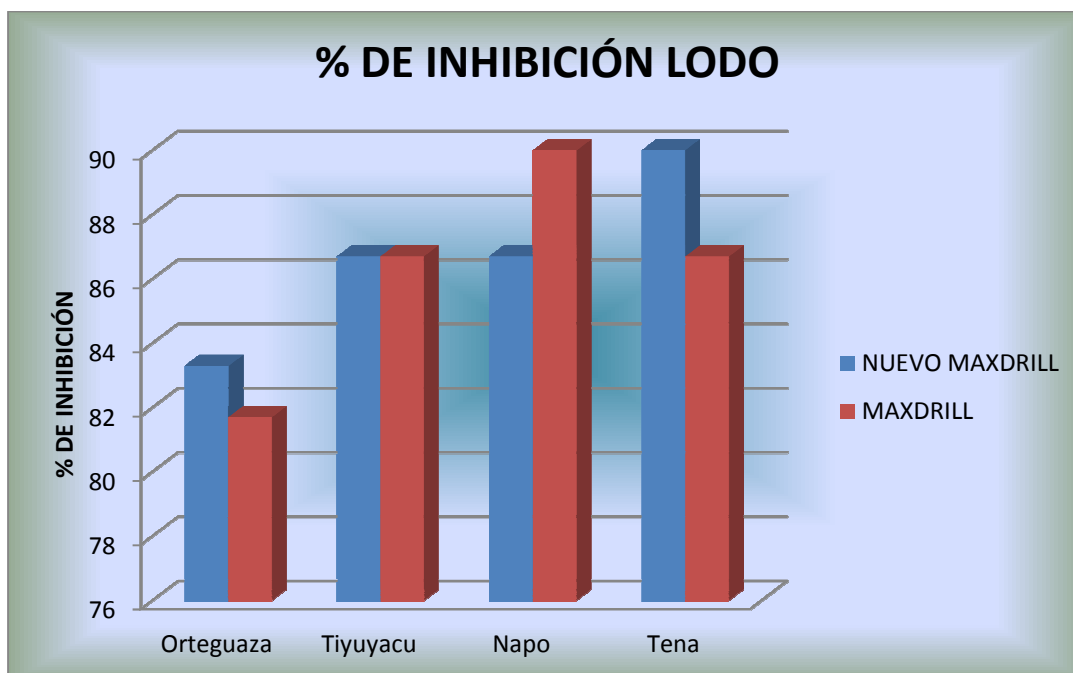
% DE INHIBICIÓN		
DESPUÉS DE ROLAR		
FORMACIÓN	NUEVO MAXDRILL	MAXDRILL
Orteguaza	83,3	81,7
Tiyuyacu	86,7	86,7
Napo	86,7	90,0
Tena	90,0	86,7

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

FIGURA 4.11

PORCENTAJE DE INHIBICIÓN DE LAS FORMACIONES CON LODO DESPUÉS DE ROLAR



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

Para el caso del lodo después de rolar se ha obtenido los siguientes valores, para el Fluido Nuevo Maxdrill el porcentaje de inhibición está sobre el 83%. La Formación Tena alcanza el 90% de inhibición mientras la formación Orteguaza su porcentaje de inhibición es del 83.3%.

Con el Fluido Maxdrill el porcentaje de inhibición está sobre el 81%. La formación Napo alcanza el 90% de inhibición mientras la formación Orteguaza tiene un porcentaje de inhibición del 81.7%.

Cabe indicar que la eficiencia de inhibición del Fluido Nuevo Maxdrill es superior al Fluido Maxdrill, lo cual indica que es un fluido que se puede utilizar en el campo sin ningún problema.

#### **4.4.3 TIEMPO DE SUCCIÓN CAPILAR (CST)**

La Prueba de Tiempo de Succión Capilar se utilizó para caracterizar lutitas y optimizar la concentración de electrolitos en los fluidos de perforación, minimizando así su efecto en las formaciones arcillosas.

El instrumento de la prueba CST mide automáticamente el tiempo para que el filtrado avance entre los electrodos separados radialmente, cuando está expuesta a un área fija de un papel especial para dicho fin.

Primero se realizó la prueba con fluido blanco (agua destilada) para observar como los componentes arcillosos reaccionan con el agua y de esta manera se hinchan y dispersan cambiando los valores de permeabilidades, por tal razón, se ha preparado dos fluidos con las concentraciones mostradas en la tabla 4.17.

La Prueba de CST muestra valores de tiempo cualitativos con los cuales se realiza netamente comparaciones entre los fluidos utilizados y las muestras de las distintas formaciones.

TABLA 4.17

## CONCENTRACIÓN DE COMPONENTE QUÍMICO

FLUIDO	MAXDRILL	GLYMAX
FLUIDO MAXDRILL	0.25 gal/bbl	1 %
FLUIDO NUEVO MAXDRILL	0.25 gal/bbl	0.3%

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

Para esto, se tomó muestras de diferentes formaciones las cuales se pulverizaron y se pasaron por una malla o tamiz No. 100, se pesó 0.5 gramos para 50 ml de fluido empezando por el fluido blanco (agua destilada) mezclando en la licuadora durante 1 minuto, inmediatamente se tomo 2ml de muestra en solución. De esta manera se realizó 3 pruebas para cada formación con los fluidos que se preparó (agua destilada, fluido Maxdrill y Fluido Nuevo Maxdrill).

Es muy importante tener en cuenta que para realizar cualquier prueba se debe tener un pH estándar para todo el estudio ya que sin esto, los datos varían considerablemente, y para mantenerlo, si el fluido utilizado no cumple con el pH deseado se adiciona Soda Cáustica.

TABLA 4.18

## RESULTADO DE pH INICIAL Y pH FINAL

FLUIDO	pH inicial	pH final
FLUIDO MAXDRILL	5.47	9.03
FLUIDO NUEVO MAXDRILL	5.40	9.04

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

#### 4.4.3.1 Orteguaza

FIGURA 4.12

PRUEBA DE CST PARA LA FORMACIÓN ORTEGUAZA CON FLUIDO BLANCO, FLUIDO MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

Para esta formación se realizó 3 repeticiones con cada uno de los fluidos antes mencionados y con ello se realizará el cálculo del efecto de inhibición para conocer si el Fluido Nuevo Maxdrill o el Fluido de Maxdrill es el más óptimo para dicho objetivo. Los tiempos obtenidos se muestran a continuación en la tabla 4.19 con las diferentes repeticiones. Una vez obtenidos los tiempos de cada repetición realizamos una gráfica en la que se observa como varía.

TABLA 4.19

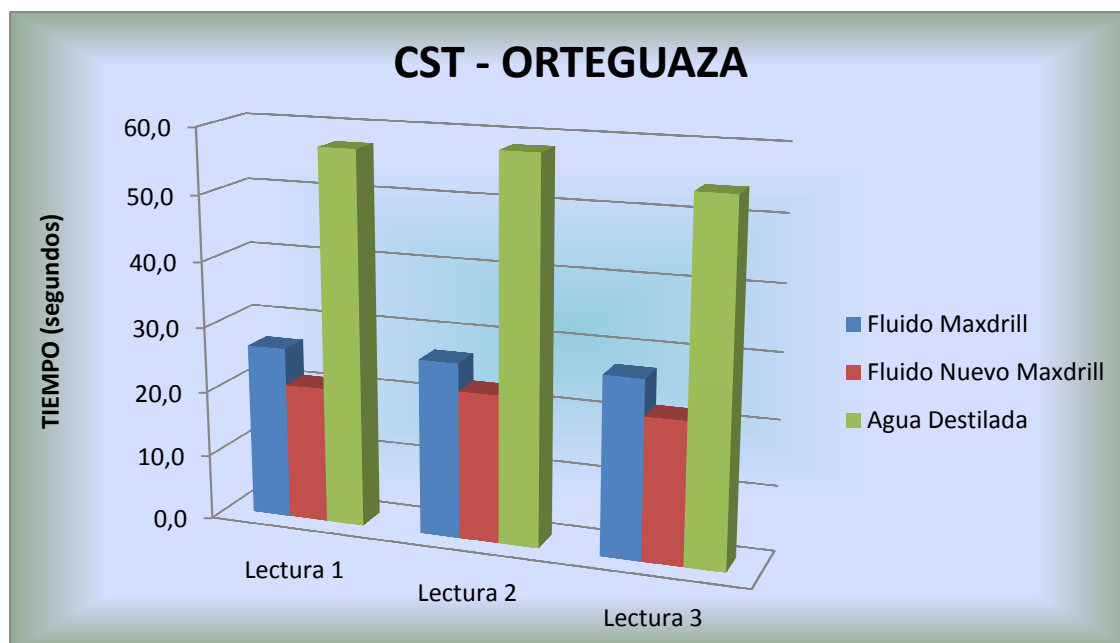
RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PARA LA FORMACIÓN ORTEGUAZA

<b>FORMACIÓN: ORTEGUAZA</b>				
<b>TIEMPO DE SUCCIÓN CAPILAR (CST)</b>				
<b>FLUIDO</b>	<b>Lectura 1</b>	<b>Lectura 2</b>	<b>Lectura 3</b>	<b>Promedio</b>
<b>FLUIDO MAXDRILL</b>	26,5	26,9	27,3	26,9
<b>FLUIDO NUEVO MAXDRILL</b>	20.9	22.7	21.8	21.8
<b>AGUA DESTILADA</b>	57.3	58.3	54.2	56.6

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

FIGURA 4.13 RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PARA ORTEGUAZA



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

#### 4.4.3.2 Tiyuyacu

FIGURA 4.14

PRUEBA DE CST PARA LA FORMACIÓN TIYUYACU CON FLUIDO BLANCO, FLUIDO MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

De igual manera se realizaron 3 repeticiones tomando como muestra la formación Tiyuyacu con lo cuál se obtuvo valores de tiempo y se calculó el promedio de ellos. A continuación se muestra en la tabla 4.20 los valores de tiempo para la formación Tiyuyacu y con ello se realizará un gráfico para conocer el efecto inhibitor.



TABLA 4.20

RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PARA LA FORMACIÓN TIYUYACU

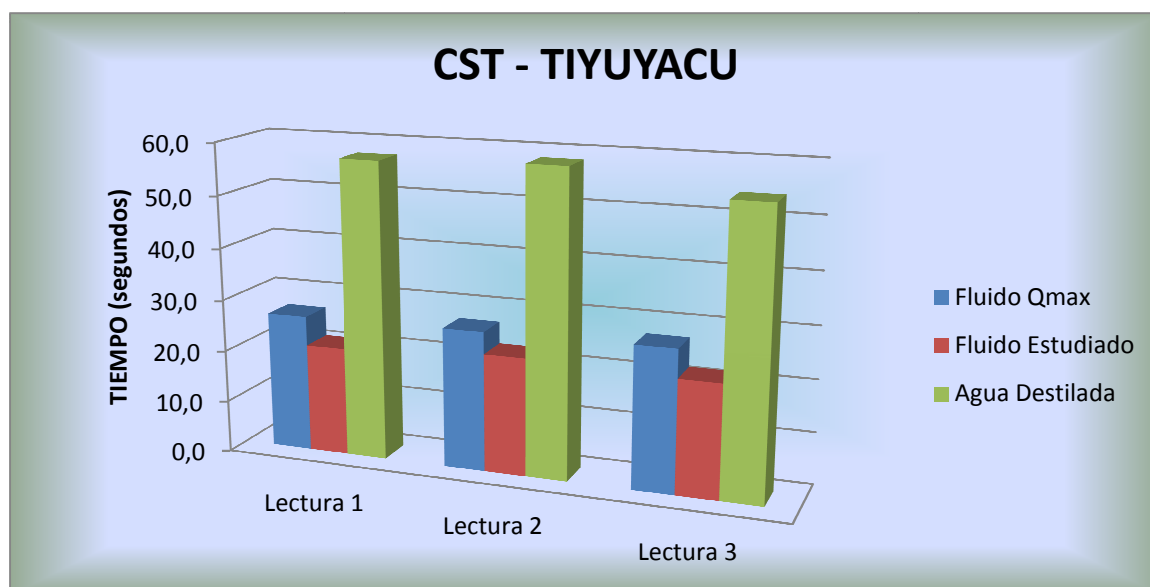
<b>FORMACIÓN: TIYUYACU</b>				
<b>TIEMPO DE SUCCIÓN CAPILAR (CST)</b>				
<b>FLUIDO</b>	<b>Lectura 1</b>	<b>Lectura 2</b>	<b>Lectura 3</b>	<b>Promedio</b>
<b>FLUIDO MAXDRILL</b>	21,2	23,9	25,3	23,5
<b>FLUIDO NUEVO MAXDRILL</b>	16,8	18,9	20,6	18,8
<b>AGUA DESTILADA</b>	82,3	83,6	84,1	83,3

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

FIGURA 4.15

RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PARA TIYUYACU



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

#### 4.4.3.3 Tena

FIGURA 4.16

PRUEBA DE CST PARA LA FORMACIÓN TENA CON FLUIDO BLANCO, FLUIDO MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

De igual manera se realizó para la formación Tena 3 repeticiones con cada fluido, para conocer el efecto inhibitor del fluido Maxdrill, o el fluido Propuesto.

Con los valores obtenidos se pudo realizar una tabla de datos para conocer el promedio de cada fluido utilizado como se muestra en la tabla 4.20

TABLA 4.21

## RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PARA LA FORMACIÓN TENA

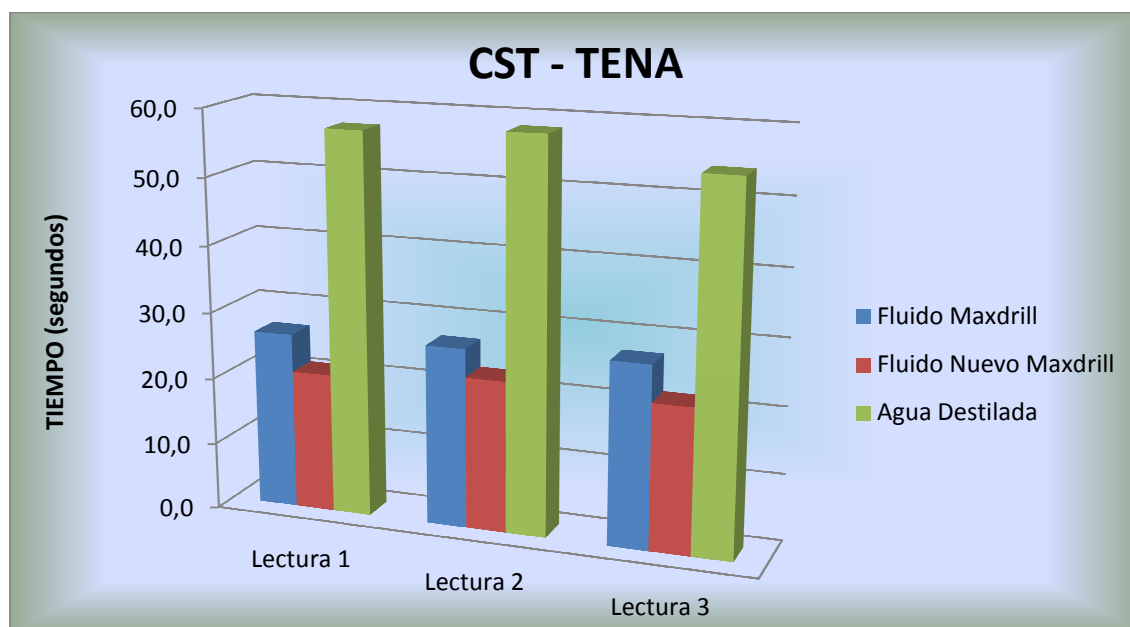
<b>FORMACIÓN: TENA</b>				
<b>TIEMPO DE SUCCIÓN CAPILAR (CST)</b>				
<b>FLUIDO</b>	<b>Lectura 1</b>	<b>Lectura 2</b>	<b>Lectura 3</b>	<b>Promedio</b>
<b>FLUIDO MAXDRILL</b>	25,3	22,9	28,1	25,4
<b>FLUIDO NUEVO MAXDRILL</b>	25,7	22,7	25,6	24,7
<b>AGUA DESTILADA</b>	81,3	79,6	83,1	81,3

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

FIGURA 4.17

## RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PARA TENA



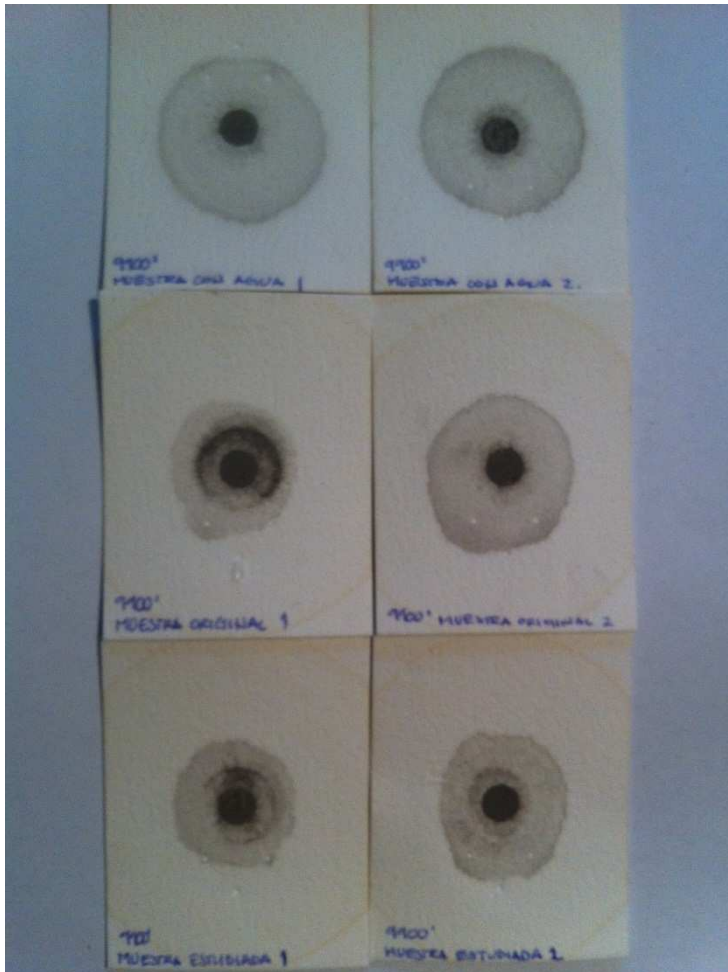
FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

#### 4.4.3.4 Napo

FIGURA 4.18

PRUEBA DE CST PARA LA FORMACIÓN NAPO CON FLUIDO BLANCO, FLUIDO MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

Para la formación Napo se realizó 3 repeticiones para conocer los valores de tiempo de succión capilar (CST) lo que nos da 3 lecturas para poder realizar la tabla con los respectivos datos de los fluidos y ver su efecto inhibitorio.

Se muestra la siguiente tabla con los datos de las lecturas que nos dio en cada repetición.

