

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS**

### **"ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN FORMACIÓN FLUIDO Y SU IMPACTO EN LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN EN LA REGIÓN AMAZÓNICA DEL ECUADOR"**

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

**ANDRÉS FELIPE LARA ARIAS**

**andylara16@hotmail.com**

**DIRECTOR: ING. FRANCISCO ALBERTO ROMERO CASTRO**

**francisco.romero@qmax.com**

**Quito, Marzo 2016**

## DECLARACIÓN

Yo, Andrés Felipe Lara Arias, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes 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.

---

Andrés Felipe Lara Arias

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Andrés Felipe Lara Arias, bajo mi supervisión.

---

Ing. Francisco Romero Castro  
DIRECTOR DE PROYECTO

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer principalmente a la Universidad Politécnica Nacional por haberme acogido en toda mi vida universitaria y a mis profesores por ser parte de mi formación académica y humana.

De manera especial me gustaría agradecer a mi asesor de proyecto de titulación el Ing. Francisco Romero Castro, por sus conocimientos, dedicación y tiempo para la elaboración de mi trabajo previo a la obtención del título en Ingeniero en Petróleos.

Al Ing. Luis Durán, por darme la oportunidad de realizar este trabajo en la empresa Q-MAX SOLUTIONS.

Al Ing. Rubén Paredes, quien me ha transmitido sus diversos conocimientos en el laboratorio, al realizar pruebas de fluidos de perforación.

Al Ing. Santiago Lara por compartir sus conocimientos, tiempo y así apoyarme para la culminación de mi proyecto de titulación.

## DEDICATORIA

Este proyecto de titulación se lo dedico principalmente a Dios, ya que sin su bendición no hubiese podido llegar a ningún lado y este trabajo no sería una realidad.

Con mucho amor a mis padres Sonia y Santiago, por su amor y apoyo incondicional para poder alcanzar mis objetivos, y poder ser una mejor persona cada día.

A mis hermanos Mayte y Santiago por ser parte de mi vida, y haber contribuido de manera especial en el desarrollo de este trabajo.

A mis primas Liseth y Cynthia que han sido como mis hermanas, a mi mamita Lis quien me a acogido en su hogar y me brindo mucho amor y cariño.

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
RESUMEN .....	XIII
PRESENTACIÓN .....	XV
CAPÍTULO 1 .....	1
1 PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN Y DE LA FORMACIÓN EN LA SECCIÓN 12 ¼". .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN. ....	1
1.1.1 FLUIDO DE PERFORACIÓN .....	1
1.1.2 COMPOSICIÓN DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN.....	1
1.1.3 CLASIFICACIÓN DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN. ....	1
1.1.4 FUNCIONES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN. ....	3
1.2 PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN.....	4
1.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL FLUIDO.....	4
1.2.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL FLUIDO.....	7
1.2.3 PROPIEDADES REOLÓGICAS. ....	14
1.3 ADITIVOS DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN.....	16
1.3.1 DENSIFICANTES.....	16
1.3.2 VISCOSIFICANTES.....	17
1.3.3 CONTROLADORES DE FILTRADO.....	17
1.3.4 DISPERSANTES.....	17
1.3.5 CONTROLADORES DE PH.....	18
1.3.6 ESTABILIZADORES O INHIBIDORES DE ARCILLAS.....	18
1.4 PROPIEDADES DE LA FORMACIÓN.....	19
1.4.1 LUTITAS.....	19
1.4.2 ARCILLAS.....	21
1.5 PRUEBAS ESPECIALES PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DE LAS LUTITAS.....	35
1.5.1 PRUEBA DE TIEMPO DE SUCCIÓN CAPILAR (CST).....	37

1.5.2	PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL.....	39
1.5.3	PRUEBA DE DISPERSIÓN.....	40
1.6	ESTRATIGRAFÍA DE LA SECCIÓN 12 ¼”.....	42
1.6.1	FORMACIÓN ORTEGUAZA.....	44
1.6.2	FORMACIÓN TIYUYACU.....	44
1.6.3	FORMACIÓN TENA.....	45
1.6.4	FORMACIÓN NAPO.....	46
CAPÍTULO 2.....		48
2	IMPACTOS OCASIONADOS DURANTE LA PERFORACIÓN EN LA SECCIÓN 12 ¼”.....	48
2.1	PROBLEMAS EN LA PERFORACIÓN OCASIONADOS POR LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN.....	48
2.1.1	PÉRDIDA DE CIRCULACIÓN.....	48
2.1.2	PROBLEMAS CON LUTITAS Y LA INESTABILIDAD DEL HUECO.....	50
2.1.3	BROTOS O SURGENCIAS.....	55
2.1.4	PEGA DE TUBERÍA.....	56
2.2	RESUMEN DE LA PERFORACIÓN Y PROBLEMAS PRESENTADOS EN LA SECCIÓN 12 ¼” EN LOS POZOS A1, A2, B1Y B2.....	58
2.2.1	POZO A1.....	58
2.2.2	POZO A2.....	63
2.2.3	POZO B1.....	65
2.2.4	POZO B2.....	68
2.3	FLUIDOS DE PERFORACIÓN UTILIZADOS EN LA PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN 12 ¼” EN LOS POZOS A1, A2, B1, B2.....	70
2.3.1	FLUIDO DE PERFORACIÓN A1.....	70
2.3.2	FLUIDO DE PERFORACIÓN A2.....	71
2.3.3	FLUIDO DE PERFORACIÓN B1.....	72
2.3.4	FLUIDO DE PERFORACIÓN B2.....	72
2.4	PROBLEMAS POR LA INTERACCIÓN FORMACIÓN FLUIDO DE PERFORACIÓN EN LA SECCIÓN 12 ¼” EN LOS POZOS A1, A2, B1 Y B2.....	73
2.4.1	POZO A1.....	73
2.4.2	POZO A2.....	79
2.4.3	POZO B1.....	81
2.4.4	POZO B2.....	83
2.4.5	ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN FORMACIÓN FLUIDO EN LOS POZOS A1, A2, B1 Y B2.....	85
CAPÍTULO 3.....		86

3	ANÁLISIS TÉCNICO PARA MINIMIZAR EL IMPACTO DURANTE LA PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN 12 ¼".	86
3.1	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN A TRAVÉS DE PRUEBAS FÍSICAS Y REOLÓGICAS ANTES Y DESPUES DE ROLAR.	87
3.1.1	REALIZACIÓN DE PRUEBAS FÍSICAS Y REOLÓGICAS A LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN FORMULADOS ANTES DE ROLAR.	87
3.1.2	REALIZACIÓN DE PRUEBAS FÍSICAS Y REOLÓGICAS A LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN FORMULADOS DESPUÉS DE ROLAR.	90
3.2	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN CON LAS ARCILLAS REACTIVAS DE LA SECCIÓN 12 ¼" A TRAVÉS DEL EQUIPO DE MEDICIÓN DE HINCHAMIENTO LINEAL.	94
3.2.1	Medición del Hinchamiento Lineal de las Arcillas.	95
3.2.2	PRUEBA DE TIEMPO DE SUCCIÓN CAPILAR.	99
3.2.3	PRUEBA DE DISPERSIÓN.	103
3.2.4	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO.	106
3.2.5	análisis de difracción de rayos x.	107
3.3	SELECCIÓN DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN.	108
3.4	RESUMEN DE PERFORACIÓN DE LOS POZOS A3 Y B3.	108
3.4.1	POZO A3.	108
3.4.2	POZO B3.	110
	CAPÍTULO 4	114
4	ANÁLISIS ECONÓMICO	114
4.1	COSTO DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN EN LA SECCIÓN 12 ¼" EN LOS POZOS A1, A2, B1 Y B2.	114
4.2	COSTO DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN EN LA SECCIÓN 12 ¼" EN LOS POZOS A3 Y B3.	116
4.3	COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE LOS POZOS A1, A2 VERSUS A3 Y LOS POZOS B1, B2 VERSUS B3.	120
	CAPÍTULO 5	124
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	124
5.1	CONCLUSIONES.	124
5.2	RECOMENDACIONES.	127
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
	GLOSARIO.	131
6	ANEXOS.	136

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Balanza de fluido.....	5
Figura 1.2 Filtro de prensa .....	6
Figura 1.3 Ensayos de laboratorio.....	7
Figura 1.4 Tiritas de pH.....	7
Figura 1.5 PH metro .....	8
Figura 1.6 Equipo de prueba MBT .....	12
Figura 1.7 Viscosimetro de Fann.....	14
Figura 1.8 Lutitas presirizadas .....	20
Figura 1.9 Estado de Agregación de las arcillas .....	25
Figura 1.10 Estado de Dispersión de las arcillas.....	26
Figura 1.11 Estado de Floculación de las arcillas .....	26
Figura 1.12 Estado de Defloculación de las arcillas.....	27
Figura 1.13 Intercambio catiónico de las arcillas.....	30
Figura 1.14 Estado Defloculado de las arcillas.....	31
Figura 1.15 Componentes de la arcilla .....	33
Figura 1.16 Arcillas laminares .....	34
Figura 1.17 Arcillas fibrosas .....	35
Figura 1.18 Cortes de perforación.....	36
Figura 1.19 Cortes de perforación.....	36
Figura 1.20 Equipo de tiempo de succión capilar.....	38
Figura 1.21 Pastilla de muestra del corte de perforación .....	40
Figura 1.22 Equipo de Hinchamiento Lineal.....	40
Figura 1.23 Horno de Rolar.....	41
Figura 1.24 Columna Estratigráfica del Oriente Ecuatoriano.....	43
Figura 2.1 Fuerza mecánica de las lutitas .....	52
Figura 3.1 Viscosidad plástica .....	87
Figura 3.2 Punto cedente .....	88
Figura 3.3 Fuerza de geles.....	89
Figura 3.4 Filtrado API .....	89
Figura 3.5 PH .....	90

Figura 3.6 Viscosidad plástica después de rolar .....	91
Figura 3.7 Punto cedente después de rolar .....	92
Figura 3.8 Fuerza de geles después de rolar .....	93
Figura 3.9 Filtrado API después de rolar .....	93
Figura 3.10 PH después de rolar.....	94
Figura 3.11 Equipo de hinchamiento lineal .....	95
Figura 3.12 Compactador para la fabricación de pastillas.....	95
Figura 3.13 Hinchamiento lineal en Orteguaza. ....	96
Figura 3.14 Hinchamiento lineal en Tiyuyacu.....	97
Figura 3.15 Hinchamiento lineal en Tena .....	97
Figura 3.16 Hinchamiento lineal en Napo .....	98
Figura 3.17 CST del agua fresca.....	99
Figura 3.18 CST de la formulación 1 .....	100
Figura 3.19 CST de la formulación 2.....	101
Figura 3.20 CST de la formulación 3.....	102
Figura 3.21 Muestras para las pruebas de Dispersión .....	103
Figura 3.22 Resultados de las pruebas de Dispersión .....	106
Figura 3.23 Análisis de difracción de rayos X.....	107
Figura 4.1 Costos de los fluidos de perforación de la sección 12 ¼" .....	114
Figura 4.2 Densidad máxima del fluido de perforación en la sección 12 ¼" .....	116
Figura 4.3 Costos de los fluidos de perforación en la sección 12 ¼" .....	118
Figura 4.4 Densidad máxima del fluido de perforación en la sección 12 ¼" .....	119
Figura 4.5 Comparación de costos de los fluidos de perforación en la sección 12 ¼" .....	120
Figura 4.6 Comparación del costo promedio del fluido de perforación por cada pie perforado.....	121
Figura 4.7 Comparación de costos de la perforación en la sección 12 ¼" .....	122
Figura 4.8 Comparación de costos de perforación por pie perforado en la sección 12 ¼" .....	123