TABLA 4.22

RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PARA LA FORMACIÓN TENA

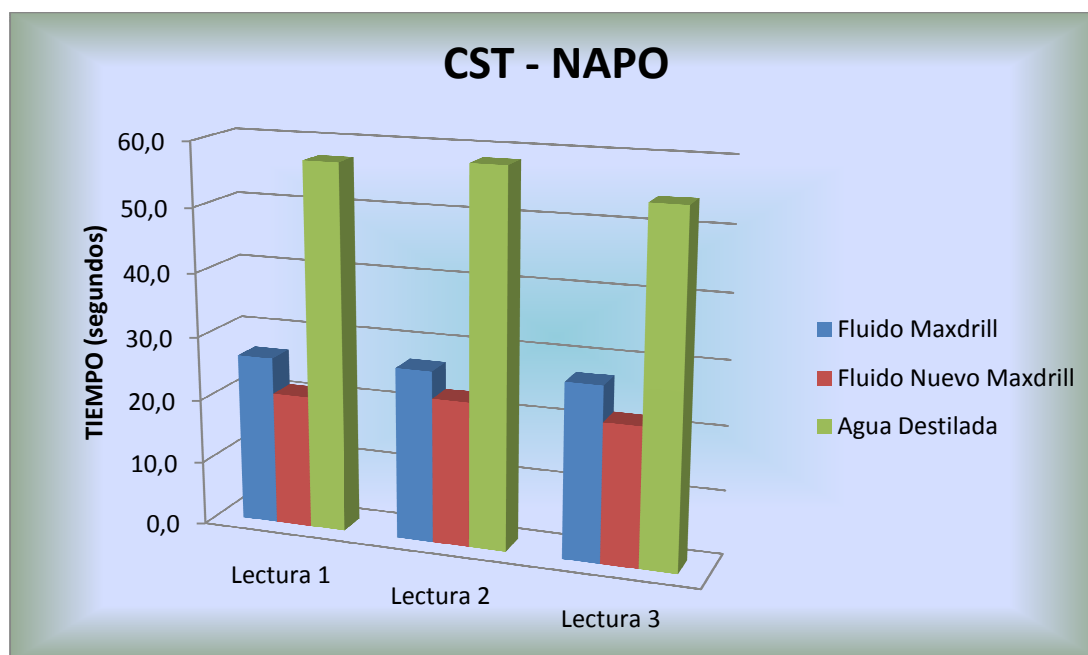
<b>FORMACIÓN: NAPO</b>				
<b>TIEMPO DE SUCCIÓN CAPILAR (CST)</b>				
<b>FLUIDO</b>	<b>Lectura 1</b>	<b>Lectura 2</b>	<b>Lectura 3</b>	<b>Promedio</b>
<b>FLUIDO MAXDRILL</b>	24,6	29,3	22,9	25,6
<b>FLUIDO NUEVO MAXDRILL</b>	25,6	26,5	30,1	27,4
<b>AGUA DESTILADA</b>	63,1	64,1	66,5	64,6

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

FIGURA 4.19

RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PARA NAPO



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

#### 4.4.3.5 Análisis de Resultados

Después de realizadas todas las pruebas se obtuvieron valores promedios del Tiempo de Succión Capilar (CST) de cada una de las formaciones tanto para el Fluido Maxdrill como para el Fluido Nuevo Maxdrill, realizamos las repeticiones con el Fluido Blanco y nos da valores altos.

Dicho fenómeno se produce debido a que el componente arcilloso se dispersa al reaccionar con el agua, mientras que en los componentes arcillosos probados con los Fluidos Maxdrill y Estudiado Nuevo Maxdrill no ocurre ese fenómeno debido a que contiene inhibidores los cuales hacen que el componente arcilloso en vez de dispersarse se flocule.

En la tabla 4.23 se presenta un esquema de resultados para cada una de las formaciones, mostrando de esta manera los cálculos y porcentajes de inhibición de cada una de las formaciones estudiadas.

TABLA 4.23

RESUMEN DE RESULTADOS DE TIEMPO DE SUCCIÓN CAPILAR (CST)

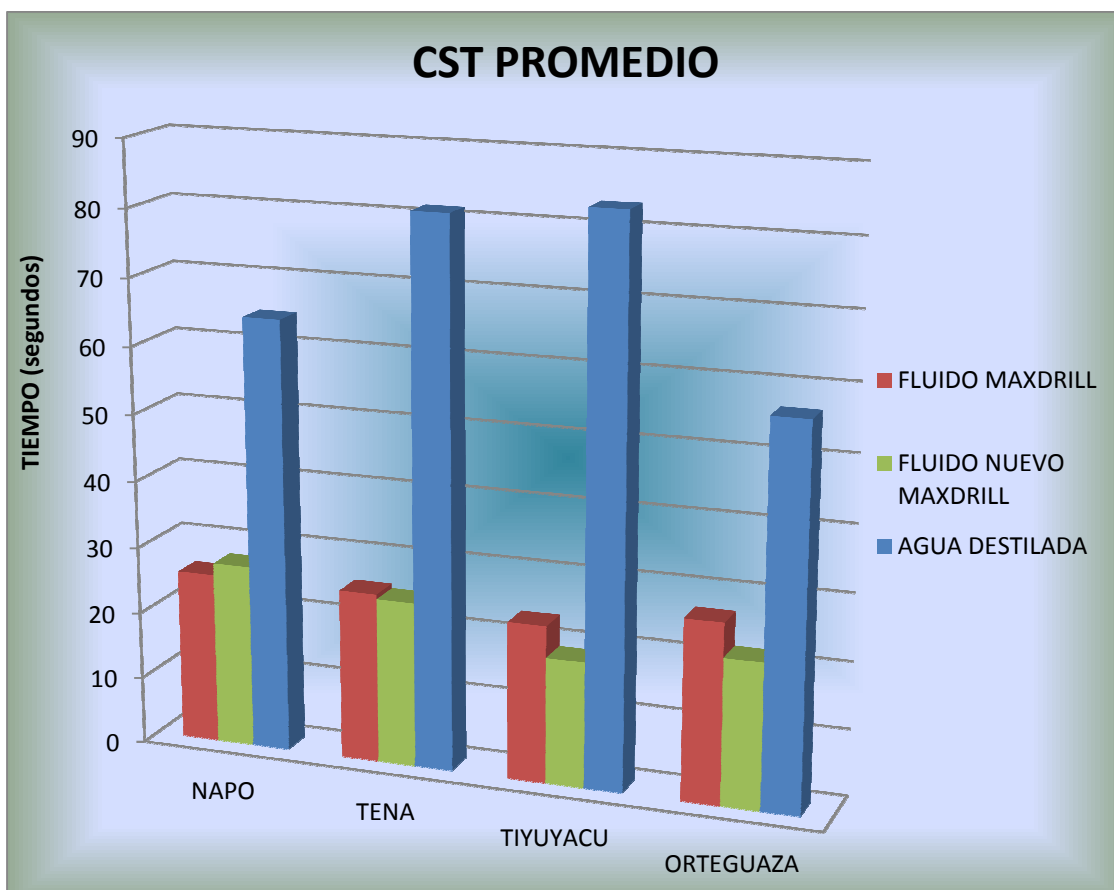
	FORMACIÓN			
	NAPO	TENA	TIYUYACU	ORTEGUAZA
<b>AGUA DESTILADA</b>	64,6	81,3	83,3	56,6
<b>FLUIDO MAXDRILL</b>	25,6	25,4	23,5	26,9
<b>FLUIDO NUEVO MAXDRILL</b>	27,4	24,7	18,8	21,8
<b>% INHIBICIÓN MAXDRILL</b>	60,4	68,8	71,8	52,5
<b>% INHIBICIÓN NUEVO MAXDRILL</b>	57,6	69,6	77,4	61,5

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

FIGURA 4.20

RESULTADOS DE LA PRUEBA CST PROMEDIO PARA TODAS LAS FORMACIONES



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

Como se puede observar los valores promedios de cada formación estudiada, para el Fluido Blanco (Agua Destilada) se obtuvo tiempos altos para Tiyuyacu y Tena de 83.3 y 81.3 segundos respectivamente, lo cual, no ocurre que las dos formaciones restantes, es el caso de Napo con 64.6 segundos y Ortegaza con 56.6 segundos.

Este es un indicativo de que las formaciones contienen componentes arcillosos muy reactivos cuando está en contacto con el agua.

Lo que podemos concluir que a mayor tiempo de succión capilar las partículas se dispersan, bajan la permeabilidad del revoque, caso contrario a valores bajos de tiempo de succión capilar las partículas se floculan y nos da altos valores de permeabilidad del revoque, en el caso de la Formación Tiyuyacu las partículas se dispersan con relación a las otras formaciones.

A pesar que en la Formación Orteguzza el nivel de dispersión es mayor que el de floculación por un pequeño porcentaje pero esto es suficiente para que existan problemas de inestabilidad en el pozo, lo cual hay que tener la misma importancia para cada formación, ya que sus características, componentes arcillosos y reactividad varían.

Para el Fluido Maxdrill podemos decir que la Formación más reactiva es Orteguzza con 26.9 segundos registrado en la Prueba de CST y tiene mayor efecto inhibitorio que en la Formación Tiyuyacu con 23.5 segundos.

Los valores obtenidos para cada formación con el Fluido Maxdrill fluctúan en un rango de 23 a 27 segundos.

Los valores con el Fluido Nuevo Maxdrill respecto al Fluido Maxdrill no están muy lejanos:

- Formación Napo es de 27.4 segundos
- Tena 24.7 segundo
- Orteguzza 21.8 segundos
- Tiyuyacu 18.8 segundos.

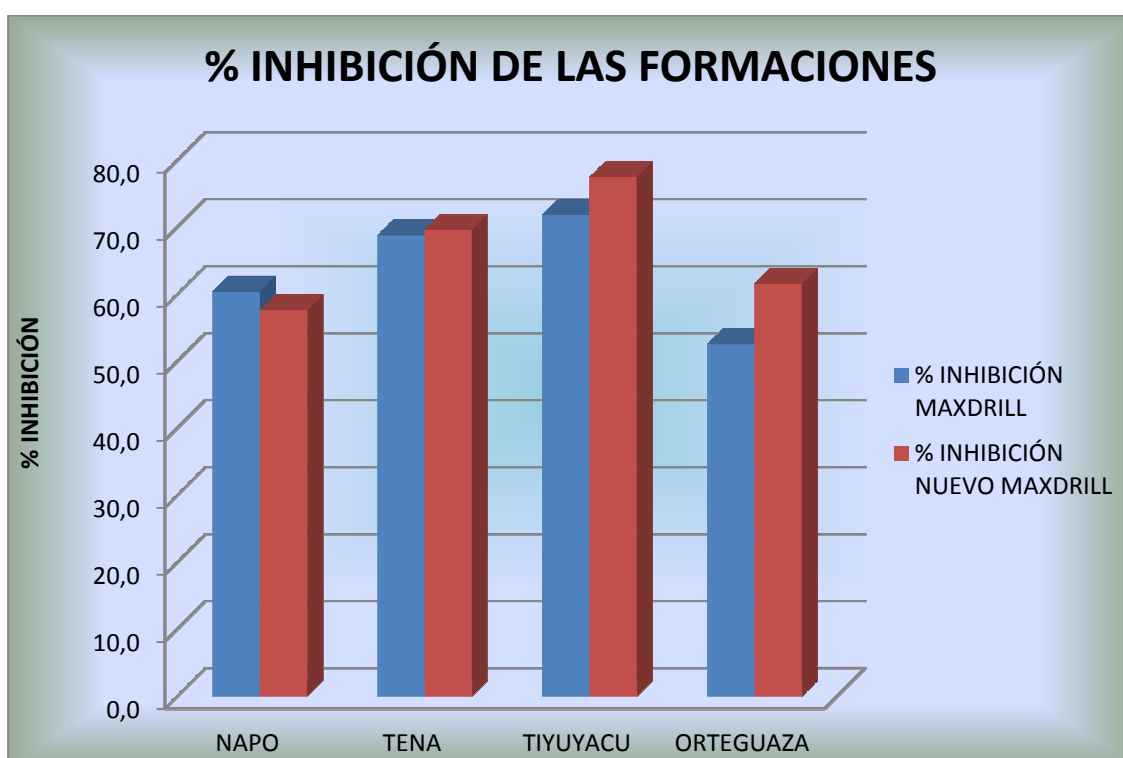
Pudiendo concluir así que entre más grande el tiempo registrado más alto es el potencial de hinchamiento, es por eso que, con el Nuevo Maxdrill y el fluido de Maxdrill los tiempos registrados no son altos por lo tanto el potencial de hinchamiento tampoco es alto.



Para saber el porcentaje de inhibición dado por el Fluido Maxdrill y el Fluido Nuevo Maxdrill para cada formación se presenta en la figura 4.21

FIGURA 4.21

PORCENTAJE DE INHIBICIÓN DEL FLUIDO MAXDRILL Y FLUIDO NUEVO MAXDRILL PARA LAS FORMACIONES NAPO, TENA, TIYUYACU, Y ORTEGUAZA



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

Como podemos observar la Formación Orteguzaza en solución con el Fluido Maxdrill tiene un menor porcentaje de inhibición por que no contiene componentes arcillosos muy reactivos respecto al Fluido Estudiado con una variación del 9%.

Para el caso del porcentaje de inhibición respecto al Fluido Nuevo Maxdrill, la formación Napo tiene un menor porcentaje de inhibición respecto a las otras Formaciones.

#### **4.4.4 DISPERSIÓN**

En esta prueba vamos a evaluar la cantidad de sedimentos que se dispersan al estar en contacto con el fluido de perforación, bajo condiciones simuladas en el fondo del pozo, para lo cual, con los dos fluidos (Maxdrill y Nuevo Maxdrill) estudiaremos el fluido más compatible con las formaciones utilizadas para saber que fluido es más óptimo.

Para ello se ha utilizado los componentes del Fluido Maxdrill y del Fluido Nuevo Maxdrill, preparados en un volumen de 350 ml con 3 g de muestra, lo cual se realizó 3 repeticiones de cada formación tanto para el Fluido Maxdrill como para el Fluido Nuevo Maxdrill

##### **4.4.4.1 Preparación de las muestras**

Para esta prueba se necesitó tamizar a las muestras por una malla No. 10, pero que no atravesara por una malla No. 20. Y con ello se pesó 3 gramos de cada formación (Orteguaza, Tiyuyacu, Napo y Tena). Se colocó cada muestra en las celdas de rolado con 350 ml de fluido, se cerró las celdas y se introdujo en el horno de rolado para iniciar el proceso de envejecimiento durante 16 horas a 150°F.

Después de las 16 horas, se apaga el horno de rolado, con mucho cuidado se sacan y se abren las celdas para obtener las muestras con la menor cantidad de fluido. Se coloca las muestras en unas placas de petri para secarlas en el horno a 105°C durante 2 horas aproximadamente.

Una vez secas las muestras se tamizan en una malla No. 10 y se obtiene el resultado esperado, lo cual, procedemos a pesar la muestra para realizar los cálculos respectivos. De esta manera realizamos el mismo procedimiento con las muestras del fluido Maxdrill y del Fluido Nuevo Maxdrill. Obteniendo los siguientes resultados:

TABLA 4.24

RESULTADOS DE DISPERSIÓN PARA LAS FORMACIONES CON FLUIDO MAXDRILL

FLUIDO MAXDRILL			
FORMACIÓN	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	%DISPERSIÓN
ORTEGUAZA	3,0076	2,8970	3,7
TIYUYACU	3,0084	2,9230	2,8
NAPO	3,0028	2,9020	3,4
TENA	3,0028	2,9563	1,5

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

FIGURA 4.22

MUESTRAS DESPUÉS LA PRUEBA DE DISPERSIÓN CON EL FLUIDO MAXDRILL



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

TABLA 4.25

RESULTADOS DE DISPERSIÓN PARA LAS FORMACIONES CON FLUIDO NUEVO MAXDRILL

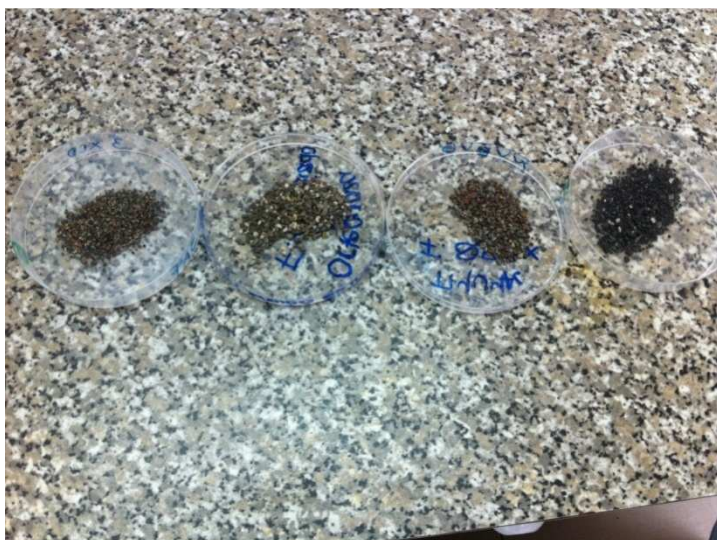
FLUIDO NUEVO MAXDRILL			
FORMACIÓN	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	%DISPERSIÓN
ORTEGUAZA	3,0052	2,9000	3,5
TIYUYACU	3,0001	2,9360	2,1
NAPO	3,0021	2,9252	2,6
TENA	3,0019	2,9786	0,8

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

FIGURA 4.23

MUESTRAS DESPUÉS LA PRUEBA DE DISPERSIÓN CON EL FLUIDO NUEVO MAXDRILL

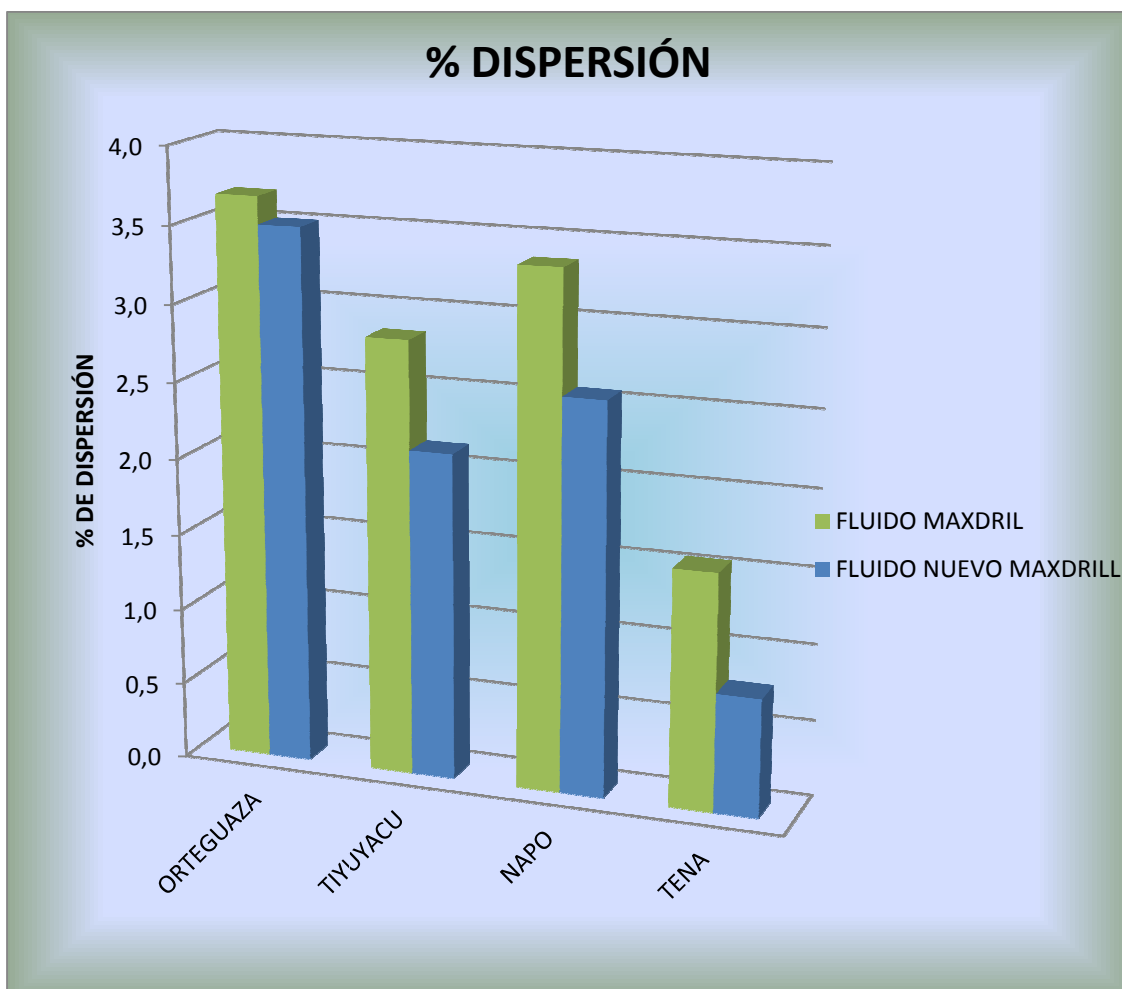


FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

FIGURA 4.24

PORCENTAJE DE DISPERSIÓN DE LAS FORMACIONES ESTUDIADAS CON EL FLUIDO MAXDRILL Y FLUIDO NUEVO MAXDRILL



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

#### 4.4.4.2 Análisis de Resultados

La Formación Orteguaza es la más reactiva, por lo tanto, esta formación causa inestabilidad en el pozo, problemas en la tubería, derrumbes, entre otros. La formación Tena es la que menor se dispersa con un porcentaje de 1.5% fluido Maxdril y 0.8% fluido Nuevo Maxdril.

Como se puede concluir esta prueba se usa para medir el efecto dispersante que los fluidos utilizados tendrán sobre cada formación.

La figura 4.20 muestra los resultados de la prueba y se obtienen en porcentaje de erosión o dispersión.

Es el caso de la formación Napo que tiene un porcentaje de 4% lo cual nos indica que no se erosiona en el fluido tanto Maxdrill como el fluido Nuevo Maxdrill, lo que no ocurre con las otras formaciones que tienen un porcentaje de erosión mayor al 5%.

Esta prueba también nos da una noción de la calidad y eficiencia de los encapsuladores ya que evalúa que tan bueno es el fluido con relación a las lutitas y como se comporta este en el campo debido a que la prueba no es más que una simulación real del rendimiento del fluido en el campo por el proceso de rolado de 16 horas a 150°F.

#### **4.4.5 HINCHAMIENTO LINEAL**

Esta prueba consiste en examinar la interacción entre los fluidos y las formaciones que contienen arcillas reactivas en condiciones simuladas mientras el fluido está en movimiento.

##### **4.4.5.1 Procedimiento**

Después del tratamiento que se realizó a cada una de las muestras, se procedió a pulverizar hasta que pase por un tamiz N° 200.

Posteriormente se fabrica las pastillas aplicando una presión de 8000 psi por un periodo de 30 minutos para lograr la compactación requerida.

Después de tener las pastillas, estas fueron colocadas dentro de las celdas del equipo de Hinchamiento Lineal y puestas en contacto con cada uno de los fluidos a evaluar hasta que la Curva de Porcentaje de Hinchamiento vs.

Tiempo mostrará un valor constante. La tabla 4.26 muestra el porcentaje de hinchamiento de cada formación con su respectivo fluido.

TABLA 4.26

RESULTADOS EN PORCENTAJE DE HINCHAMIENTO

MUESTRAS Q-MAX	PORCENTAJE DE HINCHAMIENTO	
	FLUIDO Q-MAX	FLUIDO NUEVO Q-MAX
NAPO (10370 FT)	3,16	6,78
ORTEGUAZA (6000-6060 FT)	11,73	9,1
TIYUYACU (6330-6360 FT)	21,4	22,4
TENA (7880-7920 FT)	19,45	17,4

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza (Q-MAX COLOMBIA)

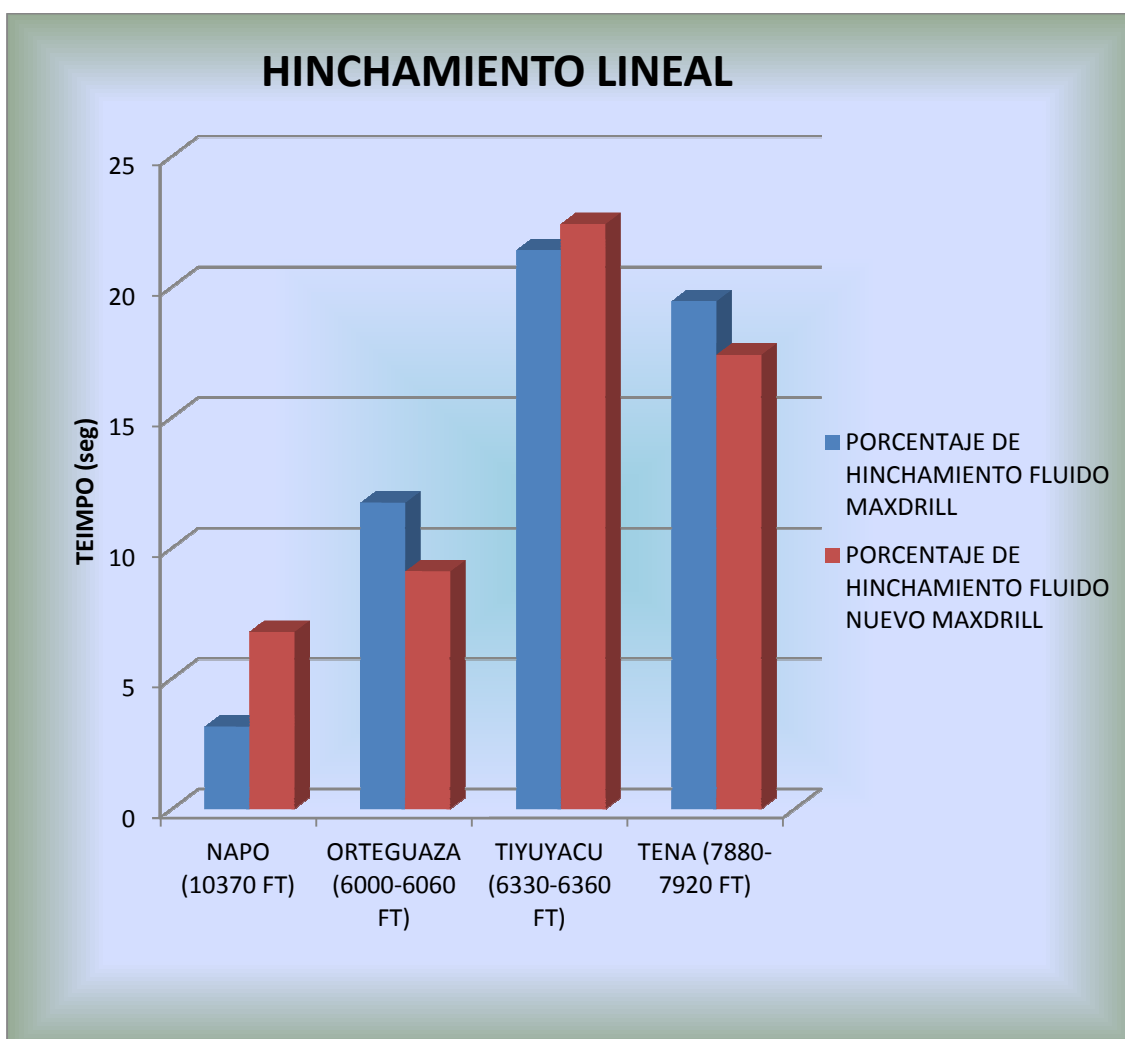
Se puede observar que existe un porcentaje de hinchamiento mayor para la Formación Napo y Tiyuyacu usando el Fluido Nuevo Maxdrill con respecto al Fluido Maxdrill; y para las Formaciones Orteguaza y Tena existe un mayor porcentaje de Hinchamiento usando el Fluido Maxdrill con relación al Fluido Nuevo Maxdrill.

Los resultados de la prueba realizada de Hinchamiento Lineal presentado en la tabla 4.24 muestra que los valores son similares ya que las escalas son tan

pequeñas de hinchamiento que su comportamiento es similar tanto para el Fluido Maxdrill y Nuevo Maxdrill.

FIGURA 4.25

PORCENTAJE DE HINCHAMIENTO LINEAL DE LAS FORMACIONES ESTUDIADAS CON EL FLUIDO MAXDRILL Y FLUIDO NUEVO MAXDRILL



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

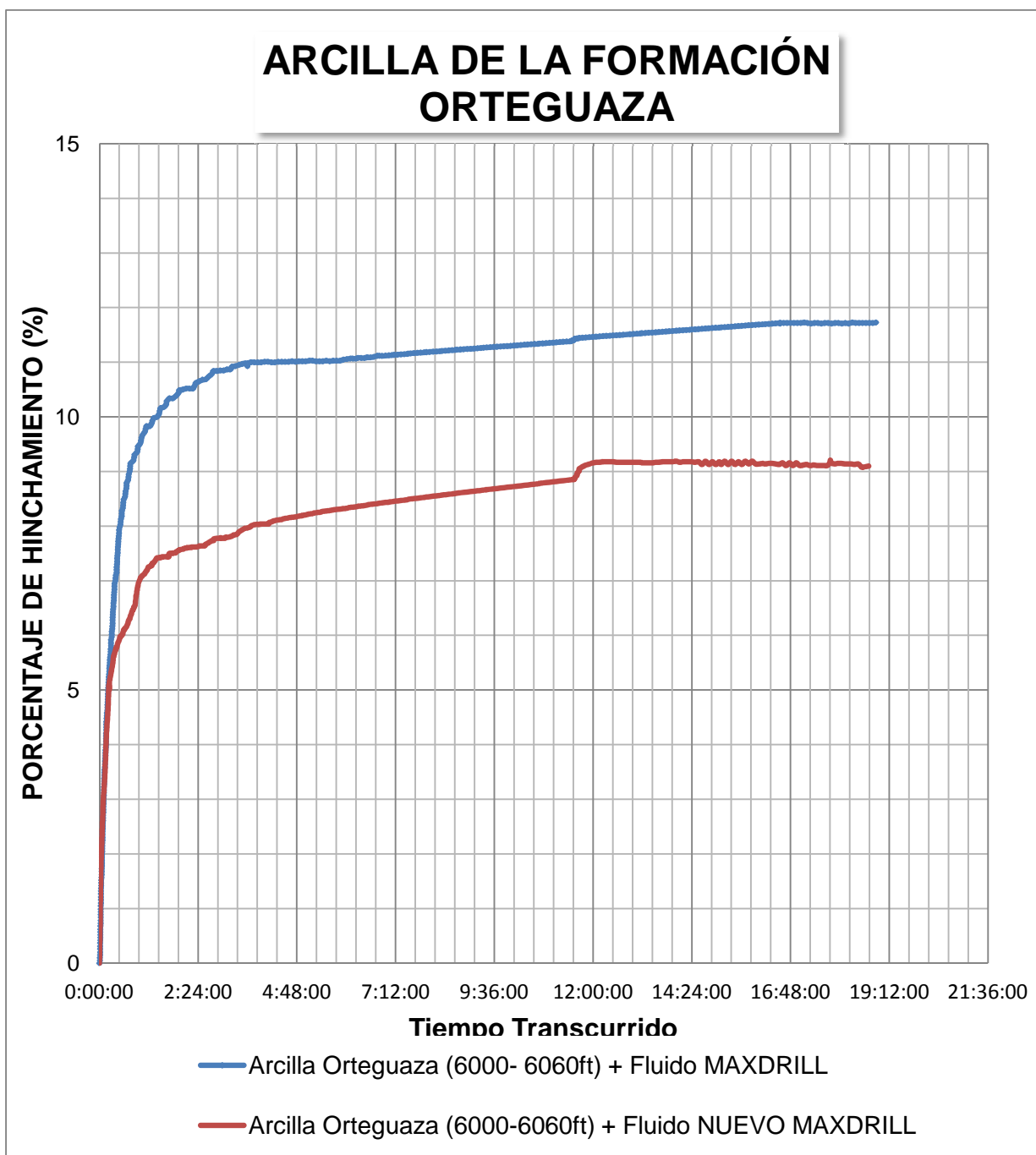
ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza (Q-MAX COLOMBIA)

Las siguientes gráficas muestran el comportamiento de Hinchamiento de cada Formación con los dos Fluidos utilizados en este estudio.



FIGURA 4.26

GRAFICA COMPARATIVA ENTRE EL FLUIDO MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL PARA LA FORMACIÓN ORTEGUAZA

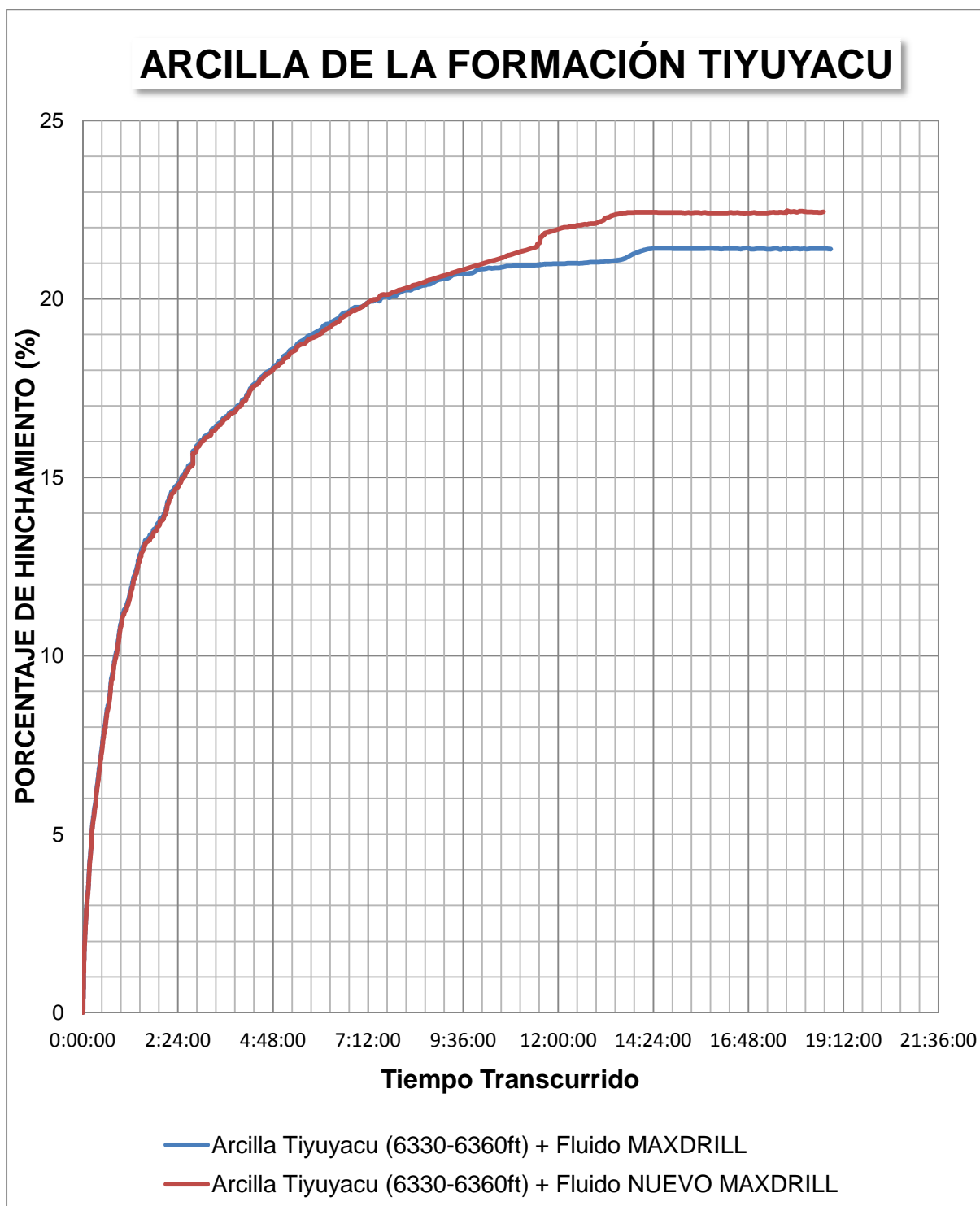


FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza (Q-MAX COLOMBIA)

FIGURA 4.27

GRAFICA COMPARATIVA ENTRE EL FLUIDO MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL PARA LA FORMACIÓN TIYUYACU

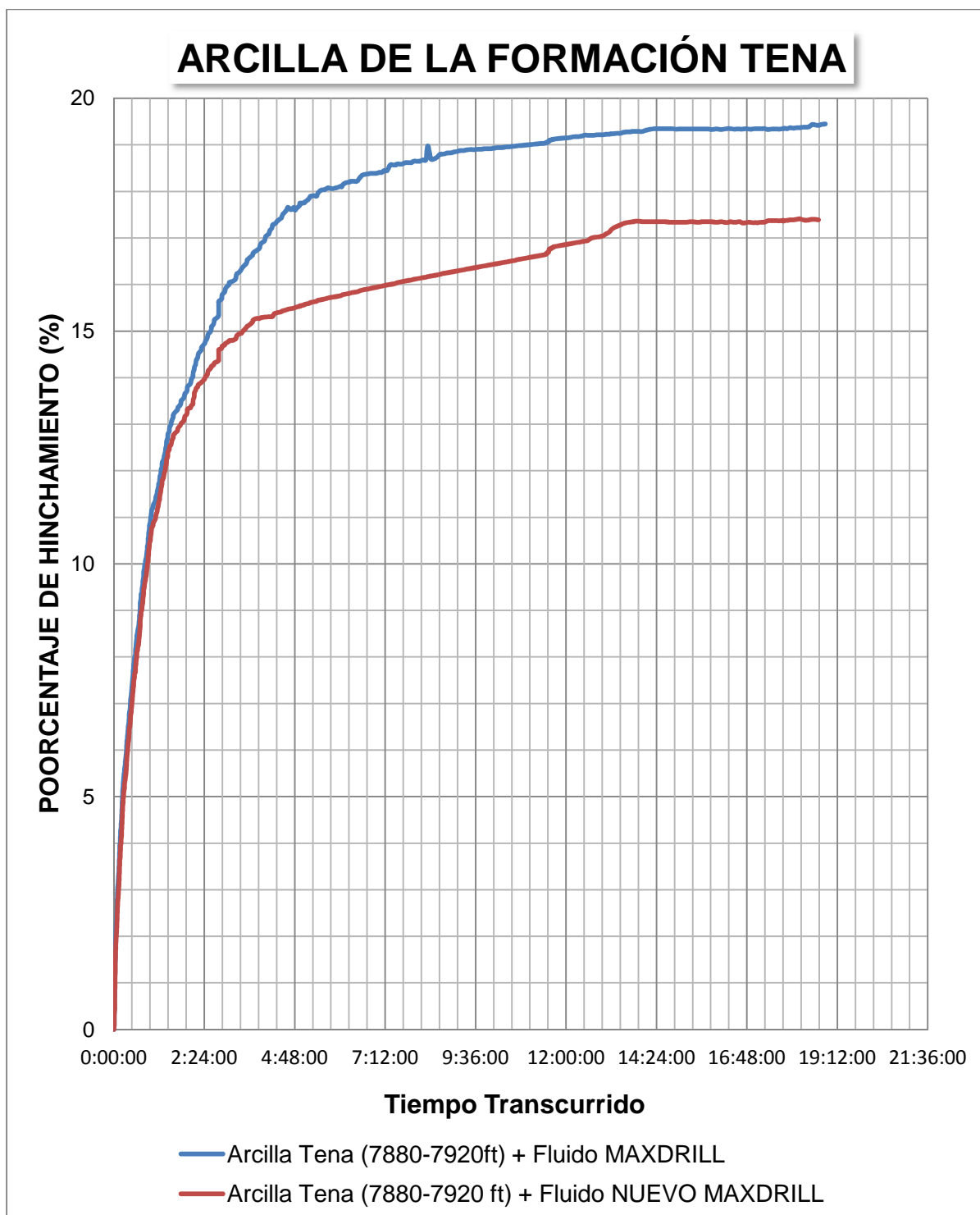


FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza (Q-MAX COLOMBIA)