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Capacidad de intercambio por cada 100 gramos de arcilla seca .....	32
Tabla 2.1 Propiedades del fluido de perforación del pozo A1 en la sección 12 ¼” .....	70
Tabla 2.2 Propiedades del fluido de perforación del pozo A2 en la sección 12 ¼” .....	71
Tabla 2.3 Propiedades del fluido de perforación del pozo B1 en la sección 12 ¼” .....	72
Tabla 2.4 Propiedades del fluido de perforación del pozo B2 en la sección 12 ¼” .....	73
Tabla 2.5 Interacción Formación Fluido en los pozos A1, A2, B1 y B2. . . . .	85
Tabla 3.1 Formulación de los fluidos de perforación preparados .....	86
Tabla 3.2 Resultado de las pruebas de Hinchamiento Lineal.....	96
Tabla 3.3 Resultado de las pruebas CST con agua fresca .....	99
Tabla 3.4 Resultado de las pruebas CST con la formulación 1 .....	100
Tabla 3.5 Resultado de las pruebas CST con la formulación 2.....	100
Tabla 3.6 Resultado de las pruebas CST con la formulación 3.....	101
Tabla 3.7 Resultado de las pruebas de Dispersión con agua fresca.....	104
Tabla 3.8 Resultado de las pruebas de Dispersión con la formulación 1 .....	104
Tabla 3.9 Resultado de las pruebas de Dispersión con la formulación 2 .....	105
Tabla 3.10 Resultado de las pruebas de Dispersión con la formulación 3 .....	105
Tabla 3.11 Capacidad de intercambio catiónico.....	106
Tabla 3.12 Propiedades del fluido de perforación en la sección 12 ¼” del pozo A3 .....	110
Tabla 3.13 Propiedades del fluido de perforación en la sección 12 ¼” del pozo B3 .....	113
Tabla 4.1 Costo de los fluidos de perforación en los pozos A1, A2, B1, B2 en la sección 12 ¼” .....	115
Tabla 4.2 Costo promedio por pie perforado del fluido de perforación en los pozos A1, A2, B1, B2 en la sección 12 ¼” .....	115
Tabla 4.3 Costo del fluido de perforación del pozo A3 en la sección 12 ¼” .....	116
Tabla 4.4 Costo del fluido de perforación del pozo B3 en la sección 12 ¼” .....	117

Tabla 4.5 Costo del fluido de perforación en los pozos A3 y B3 en la sección 12 ¼" .....	118
Tabla 4.6 Costo promedio por pie perforado del fluido de perforación en los pozos A3 y B3 en la sección 12 ¼" .....	118
Tabla 4.7 Costo aproximado de la perforación de la sección 12 ¼" .....	121
Tabla 4.8 Costo aproximado por pie perforado de la sección 12 ¼" .....	123

## RESUMEN

En el presente proyecto se analizará la interacción formación fluido y los impactos que este causa durante la perforación de la sección 12 ¼", para ello se realizara un detalle de las propiedades físicas, químicas y reológicas del fluido de perforación, de la misma manera se lo hizo con las propiedades físicas, químicas de la formación especialmente de las arcillas y lutitas.

Posteriormente se describirá los problemas que causa el fluido de perforación mal aplicado durante la perforación de la sección 12 ¼", atravesando las formaciones Orteguaza, Tiyuyacu, Tena y Napo que se caracterizan por tener arcillas y lutitas.

Las arcillas de las formaciones perforadas en contacto con un mal fluido de perforación base agua se hinchan, mientras las lutitas en contacto con el fluido de perforación base agua se derrumban causando problemas durante la perforación, como pérdida de circulación, pega de tubería y la inestabilidad del pozo, entre otros.

Mediante el análisis de 4 pozos perforados se detalla los eventos y procesos suscitados durante la perforación, de la misma manera las propiedades que mantuvo el fluido de perforación, con el fin de describir los impactos causados por la interacción fluido formación y las soluciones que se dieron al fluido para solucionar dichos problemas.

En laboratorio se elaborará 3 formulaciones de fluido de perforación con distinta cantidad de inhibidores en ellas, con el fin de comparar sus cualidades en las arcillas y lutitas para una mejor perforación y minimizar los problemas que son causados por la falta de inhibición en las mismas.

Los 3 fluidos de perforación serán sometidos a pruebas físicas y químicas para determinar la viscosidad plástica, su punto cedente, la fuerza de los geles, el filtrado, y el pH antes y después de rolar con el fin de visualizar los cambios que el fluido de perforación tiene con el aumento de temperatura. Con la realización de pruebas especiales como el tiempo de succión capilar, hinchamiento lineal, capacidad de intercambio catiónico, análisis de difracción de rayos X y la prueba de dispersión se escoge a la mejor formulación de fluido de perforación, para

recomendar la aplicación del mismo en la perforación manteniendo las propiedades encontradas en laboratorio.

Se detalla la perforación de los dos pozos con la aplicación de la formulación del fluido de perforación recomendado demostrando la minimización de problemas durante la perforación.

Se realizara un análisis económico de los beneficios de aplicar las propiedades recomendadas en el laboratorio, obteniendo recomendaciones y conclusiones del proyecto.

## PRESENTACIÓN

Posterior al análisis del impacto de la interacción formación – fluido, se demostrará una mejor perforación mediante minimizar dicho impacto que el fluido de perforación causa en las formaciones en la sección 12 ¼” minimizando problemas de perforación a causa del mismo.

En laboratorio se formulará tres fluidos cumpliendo condiciones físicas y químicas necesarias que permite optimizar los procesos de perforación.

Con el uso de inhibidores que impiden el hinchamiento de las formaciones arcillosas, protege la estabilidad del hoyo, más la experiencia en la perforación de dos pozos y la utilización del fluido formulado se logrará minimizar los impactos de la interacción formación – fluido, logrando cumplir la expectativa requerida del fluido de perforación.

# CAPÍTULO 1

## PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN Y DE LA FORMACIÓN EN LA SECCIÓN 12 ¼".

### 1.1 INTRODUCCIÓN.

Las propiedades de un fluido de perforación y de la formación que está siendo perforada son monitoreadas con el fin de realizar un mejor proceso de perforación, a través de la toma de decisiones oportunas.

#### 1.1.1 FLUIDO DE PERFORACIÓN<sup>1</sup>

Es un fluido de características físicas y químicas apropiadas, que puede ser aire o gas, agua, aceite y combinaciones de agua y aceite (invertido) en diferentes contenidos de sólidos. No debe ser tóxico, corrosivo ni inflamable pero sí inerte a las contaminaciones de sales solubles o minerales, y además, estable a las temperaturas. Debe mantener sus propiedades según las exigencias de las operaciones y debe ser inmune al desarrollo de bacterias.

#### 1.1.2 COMPOSICIÓN DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN.

Los fluidos de perforación están compuestos básicamente por una fase continua, que generalmente es líquida. Igualmente, se encuentra la fase dispersa que puede ser líquida, sólida o gaseosa.

#### 1.1.3 CLASIFICACIÓN DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN.<sup>2</sup>

En base a lo anterior, se clasifican de la siguiente manera:

---

<sup>1</sup> Key Silva (s.f.) Definición del fluido de perforación. Obtenido de [http://www.academia.edu/7837252/DEFINICION\\_DE\\_FLUIDO\\_DE\\_PERFORACION](http://www.academia.edu/7837252/DEFINICION_DE_FLUIDO_DE_PERFORACION)

<sup>2</sup>Baroid. Halliburtoon (S.F.). Manual de Fluidos. Houston Usa.

### **1.1.3.1 Fluido base agua.**

Son aquellos en los cuales la fase continua es agua fresca o salada y esta proporciona un medio de suspensión para los sólidos.

### **1.1.3.2 Fluido base aceite.**

Existen dos tipos principales de sistemas: 1) fluido directo, que contienen la menor cantidad en agua y mezclas de álcalis que no debe superar el 5 %, ácidos orgánicos, agentes estabilizantes, asfaltos oxidados y diesel de alto punto de llama o aceites minerales no tóxicos; 2) emulsiones inversas, estos sistemas contienen más del 50 % de agua en el aceite estabilizada por emulsionantes especiales.

### **1.1.3.3 Fluido gas aire.<sup>3</sup>**

Son fluidos cuya fase continua está constituida por gas o aire. Es generalmente utilizado en áreas donde las pérdidas de circulación son severas y también en zonas extremadamente duras o altamente consolidadas, ya que este tipo de fluidos permite obtener altas tasas de penetración. Su utilización permite además, una mayor eficiencia y duración de la broca, un estricto control sobre las pérdidas de circulación, un mínimo daño a las formaciones prospectivas y una evaluación continua e inmediata de los hidrocarburos.

### **1.1.3.4 Fluido seudo-aceites. cuya fase continúa es un material sintético producido por síntesis química.<sup>4</sup>**

Este tipo de fluido cuya fase continúa es un material sintético producido por síntesis químicas, posee la mayoría de propiedades de los fluidos con fase

---

<sup>3</sup> Santiago Javier Lara Arias. 2007. Estudio de la Efectividad del Sistema Rompedor de Revoque N-Flow en Pozos Horizontales, en un Campo del Oriente Ecuatoriano. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador – Quito.

<sup>4</sup> Angela Maldonado. 2006. Formulación y Evaluación de los Fluidos de Perforación de Base Agua de Alto Rendimiento Aplicados al Campo Balcón como Sustitutos del Lodo Base Aceite. Universidad Industrial de Santander. Colombia. Bucaramanga.

continua aceitosa. Con su uso se pueden disminuir los problemas de contaminación causados, pero muchos de ellos, presentan toxicidad acuática.

A continuación se describirá de manera sencilla las funciones del fluido de perforación.

#### **1.1.4 FUNCIONES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN.<sup>5</sup>**

Los fluidos deben cumplir con funciones específicas, pero el propósito fundamental es ayudar a hacer rápida y segura la perforación, mediante el cumplimiento de ciertas propiedades necesarias. Estas deben ser determinadas por distintos ensayos y es responsabilidad del encargado en fluidos durante la operación comparar las propiedades a la entrada y salida del hoyo para realizar los ajustes necesarios. Si el fluido no tiene las propiedades necesarias para una u otra función, se puede cambiar su composición o mejorarse agregándole agua, arcillas comerciales, material densificante o algún producto químico. Aunque el orden de importancia sea determinado por las condiciones del pozo, las funciones más comunes del fluido de perforación son las siguientes:<sup>6</sup>

- Remover y transportar el ripio del fondo del pozo a la superficie.
- Enfriar y lubricar la broca y la sarta de perforación.
- Cubrir la pared del hoyo con un revoque liso, delgado, flexible e impermeable.
- Controlar las presiones de la formación.
- Mantener los ripios y el material densificante en suspensión cuando se interrumpa la circulación.
- Soportar por flotación, parte del peso de la sarta de perforación y de la tubería de revestimiento, durante su inserción en el hoyo.
- Mantener en sitio y estabilizada la pared del hoyo, evitando derrumbes.
- Transmitir potencia hidráulica sobre la formación a través de la broca.

---

<sup>5</sup> Baroid. Halliburtoon (S.F.). Manual de Fluidos. Houston Usa.

<sup>6</sup> Baroid Halliburtoon (S.F.). Manual de Fluidos. Houston. Usa.

- Facilitar la cementación y completación.
- Minimizar el impacto sobre el ambiente.

Las propiedades de los fluidos se describen a continuación.

## **1.2 PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN.<sup>7</sup>**

Las propiedades de los fluidos permitirán controlar y mantener un excelente desempeño del fluido en las operaciones de perforación. Éstas se dividen en propiedades físicas y químicas.

### **1.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL FLUIDO.**

#### **1.2.1.1 Densidad.<sup>8</sup>**

Es el peso por unidad de volumen y puede expresarse de distintas maneras: libras por galón, libras por pie cúbico o kilogramos por metro cúbico. Es una de las principales propiedades del fluido de perforación, estabiliza las paredes del hoyo al transmitir la presión requerida por las mismas.

##### *1.2.1.1.1 Medición de densidad.*

La balanza convencional y presurizada de fluido de perforación ambas utilizan un principio que consiste en un brazo graduado y un contrapeso para medir la densidad. En la mayoría de las aplicaciones la balanza convencional es adecuada, sin embargo si el fluido de perforación o la lechada de cemento contienen una cantidad significativa de aire atrapado, la balanza presurizada debe ser utilizada. La balanza presurizada de fluido de perforación comprime la cantidad de aire atrapado a un volumen insignificante de manera que el valor obtenido es comparable al valor que se obtendrá en el fondo del pozo.

---

<sup>7</sup> M.I. (S.F.). Manual de Fluidos. USA.