FIGURA 4.28

GRAFICA COMPARATIVA ENTRE EL FLUIDO MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL PARA LA FORMACIÓN TENA

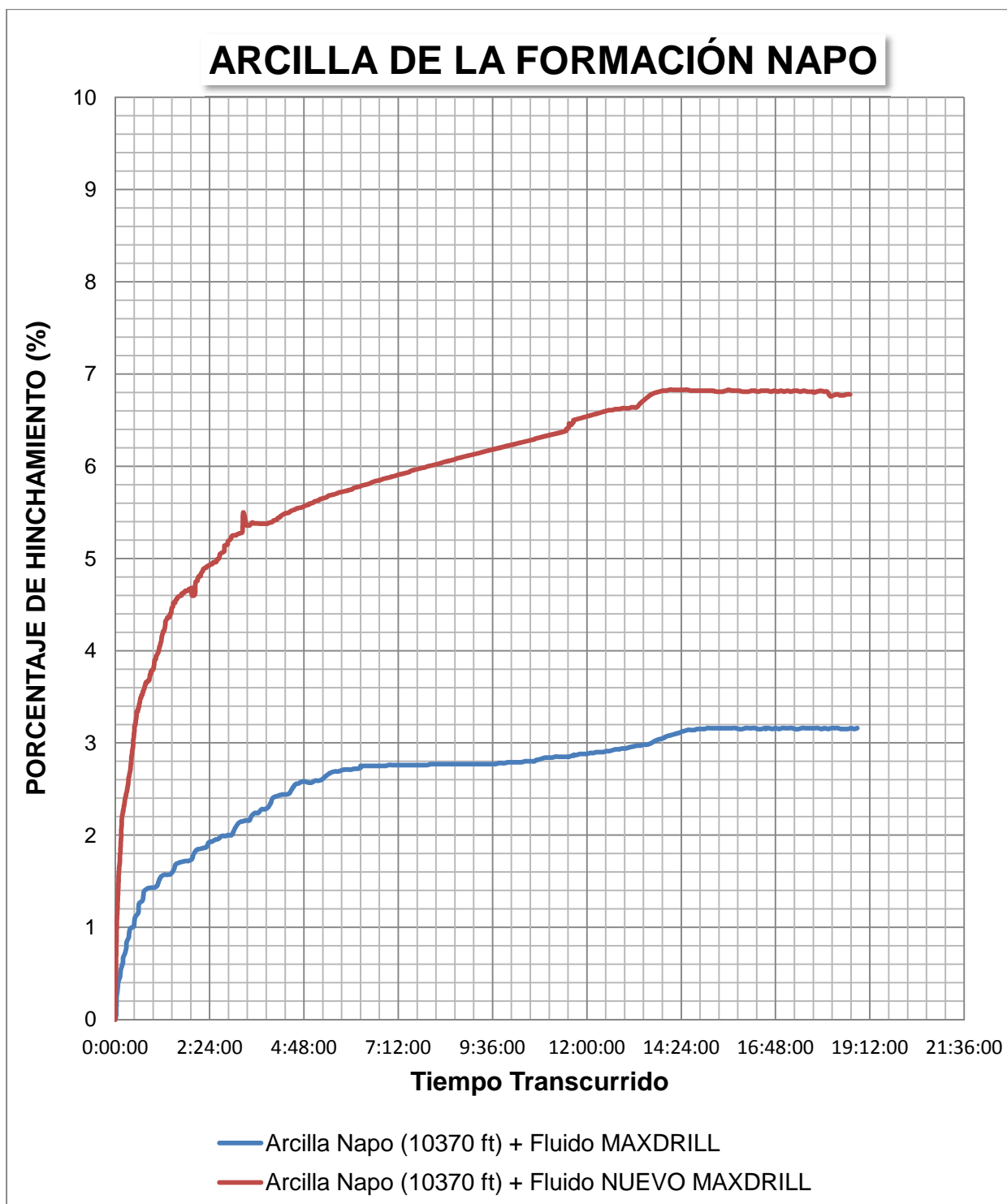


FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza (Q-MAX COLOMBIA)

FIGURA 4.29

GRAFICA COMPARATIVA ENTRE EL FLUIDO MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL PARA LA FORMACIÓN NAPO



FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza (Q-MAX COLOMBIA)

## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- En las formaciones de la cuenca oriente de nuestro país las arcillas constituyen más del 75% de formación taladrada y causa más del 90% de problemas en la inestabilidad de los pozos a causa del hinchamiento de las lutitas, por tanto es de vital importancia para asegurar una operación de perforación satisfactoria que el diseño del fluido, que para esta sección es el fluido MAXDRILL y NUEVO MAXDRILL, tenga la correcta formulación y mas allá, que se muestre con análisis de laboratorio y de campo la efectividad que estos tienen en cuanto a la inhibición de las formaciones reactivas.
- Los problemas de estabilización de las lutitas ocurren de la siguiente manera: Cuando la esmectita está presente, el intercambio de Potasio por Sodio y Calcio crea una estructura más estable y menos hidratable. En cambio; con las ilitas, el ion Potasio reemplaza cualquier ion intercambiable (impureza) en la estructura y expone toda la lutita al ambiente del mismo ion aglomerante que mantiene a la ilita unida.
- La utilización de Glymax (Glicol de polietileno) en el diseño del Sistema MAXDRILL y NUEVO MAXDRILL beneficia en el incremento de la ROP, además de proveer un alto grado de inhibición de lutitas, estabilidad de la pared del pozo a través de adsorción química, micro-emulsión y taponamiento de poros inestables y controlar la pérdida del fluido y el embolamiento de la broca.
- De igual manera, la utilización de Maxdrill (Amina orgánica non-volátil en el agua) en el diseño del Sistema de fluido permite una total inhibición de las arcillas para formaciones sensibles al agua. Ya que posee un

fácil intercambio iónico que permite la substitución fácil en los sitios del intercambio el ion de sodio, que permite la hidratación del agua.

- Para la prueba de CST, a mayor CST las partículas se dispersan, por lo tanto baja la permeabilidad del revoque, caso contrario se floculan, y se tienen alta permeabilidad. Para la formación Orteguzza se tiene 26.9 seg con el Fluido Maxdrill, mientras con el Fluido Nuevo Maxdrill, la formación Napo es la mayor con 27.4 seg. La formación con mayor porcentaje de inhibición es Orteguzza para ambos fluidos.
- Para que los componentes del Sistema MAXDRILL Y NUEVO MAXDRILL tengan un óptimo desempeño en la perforación de la sección intermedia es necesario que el lodo sea alcalino (pH de 9 – 9.5) evitando así que el sistema se corroa y se pierdan sus propiedades.
- El Sistema NUEVO MAXDRILL presenta ventajas frente al sistema MAXDRILL mostrando en promedio una mayor capacidad de inhibición de componentes arcillosos y de control de lutitas, específicamente la prueba que mas muestra la inhibición que es la prueba de MBT nos indica que para el lodo MAXDRILL presenta un porcentaje de inhibición del 84.57% y 85.033% antes y después de rolar respectivamente, mientras que para el lodo NUEVO MAXDRILL el porcentaje de inhibición es de 85.4% y 86.68% antes y después de rolar respectivamente. Demostrando de esta manera que el sistema desarrollado conserva sus propiedades aun luego del envejecimiento. Además, que de acuerdo al análisis económico realizado el Fluido NUEVO MAXDRILL presenta un disminución de costos del 11.32% frente al sistema actual.
- En la realización del fluido NUEVO MAXDRILL se comprueba que la sinergia de los componentes que actúan en la inhibición de las formaciones reactivas se cumple, ya que con una menor concentración de Glymax se produce un mejor desempeño del lodo.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Al realizar el análisis del efecto inhibitorio del fluido MAXDRILL en las formaciones arcillosas del campo Palo Azul de la Cuenca Oriente de nuestro País se determina que cualquier variación en la exposición de las mismas al agua al momento de la recolección y enfundado hará que varíen las propiedades de los componentes arcillosos. Por tanto, es de suma importancia que a las muestras no se las exponga a ser hidratadas ni en la recolección ni en el lavado ya que dicha hidratación variará en los resultados de las pruebas experimentales. Es importante además, que en el momento de la recolección se retire el exceso de lodo de las muestras y se las depositen en fundas de polipropileno marcadas con las profundidades a fin que se conserven sus propiedades litológicas en los análisis.
- En todas las pruebas para determinar la capacidad de inhibición de los sistemas estudiados es importante que se muestre la repetitividad en los resultados de las mismas (estándar Q-MAX mínimo 3 repeticiones), ya que de esta manera podemos corroborar que las pruebas se realizaron de una manera correcta y que los agentes inhibidores tienen un óptimo funcionamiento.
- Es importante realizar las pruebas después de rolar ya que de esta manera se puede conocer si los componentes inhibidores cambian bruscamente su comportamiento a medida que se simulan las condiciones de yacimiento utilizando el horno de rolado. Este envejecimiento, es importante, ya que permite demostrar que la durabilidad de nuestro fluido es apropiada para su recirculación.

- Todos los reactivos utilizados en la elaboración del sistema deben venir del mismo lote, asegurando así, que no variarán los resultados de las lecturas.
- Es de vital importancia que las concentraciones de cada sistema sean pesados o medidos con exactitud y también que al momento de mezclar sea por una hora respetando el orden de agregación para que los componentes se combinen de una manera adecuada.
- Para la recolección de muestras en el taladro y para la realización de cualquier prueba en el laboratorio se debe utilizar el equipo de protección personal (EPP) en todo momento, evitando de esta manera accidentes al trabajar con químicos peligrosos.
- Para el diseño del lodo de perforación es importante tener presente el estudio de Geomecánica para el pozo, asegurándonos de esta manera de no exceder los valores permisibles del peso del fluido. Además que para la sección intermedia y específicamente, para el sistema MAXDRILL y NUEVO MAXDRILL el peso del lodo no es un valor significativo que afecte de sobremanera en los resultados de las pruebas.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Petroleum Institute. (1997). Recommended Practice Standard Procedure for Field Testing Water – Based Drilling Fluids API 13B1 2nd Edition. Washington.
- American Petroleum Institute. (1998). Recommended Practice Standard Procedure for Field Testing Water – Based Drilling Fluids API 13B2 3th Edition. Washington
- American Petroleum Institute. (2000). Recommended Practice Standard Procedure for Field Testing Water – Based Drilling Fluids API 13I 6th Edition. Washington
- Baker Hughes INTEQ. (1998). Manual de Ingeniería de Fluidos. Houston.
- Baroid Drilling Fluids, Inc. (1988). Baroid Fluids Handbook. Houston, USA.
- Carvajal, L; (2003), “Estudio de los problemas de inhibición y dispersión de arcillas para mejorar un lodo de perforación aplicado en muestras de las formaciones Orteguaza, Tiyuyacu y Tena del Bloque Tarapoa” Guayaquil.
- Max A. y Martin S. (1996). Drilling fluids technology, Houston, Exxon Company U.S.A
- Manual de Fluidos M-I SWACO, Manual, Febrero 14, 2000.
- Orbe, P. (2009). “Análisis de Inhibición de las arcillas reactivas y Lutitas inestables de las formaciones Orteguaza, Tiyuyacu, Tena y Napo (Shale) con fluidos Base Amina en un Campo del Oriente Ecuatoriano”, Quito
- PDVSA. (2002), Manual de Fluidos de Perforación, Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED), 1era Edición.

- QMAX PRODUCT QC & EVALUATION MANUAL (2011), Diciembre
- QMAX ECUADOR (2008). Curso de Fluidos de Perforación, Ing. Klever Obando
- Reid, P.I. y Dolan B., (1995), Mechanism of Shale Inhibition by Polyols in Water Based Drilling Fluids, Paper No. 28960, San Antonio Texas, SPE Internacional.
- Serra O. (1990). Element Mineral Rock Catalog. Schlumberger
- <http://www.ofite.com>
- <http://www.qmaxsolutions.com>
- <http://www.spe.org>

## GLOSARIO

- **Absorción:** Es una capacidad de las sustancias u organismos de incorporar otras u otros a su interior. Así por ejemplo una esponja o un trozo de algodón son capaces de absorber agua u otros líquidos.  
La absorción química consiste en que el gas al contactarse con un solvente líquido provoca una reacción química que da origen a un compuesto químico nuevo (solución).
- **Adhesión:** Es la propiedad de la materia por la cual se unen dos superficies de sustancias iguales o diferentes cuando entran en contacto, y se mantienen juntas por fuerzas intermoleculares
- **Adsorción:** Es la operación unitaria que consiste en la separación de uno o más componentes de una mezcla gaseosa con la ayuda de un solvente líquido con el cual forma solución (un soluto A, o varios solutos, se absorben de la fase gaseosa y pasan a la líquida).
- **Aglomeración:** Agrupamiento de partículas individuales.
- **Alúmina:** Es el óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Junto con la sílice, es el componente más importante en la constitución de las arcillas y los esmaltes, confiriéndoles resistencia y aumentando su temperatura de maduración.
- **Análisis de Lodo:** Examen sistemático y continuo del fluido de perforación, para determinar sus propiedades físicas y químicas.
- **Arenisca:** Es una roca sedimentaria de tipo detrítico, de color variable, que contiene clastos de tamaño arena. Después de la lutita, es la roca sedimentaria más abundante y constituye cerca del 20 % de ellas. Los granos son gruesos, finos o medianos, bien redondeados; de textura detrítica o plástica
- **Arcilla:** Está constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de minerales de aluminio. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que

contiene, siendo blanca cuando es pura. Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm.

- **Atapulgita:** Arcilla coloidal compuesta por silicato hidratado de aluminio y magnesio utilizada en agua salada.
- **Barita:** Sulfato de bario natural que se usa para aumentar la densidad de los lodos. El mineral se manifiesta en depósitos de color gris, blanco, verdoso y/o rojizo, y en estructuras masivas de cristal.
- **Bentonita:** Es una arcilla de grano muy fino (coloidal) del tipo de montmorillonita que contiene bases y hierro. El tamaño de las partículas es seguramente inferior a un 0,03% al del grano medio de la caolinita.
- **Biocida:** Los biocidas pueden ser sustancias químicas sintéticas o de origen natural o microorganismos que están destinados a destruir, contrarrestar, neutralizar, impedir la acción o ejercer un control de otro tipo sobre cualquier organismo considerado nocivo
- **Catión:** es un ion (sea átomo o molécula) con carga eléctrica positiva, es decir, ha perdido electrones. Los cationes se describen con un estado de oxidación positivo. Las sales típicamente están formadas por cationes y aniones (aunque el enlace nunca es puramente iónico, siempre hay una contribución covalente).
- **Cohesión:** Es la atracción entre moléculas que mantiene unidas las partículas de una sustancia.
- **Coloide:** Es un sistema fisicoquímico formado por dos o más fases, principalmente: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas. La fase dispersa es la que se halla en menor proporción.
- **Embolamiento:** Acumulación de material perforado por encima de la broca o barrena impidiendo que se continúe perforando.

- **Facies:** Es un conjunto de rocas con características determinadas, ya sean paleontológicas (fósiles) y litológicas (como la forma, el tamaño, la disposición de sus granos y su composición de minerales) que ayudan a conocer dónde y cuándo se formó la roca. Las facies debería ser la forma ideal de un distintivo de roca que se forma en determinadas condiciones de sedimentación, lo que refleja un proceso o ambiente particular.
- **Floculación:** Es la asociación de borde a borde y/o borde a cara de las partículas, resultando en la información de una estructura similar a un "castillo de naipes".
- **Gumbo:** Cualquier formación de consistencia pegajosa, como las arcillas encontradas durante la perforación.
- **Hidratación:** Acto por el cual una sustancia admite agua por medio de absorción y / o adsorción.
- **Inhibición:** es cualquier agente que en operaciones de perforación previenen de la hidratación de minerales arcillosos por agua mediante acciones preventivas sobre la arcilla.
- **Junta Teórica:** Elemento de caucho circular en forma de anillo. Sirve como sellador para obtener cierre hermético de dos elementos por lo general de metal.
- **Litología:** es el estudio, descripción y clasificación de las rocas.
- **Lutitas:** Arcilla de origen rocoso, finamente granular, con clivaje tipo pizarra, que es una sustancia orgánica parecida al petróleo.
- **Monómero:** Unión de polímeros repetidos.
- **Poliacrilato:** Un polímero sintético de alto peso molecular, usado principalmente como agente de control de filtrado.
- **Polímero:** Son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros. Sustancia formada por una cantidad finita de moléculas que le confieren un alto

peso molecular que es una característica representativa de esta familia de compuestos orgánicos

- **Presión Osmótica:** Es presión que se debe aplicar a una solución para detener el flujo neto de disolvente a través de una membrana semipermeable. La presión osmótica es una de las cuatro propiedades coligativas de las soluciones (dependen del número de partículas en disolución, sin importar su naturaleza).
- **Revoque:** Los sólidos suspendidos que se depositan sobre un medio poroso durante el proceso de filtración.
- **Sinergia:** Del griego cooperación, es el resultado de la acción conjunta de dos o más causas, pero caracterizado por tener un efecto superior al que resulta de la simple suma de dichas causas.
- **Soda Caustica:** Es un sólido blanco, higroscópico (absorbe humedad del aire), que corroe la piel y se disuelve muy bien en el agua liberando una gran cantidad de calor. Generalmente se utiliza en forma sólida o en solución. El hidróxido de sodio es uno de los principales compuestos químicos utilizados en la industria.
- **Tensión Superficial:** Es la tendencia de un líquido a ofrecer la mínima superficie libre, es decir, la superficie líquida en contacto con un gas tiende a contraerse. Los líquidos tienen dos formas de atracción molecular: la cohesión que permite a un líquido resistir los esfuerzos cortantes y, la adhesión que le permite "adherirse" a otros cuerpos.
- **Tixotropía:** La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas, cuando son amasadas, se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo, recuperan la cohesión y el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**SURVEY PARA EL POZO DE ESTUDIO**



Comments	MD (ft)	Incl (°)	Azim Grid (°)	TVD (ft)	VSEC (ft)	DLS (%/100ft)
Tie-In	0.00	0.00	190.00	0.00	0.00	N/A
Marker MudLine	37.30	0.00	190.00	37.30	0.00	0.00
KOP	600.00	0.00	190.00	600.00	0.00	0.00
EOC	1988.89	25.00	190.00	1945.24	-235.01	1.80
KOP	3800.00	25.00	190.00	3586.66	-838.16	0.00
EOC	5568.94	0.00	190.00	5300.00	-1137.48	1.41
Orteguaza	5843.02	0.00	190.00	5574.08	-1137.48	0.00
13 3/8" Casing Point	5900.00	0.00	190.00	5631.06	-1137.48	0.00
Tiyuyacu	6316.02	0.00	190.00	6047.08	-1137.48	0.00
Conglomerado Superior	6423.02	0.00	190.00	6154.08	-1137.48	0.00
Conglomerado Medio	6778.02	0.00	190.00	6509.08	-1137.48	0.00
Conglomerado Inferior	7514.02	0.00	190.00	7245.08	-1137.48	0.00
Tena	7790.02	0.00	190.00	7521.08	-1137.48	0.00
KOP	7800.00	0.00	190.00	7531.06	-1137.48	0.00
EOC	8584.78	20.00	47.60	8300.00	-1001.90	2.55
KOP	8964.30	20.00	47.60	8656.63	-872.09	0.00
Basal Tena	9181.18	26.13	47.68	8856.08	-787.17	2.83
Napo	9194.56	26.51	47.69	8868.08	-781.24	2.83
Caliza M-1	9443.02	33.52	47.75	9083.08	-657.04	2.83
Zona Caliza M2	9657.23	39.58	47.78	9255.08	-529.53	2.83
Caliza M-2	9745.78	42.08	47.80	9322.08	-471.64	2.83
Zona Arenisca M2	9778.35	43.00	47.80	9346.08	-449.62	2.83
Caliza A	9919.79	46.99	47.82	9446.08	-349.63	2.83
9 5/8" Casing Point	9920.00	47.00	47.82	9446.22	-349.48	2.83
Arenisca U	10009.94	49.54	47.83	9506.08	-282.36	2.83
Napo Medio	10158.20	53.73	47.84	9598.08	-166.14	2.83
Caliza B	10369.68	59.71	47.86	9714.08	10.58	2.83
Arenisca T	10399.80	60.56	47.86	9729.08	36.69	2.83
Napo Basal	10684.18	68.59	47.88	9851.08	293.32	2.83
Caliza C	11000.14	77.52	47.90	9943.08	595.25	2.83
Base Caliza C	11104.95	80.48	47.91	9963.08	698.12	2.83
Fluvio Estuarino	11300.39	86.00	47.92	9986.08	892.13	2.83
7" Liner Point	11306.00	86.16	47.94	9986.46	897.72	2.82
PA-34H Entry Point	11443.75	90.00	48.45	9991.08	1035.37	2.82
Fluvio Estuarino	12080.03	90.90	48.42	9986.08	1671.60	0.14
PA-34H End Point	12140.88	90.98	48.41	9985.08	1732.45	0.14