<sup>8</sup> Baroid Drillin Fluids Inc., (S.F.).Curso de Entrenamiento de Fluidos. Manual



**Figura 1.1 Balanza de Fluido.**

### **1.2.1.2 Filtrado.**

Indica la cantidad relativa de líquido que se filtra a través del revoque hacia las formaciones permeables. Es necesario controlar la cantidad o velocidad de filtración, el espesor y textura del revoque. La mejor forma de manejar la filtración es manejando la permeabilidad del revoque, esto mediante el tamaño, la forma, y la deformabilidad de las partículas bajo presión. Para un control adecuado de la filtración es necesaria la formación de un revoque delgado y resistente sobre la superficie de las formaciones. Para prevenir que los fluidos de la formación entren al hoyo, la presión hidrostática de la columna de fluido debe ser mayor que la presión de los fluidos en los poros de la formación. Existen dos tipos de filtración: dinámica y estática. La dinámica tiene lugar cuando el fluido está circulando, el revoque se erosiona y por lo tanto es más delgado que el revoque estático. La filtración estática tiene lugar cuando el fluido no está en movimiento, el revoque se hace más grueso con el tiempo, dado que el revoque restringe el flujo de filtrado y la tasa o velocidad de filtración con el tiempo. La filtración estática en fluidos base agua se mide con ensayos a baja presión y temperatura ambiente.

#### *1.2.1.2.1 Medición de pérdida de filtrado.<sup>9</sup>*

El filtro de baja presión sigue las especificaciones API para la medición de filtración. La presión es provista de cartuchos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), pero la modificación de las conexiones permite el uso de aire comprimido proveniente del equipo o de cilindros.

---

<sup>9</sup> Baroid Drillin Fluids Inc., (S.F.).Curso de Entrenamiento de Fluidos. Manual



**Figura 1.2 Filtro Prensa.**

### **1.2.1.3 Contenido de agua y sólidos.**

Existen sólidos deseables (arcilla, Barita) e indeseables (como ripios y arenas) que hay que eliminar. Si los porcentajes de sólidos aumentan, también aumenta la densidad del fluido de perforación, por lo tanto, se alteran las propiedades reológicas, pudiendo tener como consecuencia el atascamiento diferencial (incrustación de la sarta de perforación en un revoque grueso por presión diferencial) y reducción de la vida útil de la broca. El conocimiento de la concentración y composición de los sólidos es considerado básico para el control de la viscosidad y filtración de los fluidos base agua.

#### *1.2.1.3.1 Contenido de sólidos.*

Los sólidos totales se pueden medir usando un tubímetro, o maquina sacudadora.

#### *1.2.1.3.2 Medición de contenido de arena.<sup>10</sup>*

El contenido de arena es definido por la API como el porcentaje por volumen de partículas que son retenidas en una malla de 200-mesh (74 micras). La más utilizada consiste en un juego de cedazos de un diámetro de dos y medio pulgadas con una malla de 200, un embudo encaja en el cedazo y un recipiente de vidrio calibrado desde 0 a 20%. El porcentaje de arena se lee directamente del recipiente de vidrio y se registra en el informe de fluido.

---

<sup>10</sup> Baroid Drilling Fluids Inc., (S.F.).Curso de Entrenamiento de Fluidos. Manual



**Figura 1.3 Ensayos de Laboratorio.**

## 1.2.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL FLUIDO.

Las propiedades químicas se presentan a continuación.

### 1.2.2.1 PH.

Es la medida de concentración de iones de hidrógeno y se puede relacionar con la alcalinidad. Si está por arriba de 7.0, la solución es básica, éste es el valor de pH que se requiere en todos los fluidos de perforación, debido a que reduce la corrosión de los equipos causada por la acidez del fluido.

#### 1.2.2.1.1 *Medición de pH.*<sup>11</sup>

La medición del pH se lo puede realizar de dos formas. La primera es mediante tiritas de papel como se presenta en la figura 1.4 y la segunda mediante el medidor con electrodo de vidrio, como se muestra en la figura 1.5.



**Figura 1.4 Tiritas de pH.**

<sup>11</sup> Baroid Drilling Fluids Inc., (S.F.).Curso de Entrenamiento de Fluidos. Manual



**Figura 1.5 pH Metro.**

### 1.2.2.2 Contenido de cloruros.

La fuente de iones cloruro en un fluido de perforación pueden ser sales disueltas de  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  del agua con que se prepara el fluido, por adición de sales en superficie, la perforación de vetas de sal, o influjos de agua salada.

#### 1.2.2.2.1 Medición del Contenido de Cloruros.<sup>12</sup>

En esta prueba se determina la concentración de iones de cloruro disuelto en el filtrado. El equipo a utilizarse es:

- 1 ml de muestra.
- Plato de titulación.
- Pipetas.
- Solución indicadora de cromato de potasio.
- Solución tituladora de Nitrato de Plata ( $\text{AgNO}_3$ ).

El procedimiento a seguir es:

- Colocar 1 ml de filtrado en el plato de titulación.

---

<sup>12</sup> Q-Max Solutions. (2014). Manual de Laboratorio. Folleto.

- Agregar 6 gotas de la solución indicadora.
- La solución se torna de color amarillo y se coloca la solución tituladora hasta conseguir el cambio de color a rojo.
- Cada ml de Nitrato de Plata se multiplicara por 1000 y se tendrá los mg/l de cloruros presentes en la muestra.

### 1.2.2.3 Dureza del calcio.<sup>13</sup>

En esta prueba se determina la concentración de iones del calcio en un fluido base agua, permite detectar la contaminación por cemento que afectan las propiedades del fluido, mediante la relación con el Cl se puede ver si hay contaminación por sal.

#### 1.2.2.3.1 *Medición de la dureza del calcio.*

El ensayo se realiza utilizando el siguiente equipo:

- 1 ml de muestra.
- Plato de titulación.
- Pipetas.
- Solución búfer de calcio (Calcium Buffer Solution).
- Polvo indicador CalVer II.
- Solución tituladora de dureza total (THTS).

El procedimiento a seguir es:

- Colocar 1 ml de filtrado en el plato de titulación.
- Agregar 6 gotas de solución búfer de Calcio.
- Agregar hasta 0.5 g de polvo indicador hasta que cambie de color a rojo, previo a la existencia de calcio.
- Agregar la solución tituladora hasta que cambie de color a violeta o azul.
- Cada ml de THTS se multiplicará por 400 y obtenemos los mg/l de calcio presente en la muestra.

---

<sup>13</sup> Q-Max Solutions. (2014). Manual de Laboratorio. Folleto.

#### 1.2.2.4 Dureza total.<sup>14</sup>

Es el resultado de la suma de la concentración de iones calcio y magnesio en el filtrado de fluido de perforación.

##### 1.2.2.4.1 *Medición de la Dureza Total.*

El equipo a utilizarse es:

- 1 ml de muestra.
- Plato de titulación.
- Pipetas.
- Solución indicadora de versenato búfer.
- Solución indicadora de dureza de versenato.
- Solución tituladora de dureza (THTS).

El procedimiento a seguir es:

- Colocar 1 ml de filtrado en el plato de titulación.
- Agregar 6 gotas de solución indicadora de versenato búfer.
- Agregar 6 gotas de solución indicadora de dureza versenato.
- La solución se torna de un color rojo, se adiciona la solución tituladora hasta que se torne de un color violeta o azul.
- Cada ml de solución tituladora se multiplica por 400 y se obtiene el valor en mg/l de Ca & Mg.

#### 1.2.2.5 Alcalinidad del fluido.<sup>15</sup>

En esta prueba se determina la cantidad de iones solubles que contribuyen a la alcalinidad en un fluido de perforación base agua.

##### 1.2.2.5.1 *Medición de la Alcalinidad del Filtrado.*

El equipo a utilizarse es:

---

<sup>14</sup> Q-Max Solutions. (2014). Manual de Laboratorio. Folleto.

<sup>15</sup> Q-Max Solutions. (2014). Manual de Laboratorio. Folleto.

- 1 ml de muestra.
- Plato de titulación.
- Pipetas.
- Solución indicadora de fenolftaleína.
- Solución indicadora naranja de metilo.
- Solución tituladora ácido sulfúrico 0.02N (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

El procedimiento a seguir es:

- Colocar 1 ml de filtrado en el plato de titulación.
- Agregar 6 gotas de solución indicadora fenolftaleína.
- La solución se torna de un color rosado, se adiciona la solución tituladora hasta que se torne transparente.
- Cada ml de la solución tituladora es el valor correspondiente a Pf.
- Agregar 6 gotas de solución indicadora naranja de metilo.
- La solución se torna de color naranja, se adiciona la solución tituladora hasta que se torne de color rosado.
- Cada ml de la solución tituladora es el valor correspondiente a Mf.

#### **1.2.2.6 Ensayo con azul de metileno (MBT).<sup>16</sup>**

Determinar la capacidad de intercambio de cationes (CEC) y la concentración equivalente de bentonita de un fluido de perforación base agua.

##### *1.2.2.6.1 Medición MBT.*

El equipo requerido se muestra en la figura 1.4 y está compuesto de:

- Frasco Erlenmeyer de 250-ml.
- Jeringa 10-ml (sin aguja).
- Dos pipetas de 1-mL.
- Cilindro graduado de 25-ml.

---

<sup>16</sup> Baroid Drilling Fluids Inc., (S.F.).Curso de Entrenamiento de Fluidos. Manual

- Varilla agitadora.
- Calentador eléctrico.
- Agua destilada.
- Solución de azul de metileno (3.74 g/L).
- Solución de peróxido de hidrogeno 3%.
- Solución ácido sulfúrico 5N.
- Papel de filtro API.



**Figura 1.6 Equipo de Prueba MBT.**

El procedimiento a seguir es:

- Recoger una muestra de fluido.
- Agregar 10 ml de agua destilada en el frasco Erlenmeyer.
- Transferir 1 ml de la muestra de fluido al frasco Erlenmeyer; mover en redondo el frasco para dispersar la muestra.
- Agregar a la mezcla 15 ml de la solución de peróxido de hidrógeno.
- Agregar a la mezcla 0.5 ml de la solución de ácido sulfúrico.
- Colocar el frasco sobre el calentador que hierva la mezcla, y hervir la mezcla a fuego lento durante 10 minutos.
- Retirar el frasco del calentador y diluir la mezcla a 50 ml con agua destilada. Dejar enfriar la mezcla.

- Agregar a la mezcla de 0.5 ml de solución de azul de metileno.
- Agitar el contenido del frasco Erlenmeyer durante unos 20 segundos.
- Transferir con la varilla agitadora una gota de la mezcla al papel de filtro.

#### **1.2.2.7 Capacidad de azul de metileno para sólidos perforados.<sup>17</sup>**

Esta prueba nos revela la cantidad de intercambio catiónico para sólidos perforados. La solución de azul de metileno se utiliza para valorar una muestra de sólidos perforación secos, molidos y tratados y tratados con un oxidante y un dispersante fuerte. La dispersión de la muestra de sólidos de perforación es valorada con azul de metileno hasta que aparezca un “halo” azul.

##### *1.2.2.7.1 Medición de la Capacidad de Azul de Metileno para Sólidos Perforados.*

El equipo requerido es:

- Solución Azul de Metileno.
- Pirofosfato Tetrasódico al 2%.
- Peróxido de Hidrogeno al 3%.
- Ácido Sulfúrico diluido 5N.
- Matraz Erlenmeyer 250 ml.
- Probetas.
- Pipeta de 1 ml.
- Cilindro graduado 50 ml.
- Plancha de calentamiento.
- Agitador magnético.
- Papel filtro.
- Mortero.
- Tamiz de malla N° 200.
- Balanza.
- Horno.

---

<sup>17</sup> M.I. Sawco. 2000. Manual de Fluidos. USA.

El procedimiento a seguir es:

- Secar la muestra de sólidos perforados.
- Moler los sólidos perforados.
- Pesar 1 gramo de muestra y agregar a un Matraz Erlenmeyer que contiene 25 ml de Pirofosfato Tetrasódico 2% y mezclar por 10 minutos.
- Agregar 15 ml de Peróxido de Hidrogeno y 1 ml de ácido Sulfúrico, diluir hasta 50 ml con agua.
- Se agrega 1 ml de Azul de Metileno, se agita con mezclador magnético 30 segundos y se valora en un papel filtro, agregando mililitro a mililitro de Azul de Metileno hasta alcanzar la valoración del anillo de Azul de Metileno sea evidente.

### 1.2.3 PROPIEDADES REOLÓGICAS.

La reología es la ciencia que estudia el flujo y la deformación de la materia. Describe el comportamiento de los fluidos de perforación en el espacio anular mediante la relación entre la tasa, la presión de flujo, y su influencia combinada sobre las características del fluido.



Figura 1.7 Viscosímetro.

### **1.2.3.1 Medición de la reología.**

Una mejor medida de las propiedades reológicas del fluido de perforación se obtiene con un medidor de viscosidad que tiene velocidades de 3, 6, 30, 60, 100, 200, 300, 600 revoluciones por minuto.

### **1.2.3.2 Viscosidad plástica.<sup>18</sup>**

Es la resistencia interna de un fluido a fluir causada principalmente por la fricción mecánica entre los sólidos contenidos en el fluido y el líquido que lo rodea, debido al esfuerzo cortante del propio líquido. La viscosidad plástica es afectada por la concentración, tamaño y forma de las partículas sólidas suspendidas en el fluido de perforación. La concentración de los sólidos juega un papel importante en el control de la viscosidad plástica. Un cambio en el tamaño de las partículas sólidas, en la forma de las mismas o una combinación de ambas, el incremento de la concentración de sólidos se reflejará en el incremento de los valores de viscosidad plástica. La unidad utilizada para su medición es el centipoise y se obtiene utilizando el viscosímetro rotacional, la lectura de 300 rpm es restada de la lectura a 600 rpm.

### **1.2.3.3 Punto Cedente.<sup>19</sup>**

Es la resistencia de un fluido a fluir, ocasionadas por las fuerzas de atracción entre las partículas, producto de la interacción de las cargas eléctricas sobre la superficie de las partículas dispersas en la fase fluida del fluido, la cantidad de sólidos y la concentración iónica de las sales contenidas en la fase líquida del fluido. Un punto cedente alto es causado por los contaminantes solubles como el calcio, carbonato, etc., y por los sólidos arcillosos de formación y ocasionan la coagulación del fluido, que debe controlarse con diluentes químicos. Al igual que la viscosidad plástica, se obtiene utilizando el viscosímetro rotacional Fann, restando la viscosidad plástica de la lectura a 300 rpm.

---

<sup>18</sup> Baker Hughes Drilling Fluids. 2005. Manual de Ingeniería. Usa. Houston.

<sup>19</sup> Baker Hughes Drilling Fluids. 2005. Manual de Ingeniería. Usa. Houston.

#### **1.2.3.4 Fuerza Gel.<sup>20</sup>**

Representa una medida de las propiedades tixotrópicas de un fluido y denota la fuerza de floculación bajo condiciones estáticas. Es la capacidad del fluido de perforación de desarrollar una estructura de gel rígido o semirrígido durante períodos de reposo, con la finalidad de suspender los sólidos indeseables cuando se está realizando un viaje de tubería. Se determina con el viscosímetro rotacional. Altas resistencias de gel pueden causar graves problemas, tales como: retención de aire o gas en el fluido, presiones excesivas al romper circulación después de un viaje, reducción de velocidad de sedimentación de sólidos en superficie e imposibilidad de correr registros eléctricos. La aparición de problemas en un fluido de perforación se observa con la ocurrencia de geles progresivos o geles instantáneos. Un amplio margen entre el gel inicial (10 segundos) y el gel final (10 minutos) se denomina gel progresivo e indica acumulación de sólidos. Cuando ambos valores son elevados se está en presencia de una floculación de los sólidos del fluido.

### **1.3 ADITIVOS DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN.<sup>21</sup>**

El fluido de perforación está constituido por una serie de compuestos de origen químico, orgánico o inorgánico que se utilizan con la finalidad de lograr en algunos casos y de mejorar en otros, algunas de sus propiedades afectadas por efecto de agentes externos a ellos. Entre los aditivos más importantes se tienen:

#### **1.3.1 DENSIFICANTES.<sup>22</sup>**

Son materiales que al ser disueltos o suspendidos en el fluido de perforación, estos incrementan la densidad del mismo sin afectar sus propiedades, esto nos permite poder controlar las presiones de formación, derrumbes en áreas geológicamente inestables. Cualquier sustancia que posea una densidad más alta

---

<sup>20</sup> Baker Hughes Drilling Fluids. 2005. Manual de Ingeniería. Usa. Houston.

<sup>21</sup> Schlumberger – IPM. 2012. Prevención de Pega de Tubería. Folleto.

<sup>22</sup> Schlumberger – IPM. 2012. Prevención de Pega de Tubería. Folleto.

que el agua (8,33 lpg) puede ser utilizada como densificante. Los más usados son: hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), sulfato de bario ( $\text{BaSO}_4$ ), siderita ( $\text{FeCO}_3$ ), dolomita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ], calcita ( $\text{CaCO}_3$ ).

### **1.3.2 VISCOSIFICANTES.<sup>23</sup>**

Son productos que se agregan al fluido de perforación para mejorar la habilidad de remover los recortes perforados por la broca, está es una de las funciones más importantes del fluido de perforación, adicionalmente ayuda a la suspensión del material densificante durante las operaciones de viaje por tubería cuando el fluido está en reposo. Los materiales más utilizados son arcillas y polímeros.

### **1.3.3 CONTROLADORES DE FILTRADO.<sup>24</sup>**

Son productos que se agregan al fluido de perforación con el fin de controlar el filtrado de fluido a la formación y viceversa para evitar posibles daños a las formaciones productoras, ayuda a minimizar el hinchamiento de arcillas reactivas (hidrófilas), que pueden originar problemas de inestabilidad del hoyo. Los materiales más utilizados como controladores de filtrado son la bentonita, los polímeros manufacturados, almidones y adelgazantes orgánicos.

### **1.3.4 DISPERSANTES.<sup>25</sup>**

Son productos que se agregan al fluido de perforación con el fin de controlar la viscosidad del sistema ya que la mayoría de veces este no puede ser controlado solo con viscosificantes y se tienen que utilizar materiales adelgazantes, dispersantes o defloculantes, los cuales son químicamente aniónicos y se adhieren a las partículas de arcilla haciéndolas más negativas, lo cual reduce las fuerzas de atracción, incrementan la dispersión y con ello reducen la resistencia al flujo.

---

<sup>23</sup> Schlumberger – IPM. 2012. Prevención de Pega de Tubería. Folleto.

<sup>24</sup> Schlumberger – IPM. 2012. Prevención de Pega de Tubería. Folleto.

<sup>25</sup> Schlumberger – IPM. 2012. Prevención de Pega de Tubería. Folleto.

Éstos materiales también reducen la filtración, disminuyen el revoque, contrarrestan efectos de sales disueltas en el sistema, pueden actuar como emulsificantes de aceite en agua y como estabilizadores del fluido a altas temperaturas de fondo del pozo. Los más utilizados son: Taninos, silicatos, fosfatos, lignitos, lignosulfonatos modificados.

### **1.3.5 CONTROLADORES DE PH.<sup>26</sup>**

Son materiales que se utilizan para mantener un rango de pH en el sistema cabe recordar que un rango aceptable esta entre 9 a 10, esto es necesario para asegurar la acción efectiva de otros aditivos empleados en el fluido. La detección de contaminantes depende del control de los valores de alcalinidad y del pH del sistema. Los materiales usados para éste control son los siguientes: Soda Cáustica (NaOH), Hidróxido de Potasio (KOH), Cal (Ca (OH)<sub>2</sub>).

### **1.3.6 ESTABILIZADORES O INHIBIDORES DE ARCILLAS.**

La presencia de lutitas sensibles al agua, pueden originar serios problemas durante la perforación del hoyo, entre los cuales están los derrumbes e hinchamiento de las mismas con las consecuencias de atascamiento de la sarta de perforación, repasos continuos luego de los viajes de tubería, cambio en la reología del fluido y los aumentos de los costos de perforación.<sup>27</sup>

Para este tipo de formaciones se utilizan agentes especiales para estabilizarlas a través de mecanismo de inhibición de las características de hidratación y la dispersión de materiales arcillosos en el sistema. Los asfaltos y la gil zonita son inhibidores mecánicos porque cumplen su función creando una barrera que evita el contacto entre el agua y la formación (por esta razón son usados en un fluido base agua). Los polímeros, aminas, glicoles y sales aportan inhibición química debido a que estos interactúan con la estructura de la roca para cumplir su función.

---

<sup>26</sup> Schlumberger – IPM. 2012. Prevención de Pega de Tubería. Folleto.

<sup>27</sup> Q – Max. 2015. Estudio de Arcillas. Ecuador

## 1.4 PROPIEDADES DE LA FORMACIÓN.<sup>28</sup>

### 1.4.1 LUTITAS.

Las lutitas se definen como rocas sedimentarias, son de textura y granos finos depositadas en cuencas marinas y formadas por la consolidación de arcillas, limo y fluido. Está caracterizada por su estructura de láminas finas, lo cual le imparte una fisilidad paralela a la estratificación, por donde se quiebra fácilmente en finas capas.

Las lutitas no están compuestas en su totalidad por arcillas, éstas varían de una lutita a otra, y esto determina su clase y grado de interacción en presencia de agua.

El grado de compactación de los sedimentos y la densidad de la roca son proporcionales a la profundidad de deposición. El agua es desplazada a medida que los sedimentos son compactados a grandes profundidades por medio de las capas depositadas a lo largo del tiempo geológico, lo que ocasiona que un contenido de agua sea bajo, menor a un 30%. Si el agua no escapa de la lutita entonces sostendrá una parte de la sobrecarga y la lutita quedará “bajo presión”. Su granulometría es muy pequeña y las formaciones lutíticas tienen un espacio poral bastante reducido (50 Å), el cual contiene aire CO<sub>2</sub> y agua en menores cantidades. Las permeabilidades son muy bajas entre  $10^{-6} - 10^{-12}$  Darcys, debido a los pequeños tamaños de grano. La hidratación de lutitas debido al agua tiende a reducir la resistencia de las lutitas y, por ende, aumenta la inestabilidad del pozo.

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

---

<sup>28</sup> Schlumberger. 2015. La Cuenca Oriente Geología y Petróleo. Ecuador.

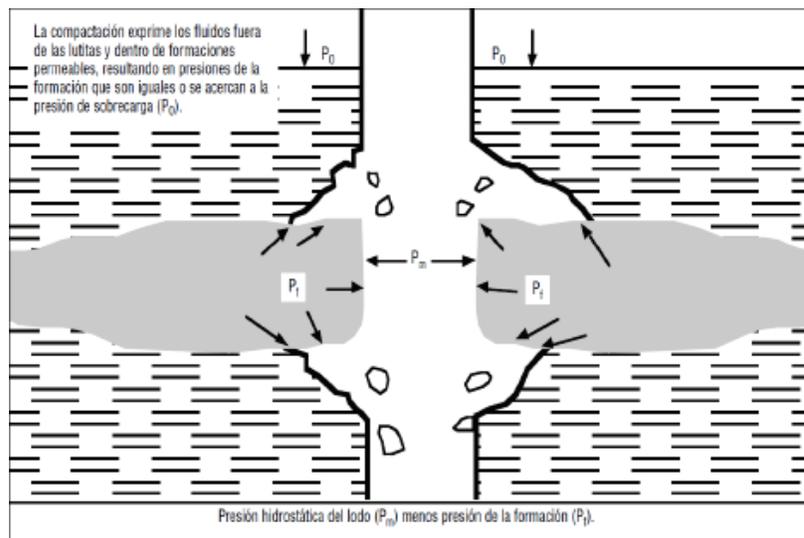
#### 1.4.1.1 Lutitas sometidas a esfuerzos.

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.

#### 1.4.1.2 Lutitas presurizadas.

Las lutitas de este tipo son normalmente masivas, bien compactadas a menudo porta fósiles, pero no homogéneas.

Durante el proceso de compactación, los fluidos contenidos dentro de la lutita son exprimidos fuera de ésta creando una arena más porosa y permeable.