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

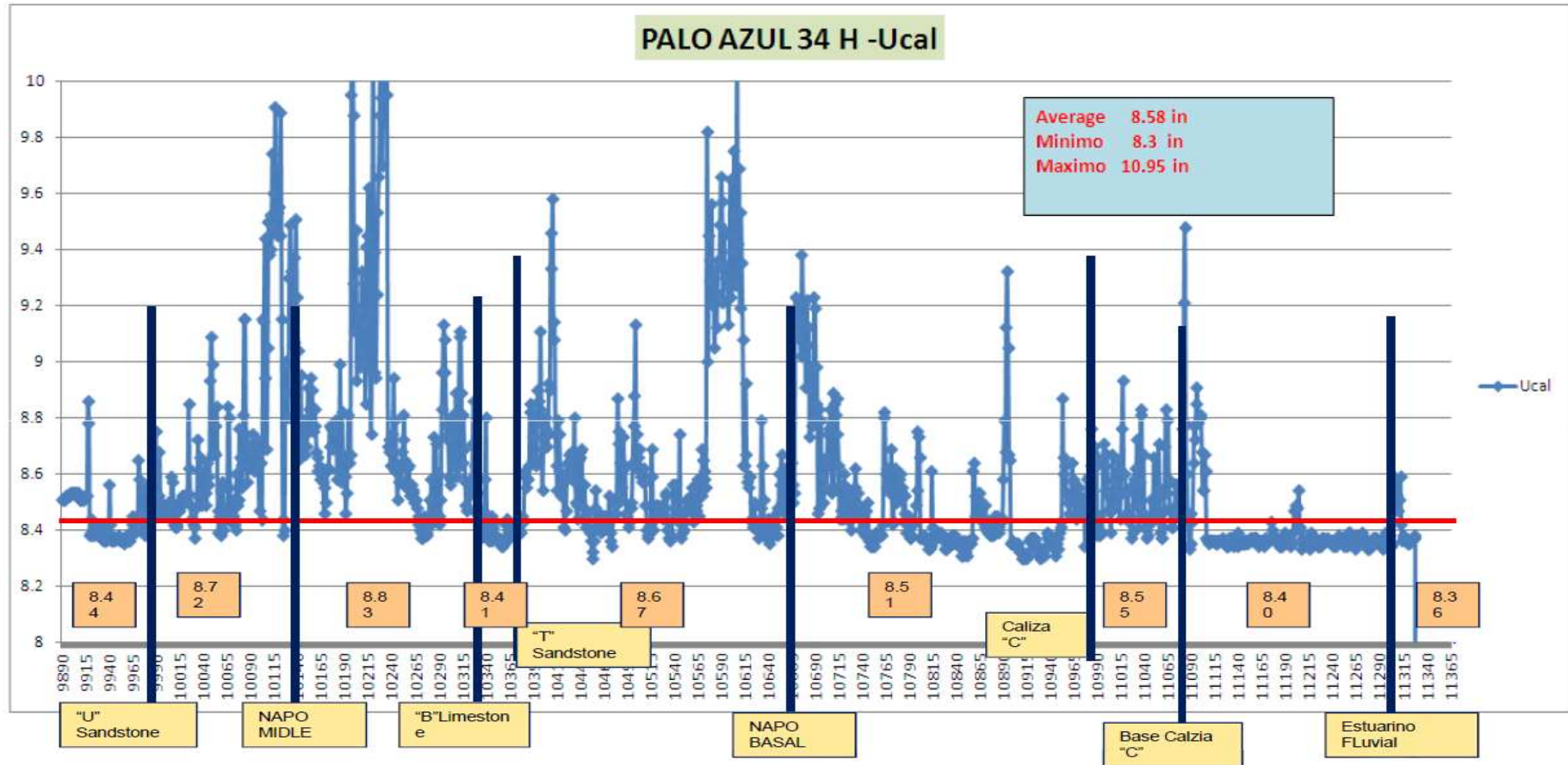
**ANEXO 2**  
**TOPES FORMACIONALES PARA EL POZO ESTUDIADO**

<b>Formación</b>	<b>MD (ft)</b>	<b>TVD (ft)</b>
Orteguaza	5843	5574
Tiyuyacu	6316	6047
Conglomerado Superior	6423	6154
Conglomerado Medio	6778	6509
Conglomerado Inferior	7514	7245
Tena	7790	7521
Basal Tena	9181	8856
Napo	9195	8868
Caliza M-1	9443	9083
Zona Caliza M2	9657	9255
Caliza M2	9746	9322
Zona Arenisca M2	9778	9346
Caliza A	9920	9446
Arenisca U	10010	9506
Napo Medio	10158	9598
Caliza B	10370	9714
Arenisca T	10400	9729
Napo Basal	10684	9851
Caliza C	11000	9943
Base Caliza C	11105	9963
Fluvio Estuarino	11300	9986

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza

**ANEXO 3**  
**REVISIÓN CALIPER SECCIÓN 8 1/2"**



FUENTE: BLOQUE OPERADOR

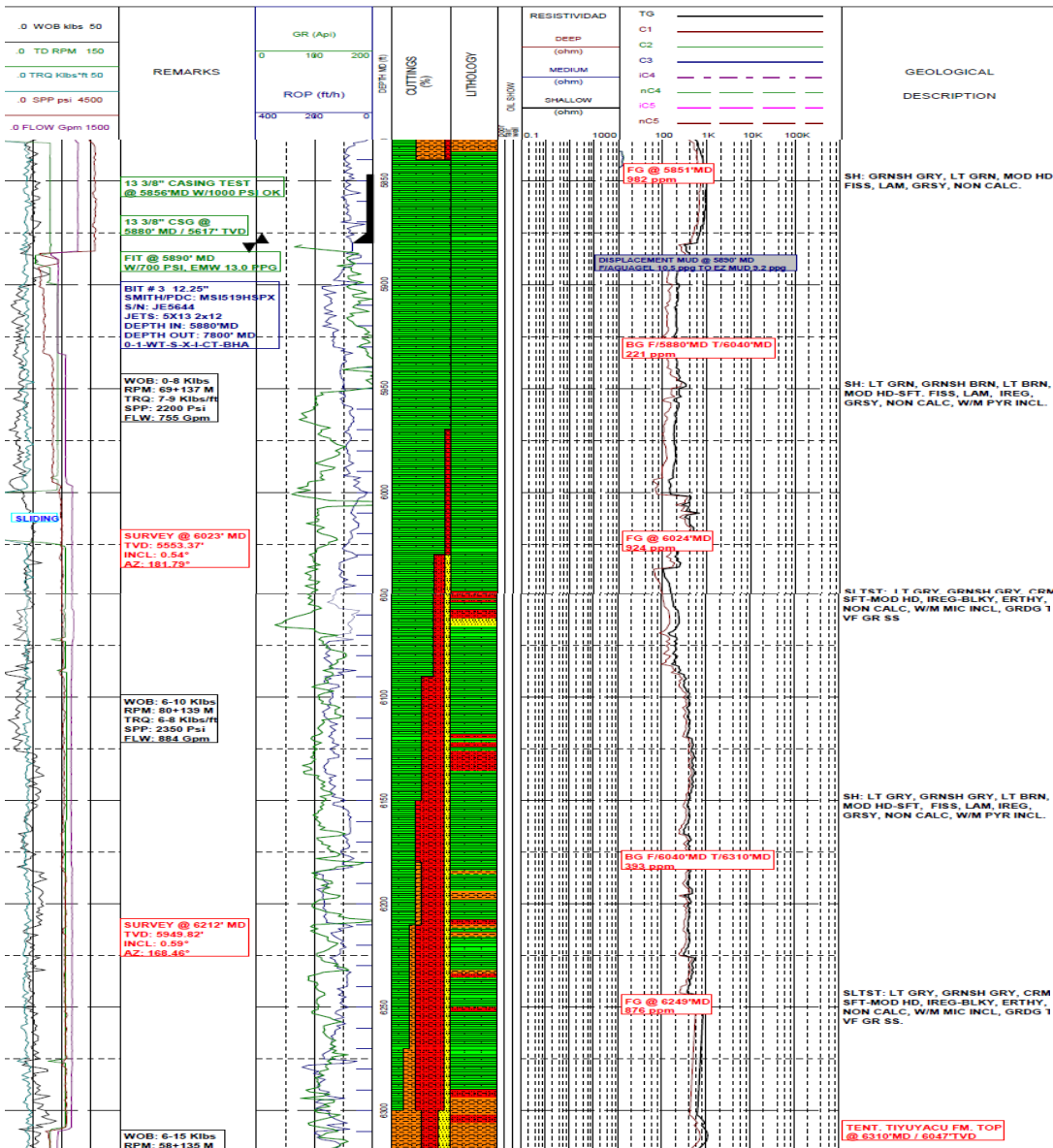
ELABORADO POR: BLOQUE OPERADOR

**ANEXO 4**  
**REGISTRO MASTERLOG PARA ORTEGUAZA**

Ground Elevation (ft): 1013.8 Reference Depth (ft): 1051.1 RT (ft): 37.3	Final MD (ft): 12063 Final TVD (ft): 9992	Surface Coordinate: N 9,980,855.69 mts Bottom Coordinate: N 9,980,991.50 mts	E 282,498.45 mts E 283,057.91 mts
<b>HOLE DATA</b>		<b>CASING DATA</b>	
PHASE: 16" FROM: 50' MD TO: 5880' MD	20" CONDUCTOR: @ 74.3' MD	MUD DATA	
PHASE: 12 1/4" FROM: 5880' MD TO: 9915' MD	13 3/8" CASING: SHOE @ 5880' MD	PHASE: 16" Gel+Ca(NO3)2 MW: 8.4 - 10.5 ppg	
PHASE: 8 1/2" FROM: 9915' MD TO: 11366' MD	9 5/8" CASING: SHOE @ 9915' MD	PHASE: 12 1/4" Maxdrill G+ MW: 9.2 - 10.3 ppg	
PHASE: 6 1/8" FROM: 11366' MD TO: 12063' MD	7" LINER TOP @ 9729' MD SHOE @ 11365' MD	PHASE: 8 1/2" Maxdrill G+ MW: 9.8 - 10.5 ppg	
	5" LINER TOP @ 11243' MD SHOE @ 12063' MD	PHASE: 6 1/8" Drill In MW: 8.8 - 9.0 ppg	
		PERSONNEL	
		WELL SITE GEOL: D. LETAMENDI	
		TDC: LUGO/TRONCOSO	
		ML: SUAREZ/LASCANCI/ARMJO	

**LEGEND**

Claystone	Green Shale	Grey Shale	Siltstone	Sandstone
Conglomerate	Chert Conglom	Limestone	Dolomite	Coal
Volcanic	Tuff	Anhydrite	Kaolinite	Cement
Glauconite	Pyrite	Carbon	Siltstonish	Calcareous
Whole Foss. Uns	Broken Fossils	Foraminifera	Pelagic Forams	Aorticas
No Bedding	Poorly Bedded	Fairly Bedded	Well Bedded	Very well Bedded
Test	Mud loss	Mud gain	Deviation curve	Core



FUENTE: GEOSERVICES

ELABORADO POR: GEOSERVICES

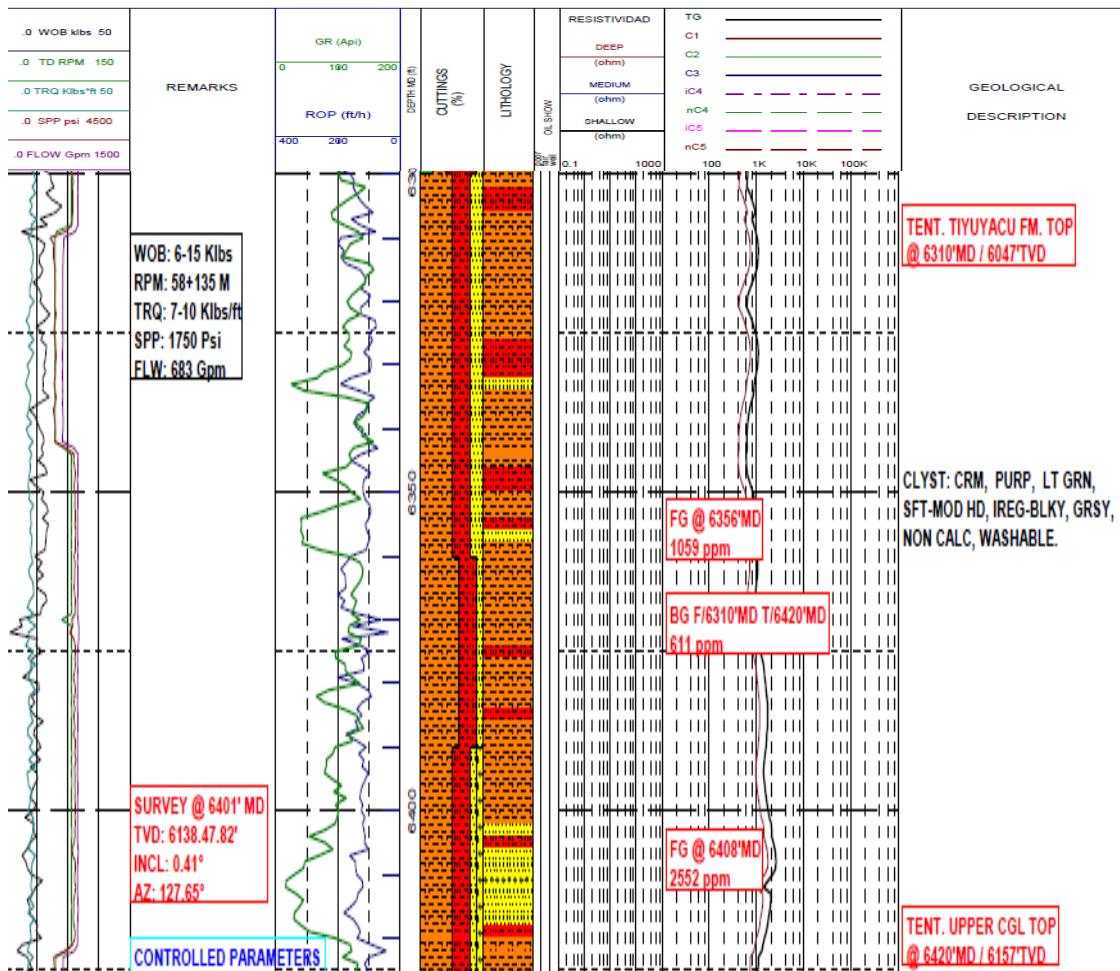
**ANEXO 5**  
**REGISTRO MASTERLOG PARA TIYUYACU**



Ground Elevation (ft): 1013.8 Reference Depth (ft): 1051.1 RT (ft): 37.3	Final MD (ft): 12063 Final TVD (ft): 9992	Surface Coordinate: N 9,980,855.69 mts Bottom Coordinate: N 9,980,991.50 mts	E 262,498.45 mts E 263,057.91 mts
<b>HOLE DATA</b>  PHASE: 16" FROM: 50' MD TO: 5880' MD PHASE: 12 1/4" FROM: 5880' MD TO: 9915' MD PHASE: 8 1/2" FROM: 9915' MD TO: 11366' MD PHASE: 6 1/8" FROM: 11366' MD TO: 12063' MD		<b>CASING DATA</b>  20" CONDUCTOR: @ 74.3' MD 13 3/8" CASING: SHOE @ 5880' MD 9 5/8" CASING: SHOE @ 9915' MD 7" LINER: TOP @ 9729' MD SHOE @ 11366' MD 5" LINER: TOP @ 11243' MD SHOE @ 12063' MD	
		<b>MUD DATA</b> PHASE: 16" Gel+Ca(NO3)2 MW: 8.4 - 10.5 ppg PHASE: 12 1/4" Maxdrill G+ MW: 9.2 - 10.3 ppg PHASE: 8 1/2" Maxdrill G+ MW: 9.6 - 10.5 ppg PHASE: 6 1/8" Drill In MW: 8.8 - 9.0 ppg	
<b>PERSONNEL</b> WELL SITE GEOL: D. LETAMENDI TDC: LUGO/TRONCOSO ML: SUAREZ/LASCANO/ARMIJO			

**LEGEND**

Claystone	Green Shale	Gry Shale	Siltstone	Sandstone
Conglomerate	Chert Conglom	Limestone	Dolomite	Coal
Volcanic	Tuff	Anhydrite	Kaolinite	Cement
Glauconite	Pyrite	Carbon	Siltstonish	Calcareous
Whole Foss. Uns	Broken Fossils	Foraminifera	Pelagic Forams	Acritarcas
No Bedding	Poorly Bedded	Fairly Bedded	Well Bedded	Very well Bedde
Test	Mud loss	Mud gain	Deviation curve	Core



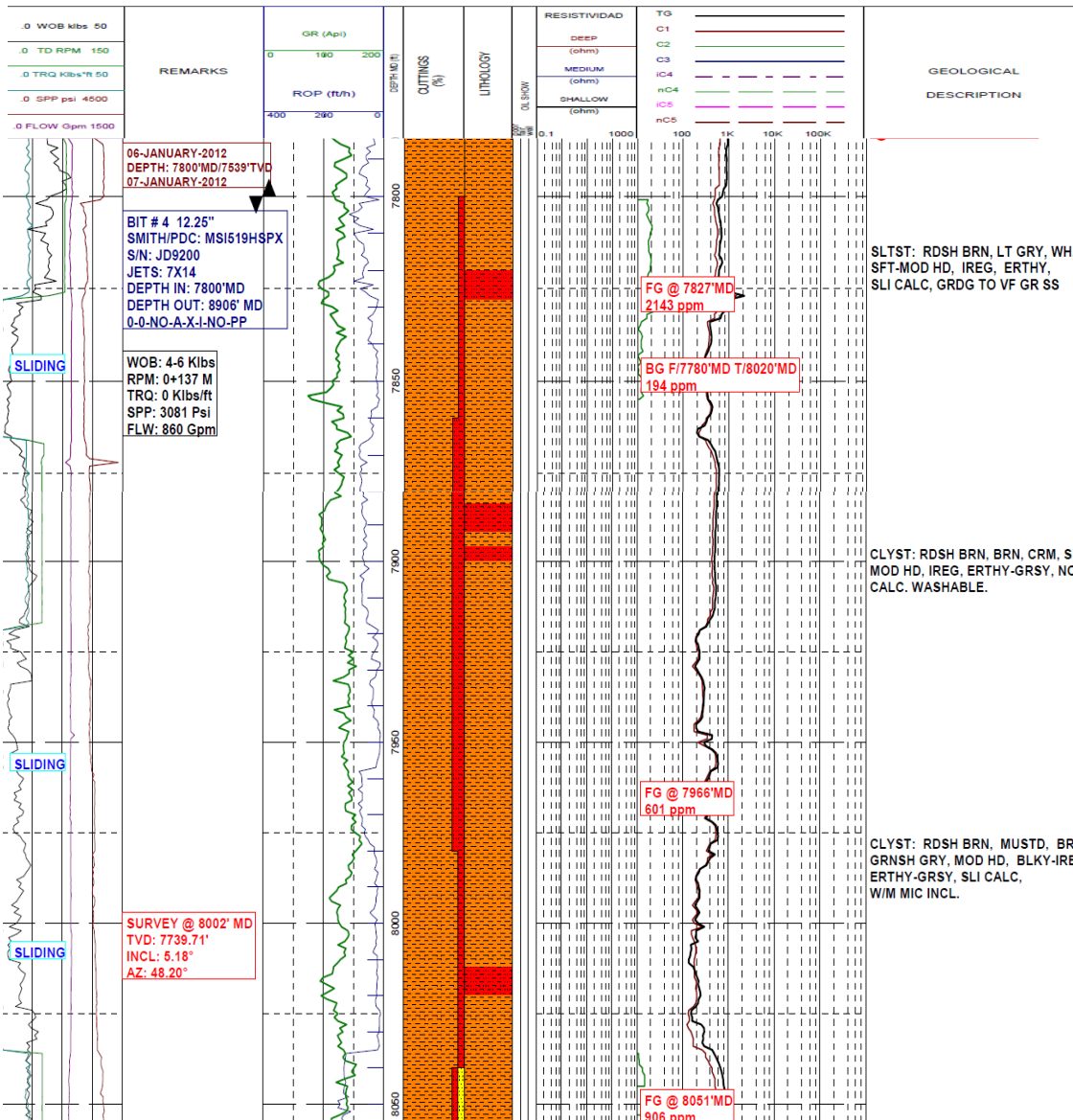
FUENTE: GEOSERVICES  
 ELABORADO POR: GEOSERVICES

**ANEXO 6**  
**REGISTRO MASTERLOG PARA TENA**

Ground Elevation (ft): 1013.8 Reference Depth (ft): 1051.1 RT (ft): 37.3	Final MD (ft): 12063 Final TVD (ft): 9992	Surface Coordinate: N 9,980,855.69 mts Bottom Coordinate: N 9,980,991.50 mts E 282,498.45 mts E 283,057.91 mts
<b>HOLE DATA</b>	<b>CASING DATA</b>	<b>MUD DATA</b>
PHASE: 16" FROM: 50' MD TO: 5880' MD PHASE: 12 1/4" FROM: 5880' MD TO: 9915' MD PHASE: 8 1/2" FROM: 9915' MD TO: 11366' MD PHASE: 6 1/8" FROM: 11366' MD TO: 12063' MD	20" CONDUCTOR: @ 74.3' MD 13 3/8" CASING: SHOE @ 5880' MD 9 5/8" CASING: SHOE @ 9915' MD 7" LINER.TOP @ 9729' MD SHOE @ 11365' MD 5" LINER.TOP @ 11243' MD SHOE @ 12063' MD	PHASE: 16" Gel+Ca(NO3)2 MW: 8.4 - 10.5 ppg PHASE: 12 1/4" Maxdrill G+ MW: 9.2 - 10.3 ppg PHASE: 8 1/2" Maxdrill G+ MW: 9.6 - 10.5 ppg PHASE: 6 1/8" Drill In MW: 8.8 - 9.0 ppg
		<b>PERSONNEL</b> WELL SITE GEOL.D. LETAMENDI TDC: LUGO/TRONCOSO ML: SUAREZ/LASCANO/ARMUJO