**Figura 1.8 Lutitas Presurizada.**  
FUENTE: MI-Sawco

#### 1.4.1.3 Lutitas quebradizas.

Son lutitas de apariencia firme y maciza como otras lutitas, pero se deshacen al colocarlas en agua, estos pedazos de lutita no se ablandan ni se hinchan en el agua. La lutita puede ser debilitada por la penetración de agua a lo largo de las superficies de las microfisuras. Estas lutitas pueden ser altamente inestables cuando son perforadas.

#### **1.4.1.4 Lutitas Bajo Esfuerzos Tectónicos.**

Esta lutita se caracteriza por que se derrumba con facilidad en el pozo con la presencia de poca agua, normalmente se presentan en áreas donde la corteza terrestre ha sido modificada por fuerzas tectónicas.

Este tipo de lutitas sometidas a esfuerzos nunca pueden ser totalmente controladas por el peso del fluido de perforación, porque tienden siempre a derrumbarse y pueden producirse problemas de pérdida de circulación.

#### **1.4.2 ARCILLAS.<sup>29</sup>**

Las arcillas son minerales de naturaleza cristalina que se formaron hace varios millones de años y reúnen las características peculiares de composición y formación relacionadas con el curso de la evolución de la tierra. Su composición y estructura dependen de la naturaleza de la roca madre que les dio origen, así como el ambiente durante la etapa de arrastre o deposición. La arcilla es un silicoaluminato hidratado, desde el punto de vista químico está compuesta de silicio (Si), aluminio (Al), oxígeno (O) e hidrógeno (H). Desde el punto de vista mineralógico se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 2  $\mu\text{m}$ . Su morfología es laminar (filosilicatos). Las arcillas son eminentemente plásticas, esto 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, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y la alta capacidad de hinchamiento. Existen arcillas que desarrollan plasticidad cuando se mojan; las que absorben agua fácilmente se llaman hidrofílicas y las que no absorben agua (cálcicas) se les llama hidrofóbicas.

Las arcillas pueden hacer parte del fluido de perforación (Bentonita) o pueden entrar al fluido como contaminante principal debido a los sólidos de perforación

---

<sup>29</sup> Schlumberger. 2015. La Cuenca Oriente Geología y Petróleo. Ecuador.

incorporados. Para la preparación de los fluidos de perforación se utiliza la Bentonita que es arcilla de grano fino la cual contiene por lo menos 85% de Montmorillonita de sodio que pertenece a la familia de arcillas llamadas esmectitas, la cual nos da viscosidad, estructura de gel y control de filtración. Geológicamente la Bentonita es un lecho de cenizas volcánicas alteradas, cuyo mayor depósito ocurrió hace más de 60 millones de años en Wyoming, Dakota del Sur y Montana. Posterior a la extracción el mineral se deja al aire libre por varios meses hasta que seque, luego es procesada y secada para reducir la humedad de 30 a 8% y por último se muele. El API exige las siguientes especificaciones para la Bentonita:

- Humedad < 10%.
- Residuo < del 4% al pasar por malla 200.
- Para una suspensión de 22.5 gr en 350 ml de agua la lectura de R600 debe ser por lo menos 30.
- El filtrado de la mezcla < de 15 ml.
- La relación entre punto cedente y viscosidad plástica no mayor de 3.

Los principales propósitos de adicionar Bentonita al agua son:

- Reducir pérdida de filtrado.
- Formar revoque delgado, flexible y de baja permeabilidad.
- Mejorar la capacidad de limpieza del fluido de perforación.
- Mejorar la estabilidad del hueco y reducir el derrumbe.
- Evitar o disminuir las pérdidas de filtración.

La Bentonita cálcica proviene de Texas, Alabama, Mississippi y Oklahoma y puede ser tratada con carbonato de sodio para eliminar el exceso de calcio y se puede mezclar con algún polímero para mejorar el rendimiento y capacidades viscosificantes.

Atapulguita o arcilla de agua salada debido a que en presencia de agua fresca no hay hidratación. Es usada en fluidos de perforación salados. La agitación de esta

arcilla debe ser vigorosa para que se tenga buena suspensión. No es buena en el control de filtrado. De acuerdo al API las características son:

- Contenido máximo de humedad 16%.
- Residuo en tamiz 200 < 8%.
- En suspensión de 20 gr en 350 ml de agua de NaCl saturada luego de mezclar por 20 minutos R600 debe ser mínimo 30.
- Arcilla ligeramente hinchables como kaolinita, illita y clorita.
- En los sólidos de formación encontramos, en forma decreciente:
  - Illita.
  - Clorita.
  - Montmorillonita.
  - Kaolinita.

#### **1.4.2.1 Hidratación de Arcillas.**

Entre las características principales de la hidratación de arcillas se encuentran:

- Las arcillas están formadas por cristales muy pequeños.
- Tienen la capacidad de desplazar iones.
- Son capaces de variar su composición química interna.
- Pueden alojar moléculas en el interior de su espacio interlamina.
- Los cambios físicos de la estructura lamina, por ejemplo el hinchamiento, son reversibles.

Los minerales arcillosos presentan un tamaño reducido de partícula, sus pequeñas dimensiones hacen que se comporte como un sistema coloidal o de dos fases, cuando entra en contacto con agua, mientras que la presencia de cargas le permite atraer sustancias ubicadas en la solución en contacto con ellas. Se ha establecido que la molécula de agua es polar, ésta se comporta como un pequeño imán, ya que se encuentra compuesta por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno. Es precisamente esta polaridad que presenta el agua líquida, la que le

permite disolver muchos compuestos. Cuando se disuelve un sólido iónico en agua, como lo es el cloruro de sodio, se produce la disociación de los cationes sodio y aniones cloruro, los cuales atraen a las moléculas de agua. La parte positiva o polo positivo del agua es atraído por los aniones y el polo negativo por los cationes. Consecuencia de esta atracción es el rodamiento de moléculas de agua en torno a cationes y aniones. Este proceso se denomina hidratación, el cual permite que aniones y cationes, que en estado sólido, unidos por enlaces iónicos, en disolución permanezcan separados o dicho de otro modo, queden disueltos.

#### **1.4.2.2 Comportamiento de la Arcillas.**<sup>30</sup>

En un fluido, la arcilla debe dispersarse completamente, pero esto no debe pasar en un fluido de perforación debido a que se necesita separar las arcillas en superficie y no alterar las propiedades del fluido. Las arcillas usadas en agua dulce son compuestas de silicato de aluminio hidratado, de tamaño variable, formadas por capas u hojas alternadas de sílica y alúmina.

El uso de las arcillas desempeña un papel importante en los fluidos de perforación base agua. Se les puede agregar de una manera intencional para controlar la viscosidad, propiedades Reológicas y las características de filtrado del fluido. Estas propiedades pueden y son modificadas mediante el uso de aditivos químicos, ya sean adicionados intencionalmente o como contaminantes en la forma de yeso, sales en solución y cemento. La asociación de las partículas de arcilla va a controlar la viscosidad y filtrado medio. Los principales estados de asociación de las partículas de arcillas en el fluido de perforación son:

#### **Agregación.**<sup>31</sup>

Los minerales de arcilla como se disponen a manera de láminas dispuestas como mazos de barajas. Estas láminas pueden ser atrapadas, pueden ser separadas

---

<sup>30</sup> Schlumberger. 2015. La Cuenca Oriente Geología y Petróleo. Ecuador.

<sup>31</sup> Q – Max. 2015. Estudio de Arcillas. Ecuador. Folleto

con agitación mecánica y por hidratación y dispersión de las láminas. Esto incrementa el área superficial expuesta aumentando la viscosidad del sistema.

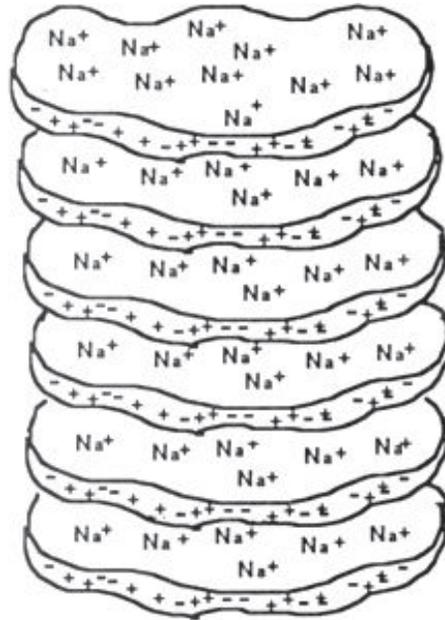


Figura 1.9 Estado de Agregación de las Arcillas  
Fuente: Q-MAX

### Dispersión.<sup>32</sup>

Es el resultado de la subdivisión de las láminas del mineral mediante la aplicación de una fuerza mecánica. El área superficial va a incrementar de una manera considerable, construyendo esto un estado disperso. En este estado las capas individuales del mineral separadas de una forma mecánica se disponen separadas. En condiciones estáticas en este estado se congregan en grupos, desarrollando lo que se conoce como fuerza de gel debido a que las caras cargadas de una forma negativa se atraen con los bordes de cargas positivas.

<sup>32</sup> Q – Max. 2015. Estudio de Arcillas. Ecuador. Folleto

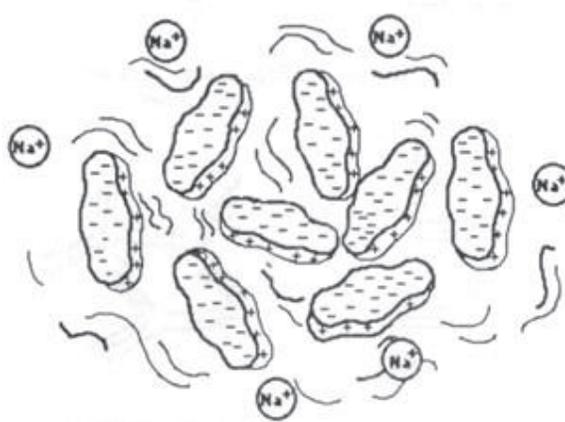


Figura 1.10 Estado de Dispersión de las Arcillas  
Fuente: Q-MAX

### Floculación.<sup>33</sup>

En este estado se desarrollan fuerzas netas de atracción entre las partículas de arcillas, las fuerzas crean entre las caras negativas y las positivas forman una estructura suelta. Tanto una arcilla agregada como una dispersa puede ser floculada o defloculada. En el estado floculado se incrementa la asociación cara al borde entre las partículas. La consecuencia de este estado es una viscosidad elevada y una pérdida del control de filtración.

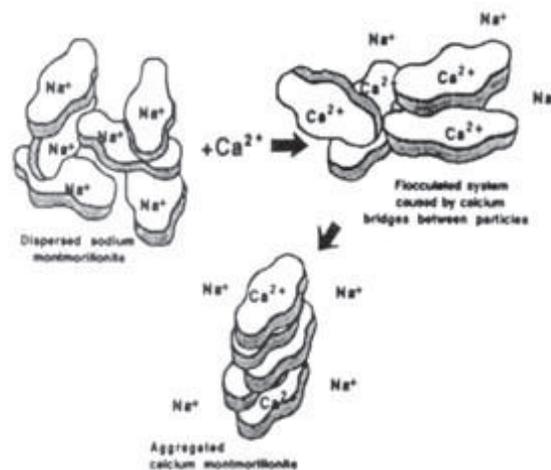


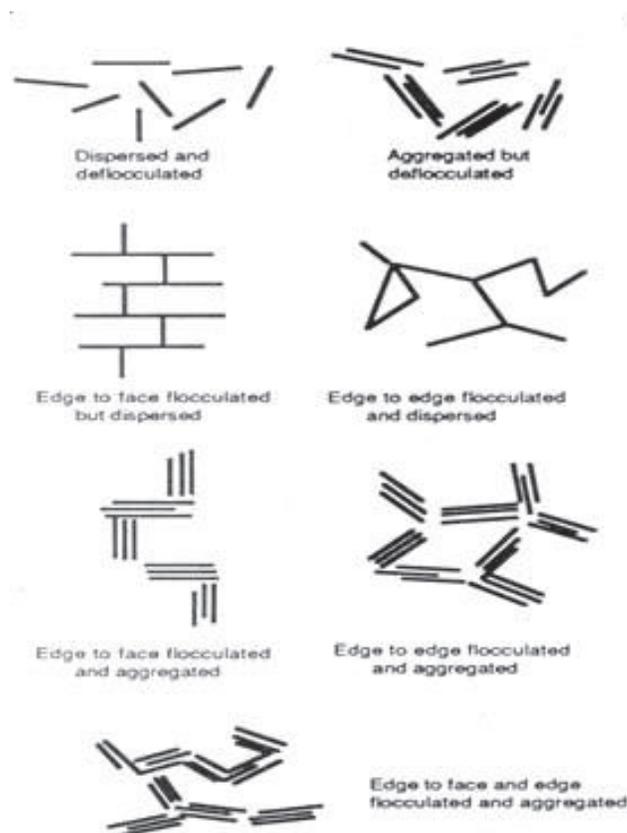
Figura 1.11 Estado de Floculación de las Arcillas  
Fuente: Q-MAX

<sup>33</sup> Q – Max. 2015. Estudio de Arcillas. Ecuador. Folleto

### Defloculación.<sup>34</sup>

Es la disociación de las partículas floculadas. Este estado se consigue por la adición de ciertos productos químicos al fluido que neutralizan las cargas electroquímicas en las arcillas y disocia la cara al borde entre las partículas de la arcilla.

Como la defloculación causa una reducción de la viscosidad, los productos químicos defloculantes son frecuentemente llamados diluyentes del fluido. La defloculación también permite la disposición plana de las partículas de arcilla en el revoque para reducir el filtrado.



**Figura 1.12 Estado Defloculado de las Arcillas**  
Fuente: Q-MAX

<sup>34</sup> Q – Max. 2015. Estudio de Arcillas. Ecuador. Folleto

### 1.4.2.3 Propiedades Físicas y Químicas de las Arcillas.

#### **Capacidad de adsorción.**<sup>35</sup>

Dentro de los fenómenos superficiales de importancia se encuentra el de adsorción: Este proceso una difusión molecular turbulenta o de una transferencia del soluto A, a un adsorbente B, parte del mismo se une a la superficie, formando una o más capas de moléculas asociadas al adsorbente. La capacidad de adsorción 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

Por ejemplo la absorción de agua, de arcillas adsorbentes es mayor al 100% respecto al peso. La adsorción de agua en el espacio interlamilar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras.

#### **Área Superficial.**<sup>36</sup>

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  $m^2/g$ .

---

<sup>35</sup> Universidad Metropolitana. 2014. Arcillas y Lutitas. Folleto – Quito.

<sup>36</sup> Universidad Metropolitana. 2014. Arcillas y Lutitas. Folleto – Quito.

### **Capacidad de intercambio catiónico.** <sup>37</sup>

Es una propiedad fundamental de las esmectitas. Son capaces de cambiar, fácilmente tanto los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales como en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras existentes, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes (fluido de perforación). La capacidad de intercambio catiónico depende de la suma de todos los cationes o cargas negativas de cambio que posea el mineral y en parte a el pH que posea el fluido de perforación.

Estas cargas negativas pueden ser generadas de tres formas diferentes:

- Sustituciones isomórficas dentro de la estructura.
- Enlaces insaturados en los bordes y superficies extremas.
- Disociación de los grupos hidroxilos accesibles.

El primer tipo es conocido como carga permanente y supone un 80% de la carga neta de la partícula, este es independiente de las condiciones de pH y actividad iónica del medio. Los dos últimos tipos de origen varían en función del pH y de la actividad iónica. Corresponden a bordes cristalinos, químicamente activos y representan el 20% de la carga total de la lámina.

---

<sup>37</sup> Universidad Metropolitana. 2014. Arcillas y Lutitas. Folleto – Quito.

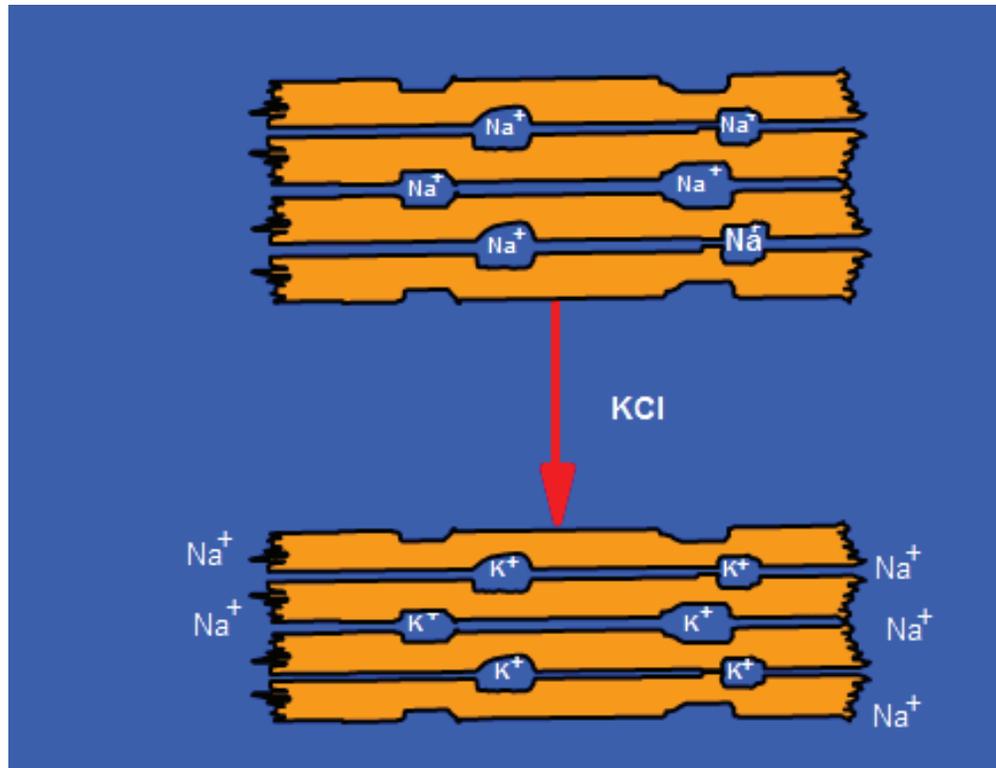


Figura 1.13 Intercambio Catiónico de las Arcillas.  
Fuente: Q-MAX

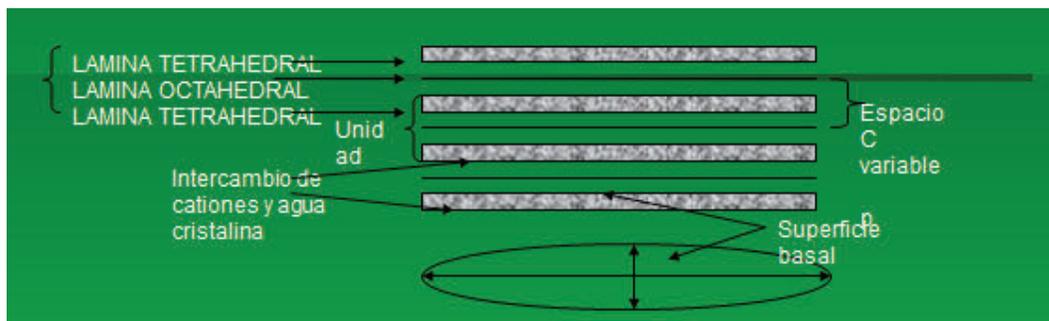
### El pH.<sup>38</sup>

Las cargas permanentes, constantes o estructurales se han generado, a través de los procesos geológicos, debido a sustituciones isomórficas en las estructuras cristalinas. Estas cargas resultan independientes del entorno del mineral. En los bordes, sin embargo aparecen cargas que son dependientes del pH del medio y por lo tanto son variables. Sólo se encuentran neutralizadas bajo una cierta condición de pH, denominada pzc: punto de carga cero (point of zero charge), que depende del tipo de enlace químico involucrado. Cuando el pH se eleva por encima del pzc, en un medio más alcalinizado, la superficie de borde adquiere carga negativa mientras que al descender por debajo del pzc, en un medio más ácido, se vuelve positiva.

<sup>38</sup> Universidad Metropolitana. 2014. Arcillas y Lutitas. Folleto – Quito.

### Influencia catiónica sobre la hidratación de las arcillas.<sup>39</sup>

El poder relativo de sustitución de un catión por otro está indicado por la siguiente secuencia:  $H^+ > Al^{+3} > Ca^{+2} > Mg^{+2} > H^+ > NH^{+4} > Na^+ > Li^+$ . Un catión puede servir de enlace para mantener unidas a las partículas del mineral arcilloso, lo cual reduce la hidratación. Los cationes multivalentes producen un enlace más fuerte entre las capas que los cationes monovalentes, lo cual resulta generalmente en la agregación de las partículas de arcilla. El tamaño y la forma del catión hidratado afectan su capacidad de encajar entre las superficies entre capas de la arcilla y afectan tanto el hinchamiento de la arcilla como la hidratación de la misma.



**Figura 1.14 Estado Defloculado de las Arcillas.**  
Fuente: Q-MAX

En el caso de la Montmorillonita sódica el espacio C es de 7 Å, por tal motivo la adición de potasio cuyo diámetro atómico es muy similar ocupa exactamente el espacio entre láminas originando una atracción fuerte, esto genera una inhibición a la hidratación de las arcillas y evitando el hinchamiento y/o dispersión de la misma. La siguiente tabla muestra la capacidad de intercambio por cada 100 gramos de arcilla seca, según tipo de arcilla:

<sup>39</sup> Universidad Metropolitana. 2014. Arcillas y Lutitas. Folleto – Quito.

**TABLA 1.1. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO POR CADA 100 GRAMOS DE ARCILLA SECA**

Arcilla	Meq/100 de arcilla seca
Motmorillonita	70-130
Illita	oct-40
Caolinita	mar-15
Clorita	oct-40
Atapulgita	oct-35

FUENTE: Q-Max.

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

### **Plasticidad.**<sup>40</sup>

Esta propiedad es la capacidad que tiene las partículas laminares que las envuelva el agua produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce una fuerza sobre ellas, la plasticidad de las arcillas es debida a su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño y alta capacidad de hinchamiento.

La 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. Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico es considerado el límite plástico. 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.

---

<sup>40</sup> Universidad Metropolitana. 2014. Arcillas y Lutitas. Folleto – Quito.

### Tixotropía.<sup>41</sup>

Este fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasar las arcillas tixotrópicas estas se convierten en un verdadero líquido, esto se logra cuando la arcilla posee un contenido próximo a su límite líquido. 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.

### Composición Química de las Arcillas.

Componentes – tetraedro de sílice y octaedros de aluminio arreglados en una estructura plana.