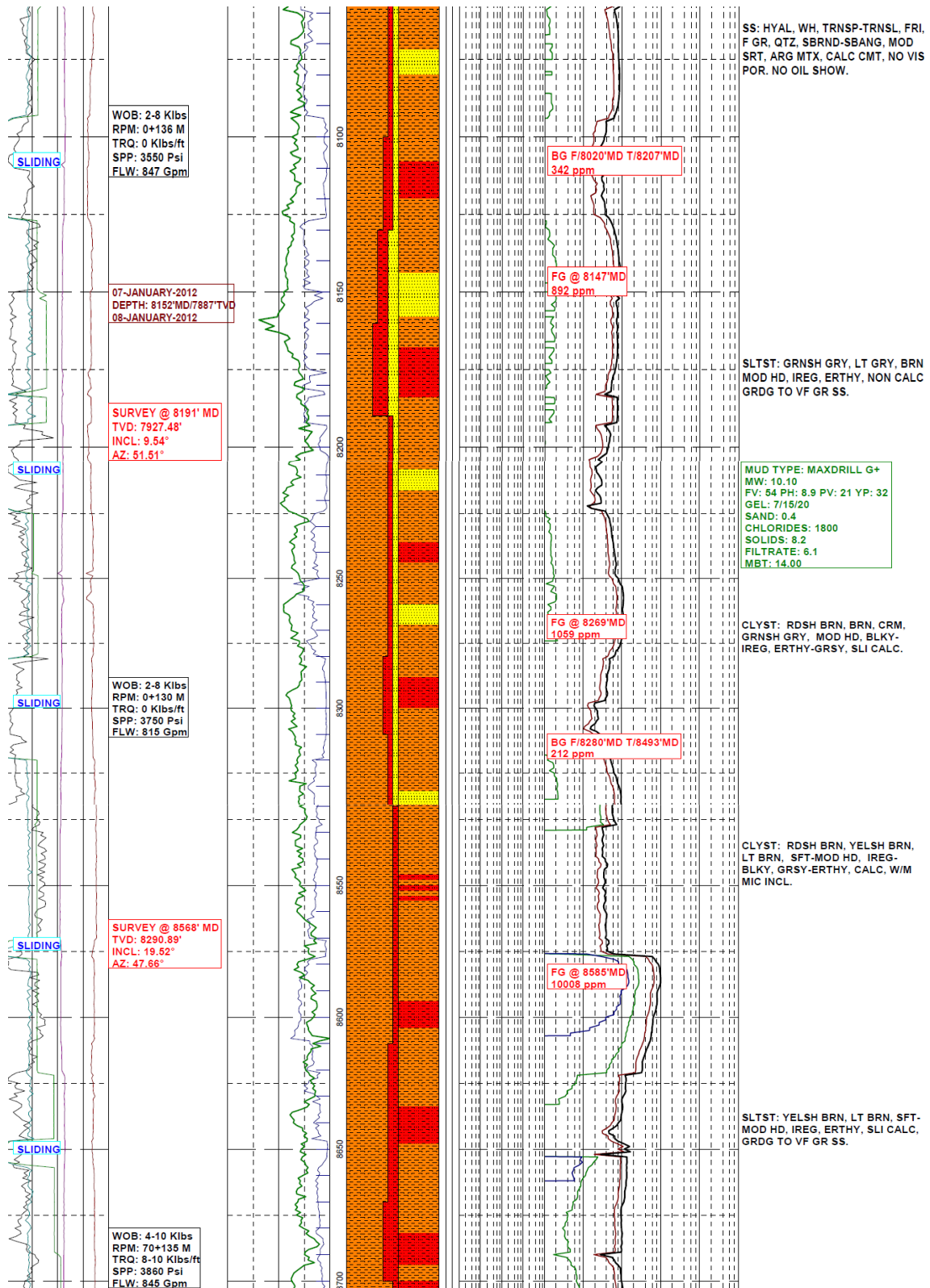
**LEGEND**

Claystone	Green Shale	Gry Shale	Siltstone	Sandstone
Conglomerate	Chert Conglom	Limestone	Dolomite	Coal
Volcanic	Tuff	Anhydrite	Kaolinite	Cement
Glauconite	Pyrite	Carbon	Siltstonish	Calcareous
Whole Foss. Uns	Broken Fossils	Foraminifera	Pelagic Forams	Acritarchs
No Bedding	Poorly Bedded	Fairly Bedded	Well Bedded	Very well Bedde
Test	Mud loss	Mud gain	Deviation curve	Core



FUENTE: GEOSERVICES

ELABORADO POR: GEOSERVICES



FUENTE: GEOSERVICES

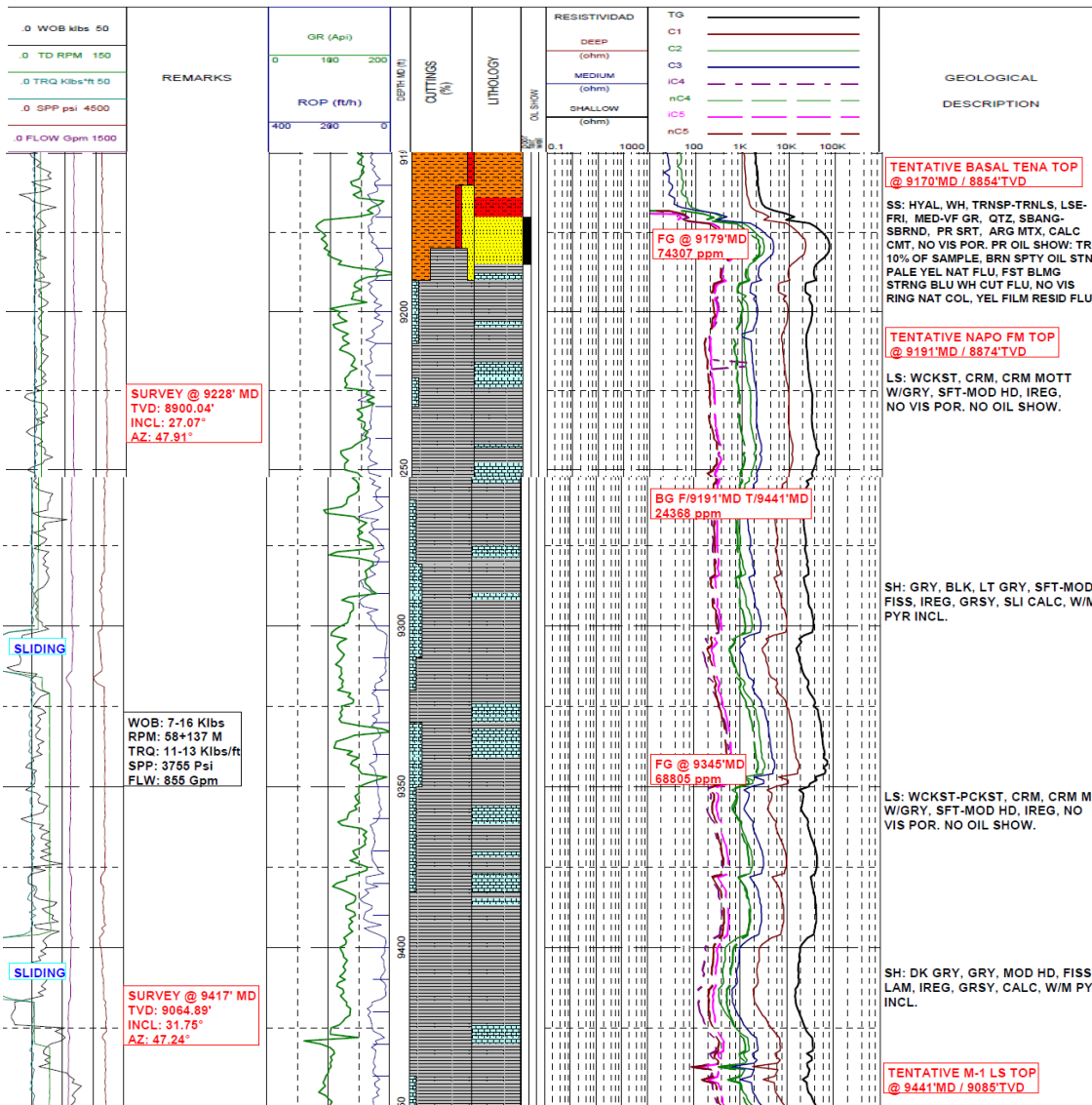
ELABORADO POR: GEOSERVICES

**ANEXO 7**  
**REGISTRO MASTERLOG PARA NAPO**

Ground Elevation (ft): 1013.8 Reference Depth (ft): 1051.1 RT (ft): 37.3	Final MD (ft): 12063 Final TVD (ft): 9992	Surface Coordinate: N 9,980,855.69 mts Bottom Coordinate: N 9,980,991.50 mts	E 282,498.45 mts E 283,057.91 mts
<b>HOLE DATA</b>		<b>CASING DATA</b>	
PHASE: 16" FROM: 50' MD TO: 5880' MD	20" CONDUCTOR: @ 74.3' MD	MUD DATA	
PHASE: 12 1/4" FROM: 5880' MD TO: 9915' MD	13 3/8" CASING: SHOE @ 5880' MD	PHASE: 16" Gel+Ca(NO3)2 MW: 8.4 - 10.5 ppg	
PHASE: 8 1/2" FROM: 9915' MD TO: 11366' MD	9 5/8" CASING: SHOE @ 9915' MD	PHASE: 12 1/4" Maxdrill G+ MW: 9.2 - 10.3 ppg	
PHASE: 6 1/8" FROM: 11366' MD TO: 12063' MD	7" LINER.TOP @ 9729' MD SHOE @ 11365' MD	PHASE: 8 1/2" Maxdrill G+ MW: 9.8 - 10.5 ppg	
	5" LINER.TOP @ 11243' MD SHOE @ 12063' MD	PHASE: 6 1/8" Drill In MW: 8.8 - 9.0 ppg	
		PERSONNEL	
		WELL SITE GEOL: D. LETAMENDI	
		TDC: LUGO/TRONCOSO	
		ML: SUAREZ/LASCANO/ARMUJO	

**LEGEND**

Claystone	Green Shale	Grey Shale	Siltstone	Sandstone
Conglomerate	Chert Conglom	Limestone	Colomite	Coal
Volcanic	Tuff	Anhydrite	Kaolinite	Cement
Glauconite	Pyrite	Carbon	Siltstonish	Calcareous
Whole Foss. Uns	Broken Fossils	Foraminifera	Petagic Forams	Acrifares
No Bedding	Poorly Bedded	Fairly Bedded	Well Bedded	Very well Bedde
Test	Mud loss	Mud gain	Deviation curve	Core



FUENTE: GEOSERVICES  
ELABORADO POR: GEOSERVICES

**ANEXO 8**  
**PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA**  
**TIYUYACU CON EL FLUIDO MAXDRILL**

Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (F)	Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (F)
0:00:00	0	0,3107	72,92	4:20:27	17,63	0,3655	73,19
0:10:02	4,15	0,3236	73,07	4:31:32	17,83	0,3662	73,16
0:20:11	6,12	0,3298	73,1	4:41:57	17,98	0,3666	73,17
0:30:08	7,63	0,3344	73,13	4:51:29	18,14	0,3671	73,18
0:40:04	8,81	0,3381	73,13	5:00:58	18,29	0,3676	73,17
0:50:02	10,04	0,3419	73,14	5:09:23	18,45	0,3681	73,17
0:59:40	11,13	0,3453	73,15	5:17:28	18,6	0,3685	73,16
1:00:05	11,18	0,3455	73,15	5:30:04	18,81	0,3692	73,16
1:10:12	11,64	0,3469	73,15	5:41:14	18,96	0,3696	73,13
1:31:01	13,03	0,3512	73,15	5:51:14	19,05	0,3699	73,09
1:41:12	13,33	0,3522	73,16	6:00:30	19,15	0,3702	73,07
1:50:57	13,59	0,353	73,17	6:09:37	19,3	0,3707	73
2:01:35	13,9	0,3539	73,16	6:21:59	19,41	0,3711	72,81
2:10:23	14,41	0,3555	73,19	6:30:01	19,51	0,3714	72,79
2:19:09	14,72	0,3565	73,2	6:40:21	19,62	0,3717	72,79
2:30:01	15,03	0,3574	73,2	6:52:25	19,77	0,3722	72,76
2:40:07	15,33	0,3584	73,2	7:02:25	19,78	0,3722	72,64
2:51:22	15,79	0,3598	73,23	7:09:56	19,88	0,3725	72,57
3:03:13	16,09	0,3607	73,22	7:19:56	19,94	0,3727	72,47
3:08:37	16,19	0,3611	73,22	7:30:22	19,99	0,3729	72,46
3:20:29	16,4	0,3617	73,23	7:43:47	20,04	0,373	72,51
3:31:35	16,6	0,3623	73,23	7:53:47	20,09	0,3732	72,44
3:40:27	16,75	0,3628	73,24	8:01:52	20,2	0,3735	72,43
3:51:35	16,91	0,3633	73,22	8:11:52	20,25	0,3737	72,41
4:00:43	17,11	0,3639	73,23	8:19:43	20,29	0,3738	72,24



<b>Tiempo de prueba</b>	<b>Swell (%)</b>	<b>Distancia (in)</b>	<b>Temp. (F)</b>	<b>Tiempo de prueba</b>	<b>Swell (%)</b>	<b>Distancia (in)</b>	<b>Temp. (F)</b>
<b>8:39:09</b>	20,39	0,3741	72,08	<b>12:29:03</b>	21,00	0,3761	69,89
<b>8:41:34</b>	20,41	0,3742	72,08	<b>12:39:03</b>	21,01	0,3761	69,82
<b>8:51:34</b>	20,47	0,3743	72,02	<b>12:49:03</b>	21,03	0,3762	69,74
<b>9:01:34</b>	20,55	0,3746	71,87	<b>12:59:03</b>	21,03	0,3762	69,66
<b>9:11:34</b>	20,57	0,3747	71,76	<b>13:04:03</b>	21,04	0,3762	69,63
<b>9:20:25</b>	20,67	0,375	71,73	<b>13:11:12</b>	21,05	0,3762	69,55
<b>9:30:07</b>	20,71	0,3751	71,71	<b>13:21:12</b>	21,06	0,3762	69,47
<b>9:40:07</b>	20,71	0,3751	71,58	<b>13:31:13</b>	21,09	0,3763	69,40
<b>9:50:07</b>	20,73	0,3752	71,43	<b>13:41:13</b>	21,14	0,3764	69,32
<b>9:59:45</b>	20,83	0,3755	71,42	<b>13:51:13</b>	21,24	0,3767	69,25
<b>10:04:45</b>	20,84	0,3755	71,39	<b>14:01:13</b>	21,32	0,377	69,17
<b>10:09:45</b>	20,85	0,3755	71,38	<b>14:11:13</b>	21,38	0,3772	69,09
<b>10:19:45</b>	20,86	0,3756	71,35	<b>14:21:05</b>	21,41	0,3773	69,02
<b>10:29:45</b>	20,87	0,3756	71,22	<b>14:33:53</b>	21,42	0,3773	68,90
<b>10:39:45</b>	20,91	0,3756	71,21	<b>14:43:53</b>	21,42	0,3773	68,83
<b>10:41:32</b>	20,92	0,3756	71,15	<b>14:53:53</b>	21,41	0,3773	68,75
<b>10:51:32</b>	20,93	0,3756	71,07	<b>15:03:53</b>	21,41	0,3773	68,68
<b>11:01:32</b>	20,93	0,3756	70,99	<b>15:11:57</b>	21,41	0,3773	68,60
<b>11:11:32</b>	20,94	0,3757	70,92	<b>15:21:57</b>	21,41	0,3773	68,52
<b>11:21:32</b>	20,94	0,3757	70,84	<b>15:31:57</b>	21,41	0,3773	68,43
<b>11:31:32</b>	20,96	0,3757	70,65	<b>15:41:57</b>	21,41	0,3773	70,7
<b>11:39:39</b>	20,98	0,3759	70,27	<b>15:51:57</b>	21,42	0,3773	74,06
<b>11:54:39</b>	20,99	0,3760	70,16	<b>16:01:57</b>	21,41	0,3773	76,42
<b>12:04:39</b>	20,99	0,3761	70,08	<b>16:11:17</b>	21,41	0,3773	74,26
<b>12:09:39</b>	20,99	0,3761	70,04	<b>16:21:17</b>	21,41	0,3773	72,18

<b>Tiempo de prueba</b>	<b>Swell (%)</b>	<b>Distancia (in)</b>	<b>Temp. (°F)</b>
<b>16:41:17</b>	21,42	0,3773	67,86
<b>16:51:17</b>	21,4	0,3772	68,21
<b>17:01:17</b>	21,41	0,3773	68,22
<b>17:11:17</b>	21,41	0,3773	68,25
<b>17:21:17</b>	21,4	0,3772	68,46
<b>17:31:17</b>	21,42	0,3773	68,55
<b>17:41:17</b>	21,41	0,3773	68,59
<b>17:51:48</b>	21,4	0,3773	68,9
<b>18:01:48</b>	21,41	0,3773	68,93
<b>18:11:48</b>	21,41	0,3773	68,98
<b>18:21:48</b>	21,41	0,3773	69,22
<b>18:31:48</b>	21,41	0,3773	69,28
<b>18:41:48</b>	21,41	0,3773	69,31
<b>18:52:43</b>	21,4	0,3772	69,57

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza (Q-MAX COLOMBIA)

**ANEXO 9**

**PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA  
TIYUYACU CON EL FLUIDO NUEVO MAXDRILL**

Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)
0:00:00	0	0,3175	69,97
0:10:02	4,08	0,3304	70,01
0:20:11	6,05	0,3367	70,13
0:30:08	7,53	0,3414	70,28
0:40:04	8,71	0,3451	70,31
0:50:02	9,95	0,3491	70,34
0:59:40	11,04	0,3525	70,35
1:00:05	11,1	0,3527	70,35
1:10:12	11,55	0,3542	70,37
1:20:02	12,27	0,3564	70,42
1:31:01	12,94	0,3586	70,57
1:41:12	13,24	0,3595	70,6
1:50:57	13,5	0,3603	70,64
2:01:35	13,81	0,3613	70,66
2:10:23	14,33	0,363	70,67
2:19:09	14,64	0,364	70,68
2:21:40	14,69	0,3641	70,68
2:30:01	14,96	0,365	70,68
2:40:07	15,26	0,3659	70,69
2:51:22	15,72	0,3674	70,71
2:59:17	15,98	0,3682	70,71
3:03:13	16,03	0,3684	70,72
3:13:37	16,18	0,3689	70,71
3:20:29	16,33	0,3693	70,72
3:32:06	16,59	0,3702	70,73

Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)
3:51:35	16,85	0,371	70,77
4:00:43	17,06	0,3716	70,77
4:11:16	17,31	0,3724	70,83
4:20:27	17,57	0,3733	70,89
4:31:32	17,77	0,3739	70,93
4:41:57	17,93	0,3744	70,96
4:51:29	18,08	0,3749	70,98
5:00:58	18,21	0,3753	70,99
5:09:23	18,36	0,3758	70,99
5:12:04	18,41	0,3759	70,99
5:22:28	18,57	0,3764	70,99
5:30:04	18,72	0,3769	71
5:41:14	18,85	0,3773	71
5:51:14	18,93	0,3776	70,99
6:00:30	19,03	0,3779	71
6:09:37	19,16	0,3783	70,96
6:21:59	19,31	0,3788	70,97
6:30:01	19,41	0,3791	70,92
6:40:21	19,56	0,3796	70,84
6:52:25	19,67	0,3799	70,81
7:02:25	19,77	0,3803	70,74
7:09:56	19,87	0,3806	70,72
7:19:56	19,98	0,3809	70,70
7:24:56	19,99	0,381	70,69
7:30:22	20,09	0,3813	70,69

<b>Tiempo de prueba</b>	<b>Swell (%)</b>	<b>Distancia (in)</b>	<b>Temp. (°F)</b>	<b>Tiempo de prueba</b>	<b>Swell (%)</b>	<b>Distancia (in)</b>	<b>Temp. (°F)</b>
<b>7:53:47</b>	20,21	0,3816	70,58	<b>12:04:39</b>	21,98	0,3863	69,51
<b>8:01:52</b>	20,26	0,3817	70,55	<b>12:19:39</b>	22,04	0,3870	69,46
<b>8:11:52</b>	20,32	0,3819	70,51	<b>12:29:03</b>	22,06	0,3873	69,43
<b>8:19:43</b>	20,37	0,3820	70,48	<b>12:39:03</b>	22,09	0,3875	69,39
<b>8:29:43</b>	20,43	0,3822	70,45	<b>12:49:03</b>	22,11	0,3877	69,36
<b>8:39:09</b>	20,48	0,3823	70,41	<b>12:59:03</b>	22,13	0,3877	69,33
<b>8:41:34</b>	20,51	0,3824	70,40	<b>13:04:03</b>	22,17	0,3879	69,31
<b>8:51:34</b>	20,57	0,3825	70,36	<b>13:09:03</b>	22,21	0,388	69,29
<b>9:01:34</b>	20,62	0,3827	70,33	<b>13:21:12</b>	22,33	0,3884	69,24
<b>9:11:34</b>	20,68	0,3828	70,30	<b>13:31:13</b>	22,38	0,3885	69,21
<b>9:20:25</b>	20,73	0,3829	70,26	<b>13:41:13</b>	22,41	0,3886	69,18
<b>9:30:07</b>	20,79	0,3831	70,23	<b>13:51:13</b>	22,42	0,3887	69,14
<b>9:40:07</b>	20,84	0,3832	70,20	<b>14:01:13</b>	22,43	0,3887	69,11
<b>9:50:07</b>	20,90	0,3834	70,16	<b>14:11:13</b>	22,43	0,3887	69,08
<b>9:59:45</b>	20,95	0,3835	70,13	<b>14:21:05</b>	22,43	0,3887	69,04
<b>10:04:45</b>	20,98	0,3836	70,11	<b>14:33:53</b>	22,42	0,3887	68,99
<b>10:09:45</b>	21,01	0,3836	70,10	<b>14:43:53</b>	22,42	0,3887	68,96
<b>10:19:45</b>	21,07	0,3838	70,06	<b>14:53:53</b>	22,42	0,3887	68,93
<b>10:34:45</b>	21,15	0,3840	70,01	<b>15:03:53</b>	22,42	0,3887	68,89
<b>10:41:32</b>	21,20	0,3841	69,98	<b>15:11:57</b>	22,41	0,3886	68,86
<b>10:51:32</b>	21,26	0,3843	69,95	<b>15:21:57</b>	22,41	0,3886	68,83
<b>11:01:32</b>	21,31	0,3844	69,91	<b>15:31:57</b>	22,42	0,3887	68,79
<b>11:11:32</b>	21,37	0,3845	69,88	<b>15:41:57</b>	22,42	0,3886	68,76
<b>11:21:32</b>	21,43	0,3847	69,84	<b>15:51:57</b>	22,41	0,3886	66,99
<b>11:31:32</b>	21,56	0,3850	69,76	<b>16:01:57</b>	22,41	0,3886	64,97

<b>Tiempo de prueba</b>	<b>Swell (%)</b>	<b>Distancia (in)</b>	<b>Temp. (°F)</b>
<b>16:21:17</b>	22,42	0,3886	65,38
<b>16:31:17</b>	22,42	0,3887	65,43
<b>16:41:17</b>	22,4	0,3886	65,59
<b>16:51:17</b>	22,41	0,3886	65,74
<b>17:01:17</b>	22,41	0,3886	65,78
<b>17:11:17</b>	22,41	0,3886	65,93
<b>17:21:17</b>	22,42	0,3887	66,11
<b>17:31:17</b>	22,42	0,3887	66,14
<b>17:41:17</b>	22,42	0,3887	66,37
<b>17:51:48</b>	22,44	0,3887	66,5
<b>18:01:48</b>	22,43	0,3887	66,7
<b>18:11:48</b>	22,45	0,3887	66,81
<b>18:21:48</b>	22,44	0,3887	66,91
<b>18:31:48</b>	22,43	0,3887	67,14
<b>18:41:48</b>	22,44	0,3887	67,19

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza (Q-MAX COLOMBIA)

**ANEXO 10**  
**PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA**  
**ORTEGUAZA CON EL FLUIDO MAXDRILL**

Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)
0:00:00	0	0,2889	72,08
0:10:00	4,16	0,3009	72,03
0:20:14	6,48	0,3076	72,06
0:30:46	8,03	0,3121	72,05
0:39:48	8,79	0,3143	72,06
0:50:47	9,26	0,3157	72,06
0:59:32	9,51	0,3164	71,86
1:00:56	9,57	0,3166	71,84
1:19:12	9,98	0,3178	71,66
1:29:14	10,16	0,3183	71,44
1:42:10	10,34	0,3188	71,69
1:52:10	10,39	0,3189	71,42
2:01:37	10,5	0,3193	71,4
2:11:37	10,52	0,3193	71,36
2:20:26	10,62	0,3196	71,16
2:30:26	10,68	0,3198	71,04
2:39:34	10,74	0,3199	71
2:44:20	10,79	0,3201	70,91
2:51:19	10,84	0,3202	70,93
3:01:19	10,85	0,3203	71,04
3:11:19	10,87	0,3203	71,02
3:23:23	10,95	0,3205	70,76
3:33:23	10,98	0,3206	70,76
3:41:06	11	0,3207	70,79
3:51:06	11	0,3207	70,9

Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)
4:11:06	11	0,3207	70,7
4:21:06	11,01	0,3207	70,67
4:31:06	11,01	0,3207	70,61
4:41:06	11,02	0,3207	70,35
4:51:06	11,02	0,3207	70,29
5:01:06	11,02	0,3207	69,98
5:11:06	11,03	0,3208	69,98
5:21:06	11,02	0,3208	69,78
5:31:06	11,03	0,3208	69,64
5:41:06	11,03	0,3208	69,76
5:51:06	11,03	0,3208	69,64
6:01:07	11,06	0,3209	69,63
6:09:37	11,07	0,3220	71,75
6:21:59	11,08	0,3221	71,80
6:30:01	11,09	0,3221	71,84
6:40:21	11,10	0,3221	71,89
6:52:25	11,12	0,3222	71,95
7:02:25	11,13	0,3222	71,99
7:14:56	11,14	0,3222	72,04
7:30:22	11,16	0,3223	72,12
7:43:47	11,17	0,3223	72,17
7:53:47	11,18	0,3224	72,21
8:01:52	11,19	0,3224	72,25
8:11:52	11,20	0,3224	72,28
8:19:43	11,21	0,3224	72,32



Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)
8:41:34	11,23	0,3224	72,41
8:51:34	11,24	0,3224	72,45
9:01:34	11,25	0,3225	72,49
9:11:34	11,26	0,3225	72,52
9:20:25	11,27	0,3225	72,56
9:30:07	11,28	0,3225	72,60
9:40:07	11,28	0,3225	72,64
9:50:07	11,29	0,3225	72,67
9:59:45	11,30	0,3225	72,71
10:04:45	11,31	0,3225	72,73
10:19:45	11,32	0,3226	72,78
10:34:45	11,33	0,3226	72,84
10:41:32	11,34	0,3226	72,88
10:51:32	11,35	0,3226	72,91
11:01:32	11,36	0,3226	72,95
11:11:32	11,37	0,3226	72,99
11:21:32	11,38	0,3226	73,03
11:31:32	11,40	0,3227	73,12
11:39:38	11,44	0,3227	73,29
11:44:39	11,45	0,3227	73,32
11:54:39	11,46	0,3227	73,36
12:04:39	11,47	0,3227	73,40
12:14:39	11,48	0,3227	73,43
12:24:39	11,49	0,3227	73,47

Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)
12:44:03	11,51	0,3227	73,55
12:54:03	11,51	0,3227	73,58
13:04:03	11,52	0,3227	73,62
13:11:12	11,53	0,3227	73,66
13:21:12	11,54	0,3227	73,69
13:31:13	11,55	0,3227	73,73
13:41:13	11,56	0,3227	73,77
13:41:13	11,56	0,3227	73,77
13:51:13	11,57	0,3227	73,81
14:01:13	11,58	0,3227	73,84
14:11:13	11,59	0,3227	73,88
14:21:05	11,60	0,3228	73,91
14:33:53	11,61	0,3228	73,97
14:43:53	11,62	0,3228	74,00
14:53:53	11,63	0,3228	74,08
15:03:53	11,64	0,3228	74,07
15:11:57	11,64	0,3228	74,07
15:21:57	11,65	0,3228	74,07
15:31:57	11,66	0,3228	74,06
15:41:57	11,67	0,3228	74,07
15:51:57	11,68	0,3228	74,03
16:01:57	11,69	0,3228	75,2
16:11:17	11,70	0,3228	73,05
16:21:17	11,71	0,3228	70,98
16:31:17	11,72	0,3228	68,68

<b>Tiempo de prueba</b>	<b>Swell (%)</b>	<b>Distancia (in)</b>	<b>Temp. (F)</b>
<b>16:53:03</b>	11,72	0,3228	67,15
<b>17:03:03</b>	11,72	0,3228	67,19
<b>17:13:04</b>	11,72	0,3228	67,31
<b>17:23:04</b>	11,72	0,3228	67,32
<b>17:33:04</b>	11,71	0,3228	67,51
<b>17:43:04</b>	11,72	0,3228	67,64
<b>17:53:04</b>	11,72	0,3228	67,86
<b>18:03:04</b>	11,71	0,3228	67,85
<b>18:13:04</b>	11,71	0,3228	67,89
<b>18:23:04</b>	11,72	0,3228	68,1
<b>18:33:04</b>	11,72	0,3228	68,23
<b>18:43:04</b>	11,72	0,3228	68,55
<b>18:52:43</b>	11,73	0,3228	68,61

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza (Q-MAX COLOMBIA)

**ANEXO 11**  
**PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA**  
**ORTEGUAZA CON EL FLUIDO NUEVO MAXDRILL**

Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)
0:00:00	0	0,2731	69,93
0:01:02	0,68	0,275	69,98
0:05:48	3,04	0,2814	69,98
0:10:35	4,27	0,2848	70,08
0:15:28	5,2	0,2873	70,03
0:20:11	5,57	0,2883	70,15
0:25:33	5,79	0,2889	69,97
0:30:08	5,98	0,2894	69,99
0:35:01	6,08	0,2897	69,99
0:40:04	6,18	0,2901	70,22
0:45:04	6,35	0,2904	70,25
0:50:02	6,49	0,2909	70,28
1:00:05	7,06	0,2924	70,34
1:10:12	7,21	0,2928	70,32
1:20:02	7,35	0,2932	70,29
1:31:01	7,43	0,2934	69,98
1:41:12	7,44	0,2936	69,95
1:50:57	7,51	0,2938	69,65
2:01:35	7,58	0,2938	69,88
2:10:23	7,61	0,2939	69,62
2:21:40	7,62	0,2939	69,62
2:30:01	7,64	0,2940	69,49
2:40:07	7,71	0,2942	69,28
2:51:22	7,78	0,2944	69,18
3:03:13	7,78	0,2944	69,01

Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)
3:31:35	7,96	0,2949	68,79
3:40:27	7,99	0,2950	68,65
3:51:35	8,03	0,2951	68,55
4:00:43	8,04	0,2951	68,41
4:11:16	8,08	0,2951	68,23
4:20:27	8,11	0,2952	68,06
4:31:32	8,14	0,2953	67,92
4:41:57	8,16	0,2953	67,82
4:51:29	8,19	0,2954	67,71
5:00:58	8,21	0,2955	67,61
5:09:23	8,23	0,2955	67,51
5:22:28	8,26	0,2956	67,37
5:30:04	8,28	0,2957	67,26
5:41:14	8,30	0,2957	67,16
5:51:14	8,31	0,2958	67,09
6:00:30	8,33	0,2958	67,02
6:09:37	8,35	0,2959	66,92
6:21:59	8,37	0,2959	66,81
6:31:46	8,39	0,2960	66,71
6:40:21	8,41	0,2960	66,64
6:52:25	8,43	0,2961	66,53
7:09:56	8,46	0,2962	66,40
7:19:56	8,47	0,2962	66,33
7:30:22	8,49	0,2963	66,22
7:43:47	8,51	0,2963	66,12

Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)	Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)
8:11:52	8,56	0,2965	65,91	12:04:39	9,17	0,2982	63,83
8:19:43	8,57	0,2965	65,84	12:09:39	9,17	0,2982	63,80
8:29:43	8,58	0,2966	65,77	12:19:39	9,18	0,2982	63,73
8:39:09	8,60	0,2966	65,70	12:29:03	9,18	0,2982	63,66
8:41:34	8,61	0,2966	65,67	12:39:03	9,17	0,2982	63,59
8:51:34	8,62	0,2967	65,60	12:49:03	9,17	0,2982	63,52
9:01:34	8,63	0,2967	65,53	13:04:03	9,17	0,2982	63,41
9:11:34	8,65	0,2967	65,46	13:11:12	9,16	0,2982	63,35
9:20:25	8,66	0,2968	65,39	13:21:12	9,16	0,2982	63,28
9:30:07	8,68	0,2968	65,32	13:31:13	9,17	0,2982	63,21
9:40:07	8,69	0,2969	65,25	13:41:13	9,18	0,2982	63,14
9:50:07	8,71	0,2969	65,18	13:51:13	9,18	0,2982	63,07
9:59:45	8,72	0,2969	65,11	14:01:13	9,19	0,2982	63,00
10:04:45	8,73	0,2970	65,08	14:11:13	9,18	0,2982	62,93
10:09:45	8,73	0,2970	65,04	14:21:05	9,18	0,2982	62,86
10:19:45	8,75	0,2970	64,97	14:33:53	9,18	0,2982	62,76
10:29:45	8,76	0,2971	64,91	14:43:53	9,19	0,2982	62,69
10:41:32	8,78	0,2971	64,80	14:53:53	9,18	0,2982	62,48
10:51:32	8,80	0,2972	64,73	15:03:53	9,18	0,2982	65,04
11:01:32	8,81	0,2972	64,66	15:11:57	9,19	0,2982	67,16
11:11:32	8,83	0,2973	64,59	15:21:57	9,19	0,2982	70,28
11:21:32	8,84	0,2973	64,52	15:31:57	9,18	0,2982	72,45
11:31:32	8,86	0,2974	64,35	15:41:57	9,19	0,2982	70,23
11:44:39	9,09	0,298	63,97	15:51:57	9,19	0,2982	68,17

---

<b>Tiempo de prueba</b>	<b>Swell (%)</b>	<b>Distancia (in)</b>	<b>Temp. (°F)</b>
<b>16:11:17</b>	9,14	0,2981	63,76
<b>16:21:17</b>	9,15	0,2981	63,99
<b>16:31:17</b>	9,13	0,2981	64,32
<b>16:41:17</b>	9,11	0,298	64,54
<b>16:51:17</b>	9,11	0,298	64,74
<b>17:01:17</b>	9,11	0,298	64,89
<b>17:11:17</b>	9,13	0,2981	65,08
<b>17:21:17</b>	9,12	0,298	65,34
<b>17:31:17</b>	9,11	0,298	65,41
<b>17:41:17</b>	9,11	0,298	65,87
<b>17:51:48</b>	9,14	0,2981	66,41
<b>18:01:48</b>	9,15	0,2981	66,46
<b>18:11:48</b>	9,14	0,2981	66,68
<b>18:21:48</b>	9,13	0,2981	66,83
<b>18:31:48</b>	9,08	0,2979	67,16
<b>18:41:48</b>	9,1	0,298	67,49

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza (Q-MAX COLOMBIA)

**ANEXO 12**  
**PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA TENA**  
**CON EL FLUIDO MAXDRILL**

Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)	Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)
0:00:00	0	0,3152	73,39	4:00:43	16,99	0,3687	71,07
0:10:02	4,11	0,3281	73,15	4:11:16	17,21	0,3694	71,05
0:20:11	6,09	0,3343	73,15	4:20:27	17,37	0,3699	71
0:30:08	7,59	0,3391	73,15	4:31:32	17,55	0,3705	70,74
0:40:04	8,78	0,3428	73,14	4:41:57	17,61	0,3706	70,74
0:50:02	10,03	0,3468	73,13	4:51:29	17,65	0,3708	70,69
1:00:05	11,16	0,3503	73,14	5:00:58	17,75	0,3711	70,68
1:10:12	11,62	0,3518	73,07	5:09:23	17,83	0,3713	70,43
1:20:02	12,33	0,3540	72,84	5:22:28	17,9	0,3716	70,32
1:20:02	12,33	0,3540	72,84	5:30:04	18,03	0,3720	70,18
1:31:01	13	0,3561	72,84	5:41:14	18,08	0,3705	70,00
1:41:12	13,31	0,3571	72,81	5:51:14	18,07	0,3709	69,96
1:50:57	13,56	0,3579	72,79	6:00:30	18,11	0,3713	69,65
2:01:35	13,87	0,3589	72,77	6:09:37	18,19	0,3718	69,61
2:10:23	14,33	0,3603	72,48	6:21:59	18,22	0,3724	69,62
2:21:40	14,69	0,3614	72,44	6:30:01	18,27	0,3727	69,53
2:30:01	14,94	0,3622	72,44	6:40:21	18,37	0,3733	69,31
2:40:07	15,25	0,3632	72,43	6:52:25	18,39	0,3738	69,19
2:51:22	15,69	0,3646	72,23	7:02:25	18,41	0,3743	69,10
2:59:17	15,95	0,3654	72,11	7:09:56	18,45	0,3746	69,01
3:03:13	16	0,3656	72,1	7:19:56	18,57	0,3749	68,92
3:13:37	16,12	0,3660	71,77	7:30:22	18,59	0,3754	68,79
3:20:29	16,28	0,3664	71,76	7:43:47	18,62	0,3759	68,66
3:31:35	16,48	0,3671	71,6	7:53:47	18,62	0,3763	68,57
3:40:27	16,63	0,3676	71,41	8:01:52	18,65	0,3766	68,48



Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)	Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)
8:19:43	18,98	0,3773	68,30	12:54:03	19,22	0,3852	67,38
8:29:43	18,70	0,3777	68,21	13:11:12	19,24	0,3852	67,41
8:41:34	18,80	0,3782	68,08	13:21:12	19,25	0,3856	67,42
8:51:34	18,83	0,3785	67,99	13:31:13	19,27	0,3857	67,43
9:01:34	18,85	0,3789	67,90	13:41:13	19,28	0,3857	67,44
9:11:34	18,88	0,3792	67,81	13:51:13	19,29	0,3859	67,46
9:20:25	18,89	0,3796	67,73	14:01:13	19,29	0,3859	67,47
9:30:07	18,90	0,3799	67,64	14:11:13	19,33	0,3761	67,47
9:40:07	18,91	0,3803	67,55	14:21:05	19,35	0,3761	67,49
9:50:07	18,92	0,3806	67,46	14:33:53	19,35	0,3761	67,53
10:04:45	18,93	0,3812	67,36	14:43:53	19,35	0,3761	67,56
10:19:45	18,95	0,3817	67,34	14:53:53	19,34	0,3761	67,57
10:29:45	18,96	0,3820	67,31	15:03:53	19,34	0,3761	67,59
10:41:32	18,98	0,3825	67,15	15:11:57	19,34	0,3761	67,63
10:51:32	18,99	0,3829	67,16	15:21:57	19,34	0,3761	69,9
11:01:32	19,01	0,3832	67,18	15:31:57	19,34	0,3761	73,24
11:11:32	19,02	0,3835	67,19	15:41:57	19,34	0,3761	75,6
11:31:32	19,06	0,3845	67,23	15:51:57	19,33	0,3761	73,44
11:39:39	19,13	0,3847	67,29	16:01:57	19,34	0,3761	71,36
11:54:39	19,14	0,3847	67,31	16:11:17	19,34	0,3761	69,05
12:04:39	19,16	0,3848	67,32	16:21:17	19,35	0,3761	66,93
12:09:39	19,17	0,3848	67,33	16:31:17	19,34	0,3761	67,53
12:19:39	19,18	0,3849	67,34	16:41:17	19,34	0,3761	67,58
12:34:03	19,21	0,3849	67,36	16:51:17	19,34	0,3761	67,86

---

<b>Tiempo de prueba</b>	<b>Swell (%)</b>	<b>Distancia (in)</b>	<b>Temp. (F)</b>
<b>17:21:17</b>	19,33	0,3761	68,33
<b>17:31:17</b>	19,34	0,3761	68,58
<b>17:41:17</b>	19,34	0,3761	68,73
<b>17:51:48</b>	19,35	0,3761	68,92
<b>18:01:48</b>	19,36	0,3762	69,01
<b>18:11:48</b>	19,37	0,3762	69,28
<b>18:21:48</b>	19,38	0,3762	69,55
<b>18:31:48</b>	19,44	0,3764	69,55
<b>18:41:48</b>	19,42	0,3764	69,65
<b>18:52:43</b>	19,45	0,3764	69,81

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza (Q-MAX COLOMBIA)

**ANEXO 13**  
**PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA TENA**  
**CON EL FLUIDO NUEVO MAXDRILL**

Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (F)
0:00:00	0	0,3263	70,37
0:00:11	0,05	0,3265	70,41
0:01:02	0,42	0,3277	70,47
0:10:02	3,8	0,3387	70,66
0:20:11	5,75	0,3451	70,68
0:30:08	7,23	0,3499	70,69
0:40:04	8,41	0,3538	70,7
0:50:02	9,64	0,3578	70,76
0:59:40	10,72	0,3613	71
1:00:05	10,77	0,3615	70,97
1:10:12	11,23	0,363	70,72
1:20:02	11,95	0,3653	70,69
1:31:01	12,56	0,3673	70,67
1:41:12	12,86	0,3683	70,66
1:50:57	13,07	0,369	70,58
2:01:35	13,35	0,3699	70,44
2:10:23	13,75	0,3712	70,35
2:21:40	13,93	0,3718	70,33
2:30:01	14,15	0,3725	70,32
2:40:07	14,32	0,3731	70,29
2:51:22	14,63	0,3741	70,02
2:59:17	14,75	0,3745	69,97
3:03:13	14,78	0,3746	69,98
Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (F)

3:20:29	14,95	0,3751	69,66
3:31:35	15,10	0,3756	69,63
3:40:27	15,19	0,3759	69,53
3:51:35	15,27	0,3762	69,35
3:59:36	15,30	0,3763	69,24
4:00:43	15,30	0,3763	69,20
4:11:16	15,31	0,3765	69,00
4:20:27	15,40	0,3767	68,81
4:31:32	15,45	0,3769	68,66
4:41:57	15,48	0,3770	68,54
4:51:29	15,52	0,3771	68,42
5:00:58	15,55	0,3772	68,31
5:09:23	15,59	0,3773	68,19
5:22:28	15,64	0,3775	68,04
5:30:04	15,68	0,3776	67,92
5:41:14	15,71	0,3777	67,81
5:51:14	15,74	0,3778	67,73
6:00:30	15,76	0,3779	67,65
6:09:37	15,80	0,3780	67,54
6:21:59	15,83	0,3781	67,42
6:30:01	15,86	0,3782	67,34
6:40:21	15,89	0,3783	67,23
6:52:25	15,93	0,3785	67,11
Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (F)
7:09:56	15,98	0,3786	66,96

<b>7:19:56</b>	16,00	0,3787	66,88
<b>7:30:22</b>	16,04	0,3788	66,76
<b>7:43:47</b>	16,07	0,3789	66,65
<b>7:56:52</b>	16,11	0,3791	66,53
<b>8:01:52</b>	16,12	0,3791	66,49
<b>8:11:52</b>	16,15	0,3792	66,41
<b>8:19:43</b>	16,17	0,3793	66,34
<b>8:29:43</b>	16,19	0,3793	66,26
<b>8:41:34</b>	16,23	0,3795	66,14
<b>8:51:34</b>	16,26	0,3795	66,07
<b>9:01:34</b>	16,28	0,3796	65,99
<b>9:11:34</b>	16,30	0,3797	65,91
<b>9:20:25</b>	16,33	0,3798	65,84
<b>9:30:07</b>	16,35	0,3799	65,76
<b>9:40:07</b>	16,38	0,3799	65,68
<b>9:50:07</b>	16,40	0,3800	65,60
<b>10:19:45</b>	16,47	0,3803	65,37
<b>10:29:45</b>	16,50	0,3803	65,29
<b>10:39:45</b>	16,52	0,3804	65,22
<b>10:51:32</b>	16,56	0,3805	65,10
<b>11:01:32</b>	16,58	0,3806	65,02
<b>11:11:32</b>	16,61	0,3807	64,95
<b>Tiempo de prueba</b>	<b>Swell (%)</b>	<b>Distancia (in)</b>	<b>Temp. (°F)</b>
<b>11:31:32</b>	16,69	0,3810	64,68
<b>11:39:39</b>	16,81	0,3814	64,29

<b>11:49:39</b>	16,83	0,3815	64,21
<b>11:59:39</b>	16,86	0,3815	64,13
<b>12:04:39</b>	16,87	0,3816	64,10
<b>12:14:39</b>	16,89	0,3817	64,02
<b>12:24:39</b>	16,92	0,3817	63,94
<b>12:34:03</b>	16,94	0,3818	63,86
<b>12:44:03</b>	17,01	0,3819	63,79
<b>12:54:03</b>	17,03	0,3819	63,71
<b>13:04:03</b>	17,09	0,3821	63,63
<b>13:11:12</b>	17,17	0,3824	63,56
<b>13:21:12</b>	17,25	0,3826	63,48
<b>13:31:13</b>	17,31	0,3828	63,40
<b>13:41:13</b>	17,34	0,3829	63,32
<b>13:51:13</b>	17,36	0,383	63,25
<b>14:01:13</b>	17,35	0,383	63,17
<b>14:11:13</b>	17,35	0,3829	63,09
<b>14:21:05</b>	17,35	0,3829	63,01
<b>14:33:53</b>	17,35	0,3829	62,90
<b>14:43:53</b>	17,34	0,3829	63,22
<b>14:53:53</b>	17,34	0,3829	65,79
<b>15:03:53</b>	17,34	0,3829	67,92
<b>Tiempo de prueba</b>	<b>Swell (%)</b>	<b>Distancia (in)</b>	<b>Temp. (°F)</b>
<b>15:21:57</b>	17,35	0,3829	73,22
<b>15:31:57</b>	17,34	0,3829	71
<b>15:41:57</b>	17,35	0,3829	68,94

---

<b>15:51:57</b>	17,35	0,383	66,64
<b>16:01:57</b>	17,34	0,3829	64,62
<b>16:11:17</b>	17,34	0,3829	64,83
<b>16:21:17</b>	17,35	0,3829	65,06
<b>16:31:17</b>	17,34	0,3829	65,38

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza (Q-MAX COLOMBIA)

**ANEXO 14**  
**PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA NAPO**  
**CON EL FLUIDO MAXDRILL**

Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (F)
0:00:00	0	0,339	73,14
0:11:55	0,62	0,3411	72,94
0:20:39	0,89	0,342	72,9
0:30:24	1,11	0,3427	72,78
0:41:39	1,29	0,3434	72,71
0:53:58	1,43	0,3438	72,39
1:03:58	1,45	0,3439	72,21
1:10:01	1,55	0,3442	72,03
1:20:01	1,57	0,3443	71,76
1:29:46	1,63	0,3445	71,65
1:42:04	1,71	0,3448	71,62
1:52:04	1,72	0,3448	71,39
2:04:18	1,84	0,3452	71,12
2:22:42	1,92	0,3455	70,69
2:32:42	1,95	0,3456	70,64
2:42:42	1,99	0,3457	70,33
2:52:42	2	0,3458	70,31
3:01:15	2,05	0,3459	70,26
3:09:58	2,14	0,3462	70
3:24:58	2,16	0,3463	69,85
3:33:20	2,24	0,3466	69,82
3:43:20	2,28	0,3467	69,64
3:53:20	2,3	0,3468	69,6
4:00:13	2,4	0,3471	69,58
4:10:13	2,43	0,3472	69,29
4:20:13	2,44	0,3472	69,24
4:30:05	2,5	0,3475	68,95
4:39:55	2,56	0,3477	68,92
4:49:55	2,58	0,3477	68,85
5:04:55	2,59	0,3478	68,57
5:19:55	2,63	0,3479	68,52
5:39:55	2,69	0,3481	68,2
5:54:55	2,71	0,3482	68

Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (F)
6:21:59	2,75	0,3485	71,54
6:30:01	2,75	0,3485	71,53
6:40:21	2,75	0,3485	71,51
6:52:25	2,75	0,3485	71,49
7:02:25	2,76	0,3485	71,48
7:09:56	2,76	0,3485	71,47
7:19:56	2,76	0,3485	71,45
7:30:22	2,76	0,3485	71,44
7:43:47	2,76	0,3485	71,42
7:53:47	2,76	0,3485	71,41
8:01:52	2,77	0,3485	71,39
8:11:52	2,77	0,3485	71,38
8:24:43	2,77	0,3485	71,36
8:41:34	2,77	0,3485	71,34
8:51:34	2,77	0,3485	71,33
9:01:34	2,77	0,3485	71,32
9:11:34	2,77	0,3485	71,30
9:20:25	2,77	0,3485	71,29
9:30:07	2,77	0,3485	71,28
9:40:07	2,77	0,3485	71,27
9:50:07	2,78	0,3485	71,26
9:59:45	2,79	0,3485	71,24
10:09:45	2,79	0,3485	71,23
10:24:45	2,8	0,3485	71,21
10:39:45	2,8	0,3485	71,20
10:51:32	2,83	0,3487	70,49
11:01:32	2,84	0,3487	70,48
11:11:32	2,85	0,3487	70,47
11:21:32	2,85	0,3487	70,46
11:31:32	2,85	0,3487	70,43
11:39:39	2,87	0,3487	70,37
11:54:39	2,88	0,3487	70,35
12:09:39	2,89	0,3488	70,33



Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)
12:34:03	2,91	0,3488	70,30
12:49:03	2,93	0,3488	69,48
13:04:03	2,95	0,3488	67,05
13:11:12	2,96	0,3488	65,43
13:21:12	2,97	0,3488	65,14
13:31:13	2,98	0,3488	66,56
13:41:13	3,01	0,3489	68,81
13:51:13	3,04	0,3492	72,14
14:01:13	3,07	0,3494	74,49
14:11:13	3,09	0,3496	60,68
14:21:05	3,11	0,3497	63,86
14:33:53	3,14	0,3497	68,39
14:43:53	3,14	0,3497	68,39
14:53:53	3,15	0,3497	67,19
15:03:53	3,16	0,3497	64,79
15:11:57	3,16	0,3497	62,39
15:21:57	3,16	0,3497	63,86

Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)
15:41:57	3,16	0,3497	68,81
15:51:57	3,15	0,3497	72,14
16:01:57	3,16	0,3497	74,49
16:11:17	3,16	0,3497	72,34
16:21:17	3,15	0,3497	70,28
16:31:17	3,16	0,3497	67,99
16:43:03	3,15	0,3497	66,47
16:53:03	3,15	0,3497	66,51
17:03:03	3,16	0,3497	66,8
17:13:04	3,16	0,3497	66,86
17:33:04	3,16	0,3497	67,23
17:43:04	3,16	0,3497	67,54
18:03:04	3,16	0,3497	67,74
18:13:04	3,16	0,3497	67,88
18:23:04	3,16	0,3497	68,2
18:33:04	3,15	0,3497	68,36
18:43:04	3,16	0,3497	68,7
18:52:43	3,16	0,3497	68,95

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza (Q-MAX COLOMBIA)

**ANEXO 15**  
**PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA NAPO**  
**CON EL FLUIDO NUEVO MAXDRILL**

Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)
0:00:00	0	0,3337	69,93
0:01:40	0,78	0,3363	69,99
0:10:02	2,16	0,3409	69,99
0:20:11	2,59	0,3423	70,15
0:30:08	3,19	0,3443	69,99
0:40:04	3,51	0,3454	70,22
0:50:02	3,67	0,3459	70,28
0:59:40	3,87	0,3466	70,34
1:00:05	3,90	0,3467	70,34
1:10:12	4,10	0,3474	70,32
1:20:02	4,36	0,3483	70,29
1:31:01	4,52	0,3487	69,98
1:41:12	4,60	0,3490	69,95
1:50:57	4,65	0,3492	69,65
1:57:10	4,6	0,3494	69,89
2:01:35	4,61	0,3494	69,88
2:10:23	4,81	0,3498	69,62
2:21:40	4,92	0,3501	69,62
2:30:01	4,96	0,3503	69,49
2:40:07	5,05	0,3506	69,28
2:51:22	5,15	0,3510	69,18
2:59:17	5,25	0,3512	69,02
3:03:13	5,25	0,3512	69,01
3:08:37	5,27	0,3513	68,94
3:20:29	5,36	0,3516	68,92
3:31:35	5,38	0,3517	68,79
3:40:27	5,38	0,3517	68,65
3:51:35	5,38	0,3518	68,55
4:00:43	5,40	0,3518	68,41
4:11:16	5,45	0,3520	68,23
4:20:27	5,49	0,3522	68,06
4:31:32	5,52	0,3522	67,92

Tiempo de prueba	Swell (%)	Distancia (in)	Temp. (°F)
4:51:29	5,58	0,3524	67,71
5:00:58	5,60	0,3525	67,61
5:09:23	5,63	0,3525	67,51
5:22:28	5,66	0,3527	67,37
5:30:04	5,69	0,3527	67,26
5:41:14	5,71	0,3528	67,16
5:51:14	5,73	0,3529	67,09
6:00:30	5,75	0,3529	67,02
6:09:37	5,77	0,3530	66,92
6:21:59	5,80	0,3531	66,81
6:30:01	5,82	0,3531	66,74
6:40:21	5,84	0,3532	66,64
6:52:25	5,87	0,3533	66,53
7:02:25	5,89	0,3533	66,47
7:09:56	5,90	0,3534	66,40
7:24:56	5,93	0,3535	66,29
7:30:22	5,95	0,3535	66,22
7:43:47	5,97	0,3536	66,12
7:53:47	5,99	0,3537	66,05
8:01:52	6,01	0,3537	65,98
8:11:52	6,02	0,3538	65,91
8:24:43	6,05	0,3538	65,81
8:34:43	6,07	0,3539	65,74
8:41:34	6,09	0,3540	65,67
8:51:34	6,10	0,3540	65,60
9:01:34	6,12	0,3541	65,53
9:11:34	6,14	0,3541	65,46
9:20:25	6,15	0,3542	65,39
9:30:07	6,17	0,3542	65,32
9:40:07	6,19	0,3543	65,25
9:50:07	6,21	0,3543	65,18
9:59:45	6,22	0,3544	65,11

<b>10:04:45</b>	6,23	0,3544	65,08	<b>15:21:57</b>	6,81	0,3564	70,28
<b>10:09:45</b>	6,24	0,3544	65,04	<b>15:31:57</b>	6,82	0,3565	72,45
<b>10:19:45</b>	6,26	0,3545	64,97	<b>15:41:57</b>	6,82	0,3565	70,23
<b>10:34:45</b>	6,28	0,3546	64,87	<b>15:51:57</b>	6,82	0,3565	68,17
<b>10:41:32</b>	6,30	0,3546	64,80	<b>16:01:57</b>	6,81	0,3564	65,89
<b>10:51:32</b>	6,32	0,3547	64,73	<b>16:11:17</b>	6,82	0,3565	63,76
<b>11:01:32</b>	6,34	0,3547	64,66	<b>16:21:17</b>	6,81	0,3564	63,99
<b>11:11:32</b>	6,35	0,3548	64,59	<b>16:31:17</b>	6,82	0,3565	64,32
<b>11:21:32</b>	6,37	0,3548	64,52	<b>16:41:17</b>	6,81	0,3564	64,54
<b>11:31:32</b>	6,41	0,3550	64,35	<b>16:51:17</b>	6,81	0,3564	64,74
<b>11:44:39</b>	6,51	0,3552	63,97	<b>17:01:17</b>	6,81	0,3564	64,89
<b>11:54:39</b>	6,53	0,3553	63,90	<b>17:11:17</b>	6,81	0,3564	65,08
<b>12:04:39</b>	6,55	0,3554	63,83	<b>17:21:17</b>	6,82	0,3565	65,34
<b>12:09:39</b>	6,56	0,3554	63,80	<b>17:31:17</b>	6,82	0,3565	65,41
<b>12:19:39</b>	6,58	0,3554	63,73	<b>17:41:17</b>	6,81	0,3564	65,87
<b>12:34:03</b>	6,61	0,3555	63,62	<b>17:51:48</b>	6,81	0,3564	66,41
<b>12:44:03</b>	6,62	0,3556	63,55	<b>18:01:48</b>	6,81	0,3564	66,46
<b>12:59:03</b>	6,63	0,3556	63,45	<b>18:11:48</b>	6,76	0,3563	66,68
<b>13:11:12</b>	6,64	0,3557	63,35	<b>18:21:48</b>	6,78	0,3563	66,83
<b>13:21:12</b>	6,68	0,356	63,28	<b>18:31:48</b>	6,77	0,3563	67,16
<b>13:31:13</b>	6,74	0,3562	63,21	<b>18:41:48</b>	6,78	0,3563	67,49
<b>13:41:13</b>	6,79	0,3564	63,14				
<b>13:51:13</b>	6,81	0,3564	63,07				
<b>14:01:13</b>	6,82	0,3565	63,00				
<b>14:11:13</b>	6,83	0,3565	62,93				
<b>14:21:05</b>	6,83	0,3565	62,86				
<b>14:33:53</b>	6,83	0,3565	62,76				
<b>14:43:53</b>	6,82	0,3565	62,69				
<b>14:53:53</b>	6,82	0,3564	62,48				
<b>15:03:53</b>	6,82	0,3565	65,04				
<b>15:11:57</b>	6,82	0,3565	67,16				

FUENTE: Q-MAX ECUADOR

ELABORADO POR: Gabriela Gómez y David Meza (Q-MAX COLOMBIA)