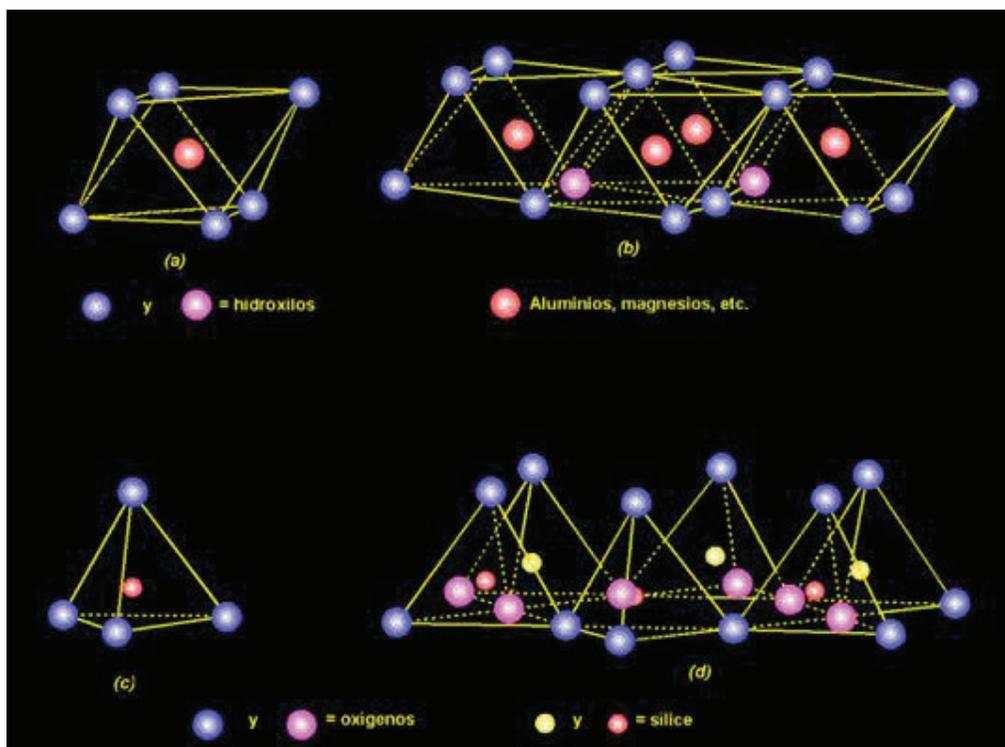
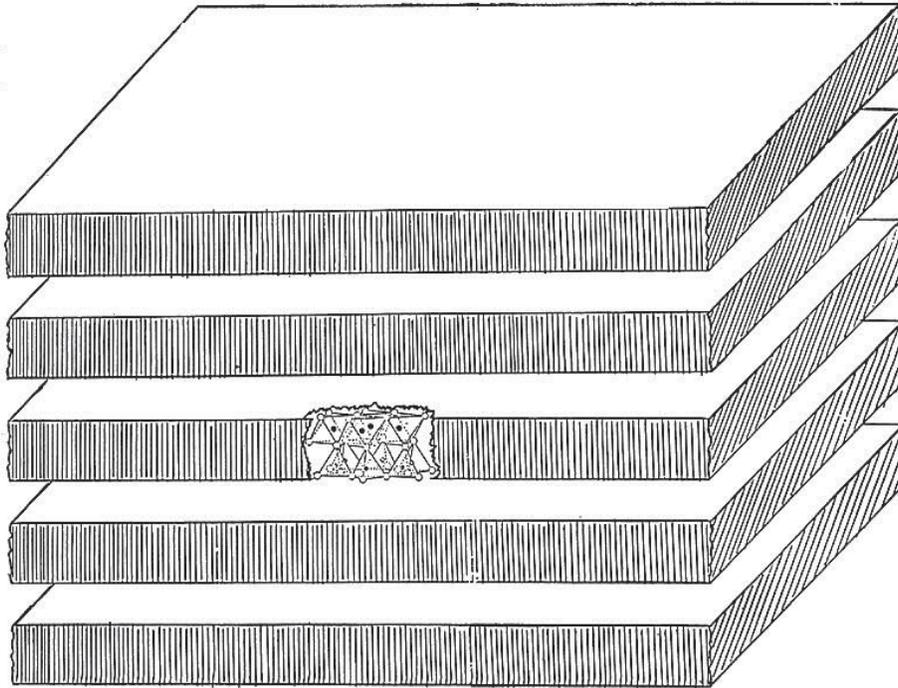


Figura 1.15 Componentes de la Arcilla  
Fuente: Q-MAX

<sup>41</sup> Q – Max. 2015. Estudio de Arcillas. Ecuador

### Arcillas laminares.

Esmectita, Illita, Kaolinita, Clorita, Capas mixtas, Vermiculitas se caracterizan por tener estructura de rejillas colocadas en capas con magnesio, hierro y potasio bien sea, entre las capas o dentro del enrejado.



**Figura 1.16 Arcillas Laminares.**  
Fuente: Q-MAX

### Arcillas Fibrosas.

Atapulguita y Sepiolita formadas por laminas discontinuas tipo mica, su hábito no es laminar sino fibrosa, ya que la capa basal de oxígenos es continua pero los oxígenos apicales sufren una inversión periódica cada 8 posiciones octaédricas (sepiolita) y cada 5 (atapulgita)

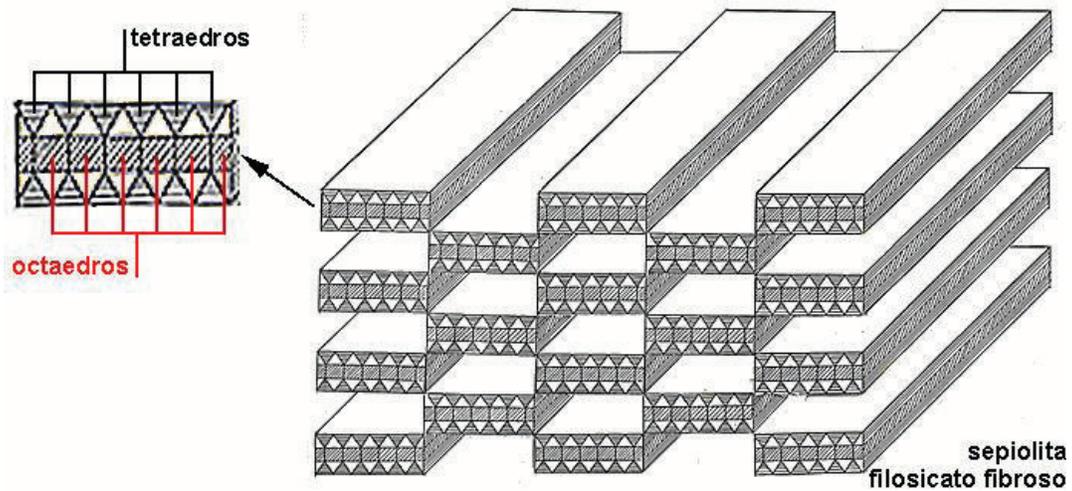


Figura 1.17 Arcillas Fibras.  
Fuente: Q-MAX

Elementos.

Oxígeno, Sílice, Aluminio, Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio, Hierro, Hidrogeno

## 1.5 PRUEBAS ESPECIALES PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DE LAS LUTITAS.<sup>42</sup>

Los cortes de perforación deben de ser lavados y tamizados por mallas de diferente medida acorde a la necesidad, para las pruebas especiales que se describen a continuación.

<sup>42</sup> Q – Max. 2014. Evaluation Manual. Folleto.



**Figura 1.18 Lavado de las Arcillas**  
Fuente: Q-MAX



**Figura 1.19 Mallas Mesh**  
Fuente: Q-MAX

### **1.5.1 PRUEBA DE TIEMPO DE SUCCIÓN CAPILAR (CST).<sup>43</sup>**

El dispositivo que mide el tiempo de succión capilar (CST), mide el tiempo que tarda una determinada cantidad de agua en trasladarse radialmente entre dos electrodos sobre el papel de filtro. Al realizar el ensayo CST se compara la capacidad de hidratación de las arcillas con agua fresca, y con los inhibidores que requiera la simulación.

Para el ensayo de tiempo de succión capilar (CST), se pesan 2 gramos de contenido de sólidos de las lutitas previamente molidas, esto se mezclan durante dos minutos con el agua o salmuera a evaluar, para esto utilizamos un mezclador o licuadora acondicionada, a continuación es adicionado al tubo y se espera el tiempo en que el agua o el fluido se trasladen radialmente entre los electrodos sobre el papel filtro.

Los resultados del ensayo CST son graficados para mostrar el valor CST (segundos).

#### **1.5.1.1 Medición de Tiempo de Succión Capilar.**

El equipo requerido es:

- Equipo CST.
- Celda licuadora de 100ml.
- Jeringuilla de 2ml.
- Papel para CST.
- Balanza Electrónica.
- Agua destilada.
- Muestra del fluido.

---

<sup>43</sup> Baroid. Halliburtoon. (S.F.). Manual de Fluidos. Houston Usa.



**Figura 1.20 Equipo de Tiempo de Succión Capilar.**

El procedimiento a seguir es:

- Moler la muestra en un mortero y cernirla a través de un tamiz número 100.
- 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.
- Inserte en embudo 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 filtro.
- Pesar 0.5 gramos de muestra de formación y 50 mililitros de fluido.
- 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”.
- Usando una jeringa, poner 2 ml de la muestra en el interior de la capsula de acero inoxidable montada en el equipo.
- 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 comenzara 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 representaran el CST en segundos y decimas de segundos.

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

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

Repetir la prueba al menos un mínimo de 3 veces para realizar un promedio.

- Colocar el instrumento en “Off” después de cada uso.

### **1.5.2 PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL.<sup>44</sup>**

Se usa para determinar la hidratación o deshidratación de las lutitas por medición del aumento o reducción de longitud a lo largo del tiempo, de un núcleo de lutitas.

El procedimiento es el siguiente, se lava y se pasa la muestra por una una malla de 200 mesh, se obtiene una muestra de 20 gramos para compactarlas en un compactador hidráulico durante dos horas y dejadas en un desecador durante 1 día.

---

<sup>44</sup> Baroid. Halliburtoon. (S.F.). Manual de Fluidos. Houston Usa.



**Figura 1.21 Pastilla de Muestra del corte de Perforación.**  
Fuente: Q-MAX

Para realizar la prueba la muestra se coloca dentro de una malla que impide y direcciona de manera lineal el hinchamiento, para posteriormente determinar mediante sensor el porcentaje de hinchamiento lineal.



**Figura 1.22 Equipo de Hinchamiento Lineal.**  
Fuente: Q-MAX

La prueba se realiza a una temperatura constante de 160°F para simular condiciones de pozo.

### 1.5.3 PRUEBA DE DISPERSIÓN<sup>45</sup>

Esta prueba tiene por fin medir la cantidad de arcilla que se dispersa en un fluido de perforación.

---

<sup>45</sup> Baroid. Halliburtoon. (S.F.). Manual de Fluidos. Houston Usa.

Se lava la muestra y se pasa por una malla de 12 Mesh, se necesita de 10 gramos para el agua fresca y 20 gramos para el fluido de perforación, a continuación se simula las condiciones de pozo en el horno de rolar a una temperatura de 160°F durante 14 horas.

Una vez rolado se vuelve a pasar por una malla para obtener la arcilla que no se ha dispersado, se la deja secar en un horno para una medida mas exacta, los sólidos se vuelven a pesar y la diferencia es el resultado en porcentaje de arcilla que se dispersó en el fluido de perforación.

### 1.5.3.1 Medición de Dispersión de Lutitas.

El equipo requerido es:

- 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 1.23 Horno de Rolar  
Fuente: Q-MAX

El procedimiento requerido a seguir es:

- Se macera una muestra de arcilla para obtener partículas que pasan a través de un tamiz malla 10, pero que no pasa por un tamiz malla 20.
- Se pesan 3 gramos de muestras de arcilla se prepara las muestras de fluido de perforación y se coloca dentro de las celdas de envejecimiento y se sellan.
- Las celdas son luego roladas a 150°F durante 16 horas.
- Después del periodo de tiempo, se sacan las celdas de horno, dejándolas enfriar y se tamizan los fluidos a través de una malla número 20. El fluido se lava con una solución inhibidora de KCl o alcohol.
- Los sólidos retenidos en el tamiz malla 20 son lavados y puestos a secar en el horno a una temperatura de 220°F.
- 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.

## **1.6 ESTRATIGRAFÍA DE LA SECCIÓN 12 ¼<sup>46</sup>**

La Columna estratigráfica de la amazonia del Ecuador se presenta en la figura 1.24

---

<sup>46</sup> Schlumberger. 2015. La Cuenca Oriente Geología y Petróleo. Ecuador.

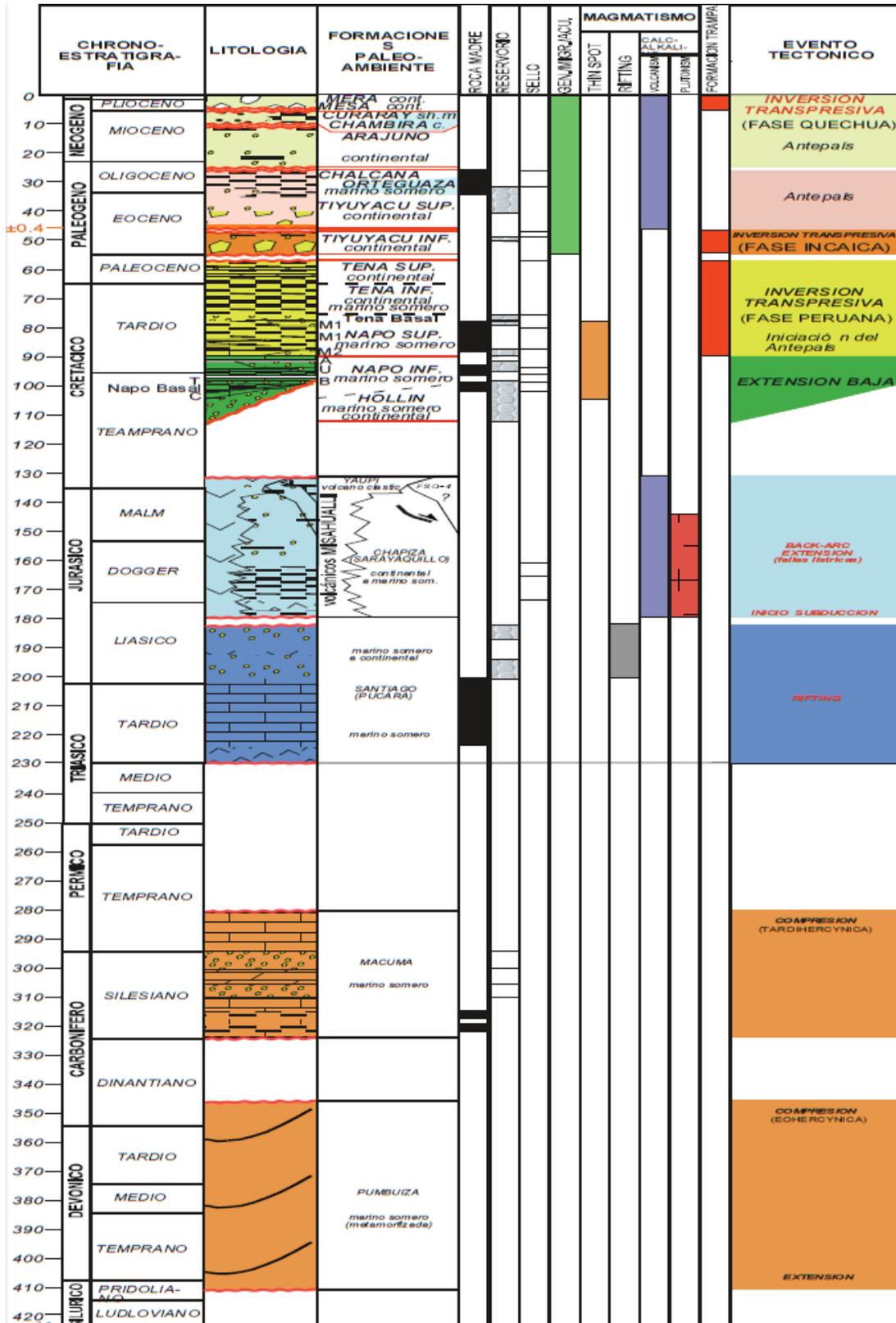


Figura 1.24 Columna Estratigráfica del Oriente Ecuatoriano  
Fuente: Campo Operador

## **1.6.1 FORMACIÓN ORTEGUAZA.**

Formación comprendida por un cuerpo lutítico tanto en la parte superior como inferior del intervalo y hacia la parte intermedia se presenta principalmente arcillolita intercalada con niveles de limolita y arenisca.

### **1.6.1.1 Lutita.**

Gris clara, gris verdosa, gris, moderadamente firme a firme, subbloque, subfísil, laminar, textura cerosa, no calcárea.

### **1.6.1.2 Arcillolita.**

Gris clara, café oscura, purpura, café rojiza, suave, soluble, subbloque, textura terrosa, no calcárea.

### **1.6.1.3 Limolita.**

Gris clara, gris verdosa, crema, café rojiza, moderadamente dura, subbloque, textura terrosa, no calcárea. Gradando a una arenisca de grano muy fino.

### **1.6.1.4 Arenisca.**

Cuarzosa, blanca, transparente, suelta, grano muy fino a fino, redondeada, moderado sorteo, cemento y matriz no visibles, porosidad no visible. Sin presencia de hidrocarburo.

## **1.6.2 FORMACIÓN TIYUYACU.**

La Formación Tiyuyacu está constituida principalmente por arcillolita intercalada con arenisca y lentes de limolita. Además se encuentra conformada por dos cuerpos de conglomerado, siendo el Conglomerado Superior de tipo cuarzoso, mientras que el Conglomerado Inferior se encuentra constituido por chert.

**1.6.2.1 Arcillolita.**

Gris clara, crema, gris verdosa, café rojiza, suave, soluble, irregular a subbloque, textura terrosa, no calcárea.

**1.6.2.2 Limolita.**

Gris clara, gris, moderadamente firme, bloque a irregular, textura terrosa, no calcárea.

**1.6.2.3 Arenisca.**

Cuarzosa, blanca, amarillenta, translúcida a transparente, suelta, grano medio a grueso, subangular a angular, moderado sorteo, matriz y cemento no visibles, porosidad no visible. Sin presencia de hidrocarburo.

**1.6.2.4 Conglomerado.**

Cuarzoso, blanco lechoso, amarillento, translúcido a opaco, muy duro a duro, grano grueso, angular, pobre sorteo, matriz y cemento no visible, porosidad no visible. Ocasional asociado con chert.

**1.6.3 FORMACIÓN TENA.**

Está formada por una secuencia continental de arcillolita con intercalaciones de limolita arenisca y caliza a lo largo del intervalo. Mientras que en la parte basal está constituida por un cuerpo de arenisca.

**1.6.3.1 Arcillolita.**

Café oscura, café rojiza, crema, café, café amarillenta, suave a moderadamente firme, irregular a subbloque, textura terrosa, ligeramente calcárea.

**1.6.3.2 Limolita.**

Café, gris clara, gris verdosa, moderadamente firme a firme, subbloque, textura terrosa, ligeramente calcárea.

### **1.6.3.3 Arenisca.**

Cuarzosa, blanca, subtransparente, suelta, grano fino, subredondeado a redondeado, moderado sorteo, matriz y cemento no visible, porosidad no visible. Sin presencia de hidrocarburo.

### **1.6.3.4 Caliza.**

Mudstone, gris clara, gris clara moteada con crema, suave a moderadamente dura, subbloque, porosidad no visible, sin presencia de hidrocarburo.

## **1.6.4 FORMACIÓN NAPO.**

Ésta formación está compuesta por una secuencia de lutita, a continuación se encuentra la Caliza "M-1", "M-2" y "A" formado por calizas con intercalaciones de lutitas, en adelante se encuentra la Arenisca "U" formado por arenisca, con intercalaciones de caliza y lutita, llegando a Napo Media comprendida de lutitas con intercalaciones de caliza, continuando a la Caliza "B" compuesto por caliza con intercalaciones de lutita, siguiendo la Arenisca T formada por arenisca con intercalaciones de caliza, lutita y caolín, finalizando con la Lutita Napo Inferior formada únicamente de lutita.

### **1.6.4.1 Caliza.**

Mudstone a wackestone, gris moteada con crema, gris clara, crema, suave a moderadamente dura, irregular a bloque, porosidad no visible. Sin presencia de hidrocarburo.

### **1.6.4.2 Lutita.**

Negra, gris, gris clara, moderadamente dura, fisil, planar, bloque, laminar, textura cerosa.

### **1.6.4.3 Arenisca.**

Cuarzosa, gris clara, gris verdosa, blanca, transparente a translúcida, friable, grano fin, menor grano medio, subredondeado ha redondeado, moderado sorteo, matriz

argilácea, cemento calcáreo, pobre porosidad inferida, con inclusiones de glauconita. Sin presencia de hidrocarburo.

#### **1.6.4.4 Caolín.**

Café, suave irregular, terroso, no calcáreo.

## CAPÍTULO 2

### IMPACTOS OCASIONADOS DURANTE LA PERFORACIÓN EN LA SECCIÓN 12 ¼”.

#### 2.1 PROBLEMAS EN LA PERFORACIÓN OCASIONADOS POR LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN.<sup>47</sup>

El hecho de seleccionar un fluido de perforación no es del todo fácil, debido a que este necesita propiedades óptimas para determinado pozo.

Para esto es muy importante conocer la naturaleza de los problemas que se puede tener durante una perforación de un pozo, de modo que las decisiones que se tomen sean efectivas e inmediatas.

Existen una gran variedad de problemas que pueden ser ocasionados por los fluidos de perforación, a continuación nombraré los más importantes que son:

##### 2.1.1 PÉRDIDA DE CIRCULACIÓN.

La pérdida de circulación es la disminución de volumen del fluido de perforación en circulación hacia las formaciones expuestas en el hueco abierto, esto se monitorea midiendo el flujo de retorno.

La disminución del flujo en el anular por arriba de la pérdida de fluido de perforación puede causar muchos problemas. Se puede acumular recortes en una zona de baja velocidad y estos caer al fondo cuando se detiene la circulación. En la zona donde hay menor velocidad en el anular se disminuye la capacidad de acarreo del fluido de perforación y como consecuencia conlleva a la acumulación de recortes, esto puede ocasionar un empaquetamiento de tubería o pérdida del pozo. Además la pérdida del fluido de perforación causa una pérdida de la presión hidrostática en el pozo.

---

<sup>47</sup> Programa de Ingeniería en Petróleo. Universidad de Zulia. Problemas Comunes de Perforación Relacionados con los Fluidos de Perforación. obtenido de <http://es.slideshare.net/patiinu/problemas-comunes-de-perforacin-relacionados-con-1>

En formaciones lutíticas, esta pérdida de presión hidrostática en el hueco causaría una disminución del sostén de la pared que puede provocar que las arcillas flojas se desmoronen causando un empaquetamiento de la herramienta o en casos más graves, la pérdida del pozo. En casos donde la presión hidrostática sea inferior a la presión de la formación el pozo comenzará a fluir, siempre que la formación sea permeable. De llegar a darse la pérdida de circulación en un pozo con surgencia esto puede convertirse en una situación peligrosa debido a un reventón subterráneo.

La pérdida de circulación puede ser costosa, debido a que el tiempo que se tarda en recuperar la circulación puede ser largo y el costo que implica tener parado el equipo de perforación puede ser alto, además de los costos de los materiales para corregir la pérdida de circulación.

Para la invasión del fluido de perforación hacia la formación se necesitan dos factores:

- Los poros de la formación deben superar por tres veces el tamaño de las partículas más grandes existentes en el fluido de perforación.
- La presión de la columna hidrostática del fluido de perforación debe ser mayor a la presión de la formación.

Las formaciones que se caracterizan por tener poros lo suficientemente grandes como para tener una pérdida de circulación son:

- Formaciones no consolidadas o sumamente permeables.
- Fracturas naturales.
- Zonas cavernosas o con cavidades.
- Fracturas inducidas.

Las formaciones no consolidadas, varían mucho en su permeabilidad. Las fracturas naturales como fallas, grietas y fisuras se pueden producir en cualquier

formación debido a las tensiones de la tierra. Las formaciones cavernosas están asociadas con calizas y formaciones volcánicas.

En la práctica las zonas de pérdida han estado ubicadas usualmente en la vecindad del último asiento de revestimiento. Se debe tener cuidado con los movimientos de la sarta dentro del pozo ya que esta eleva la presión en el fondo. Mientras más rápido es el movimiento de la sarta mayor es la sobrepresión que ejerce, por lo tanto en mayores profundidades los movimientos de tubería deberían de ser más lentos, refiriéndose a los viajes de la misma.

Se debe tener precaución con las propiedades del fluido de perforación ya que este puede presentar altas resistencias de gel y altas viscosidades causando una sobrepresión.

Una zona potencial de pérdida es el caso de arenas depletadas. Las formaciones productivas pueden causar un diferencial de presión debido a la extracción de los fluidos de formación.

## **2.1.2 PROBLEMAS CON LUTITAS Y LA INESTABILIDAD DEL HUECO.**

La gran mayoría de problemas de inestabilidad del hueco ocurren en formaciones lutíticas puesto que sus propiedades varían significativamente de una zona a otra.

Las diferentes causas de inestabilidad del hueco pueden ser de origen químico o mecánico.

### **2.1.2.1 Efectos químicos.**

Principalmente la característica de las arcillas como las ilitas, mica, esmectita, dorita y capas de arcilla mezclada por su intercambio iónico son causantes de inestabilidad en el hueco. Se puede tener el error de simular mecanismos de fallas con modelos analíticos, empíricos o mecánicos, mientras que el principal mecanismo puede ser un efecto químico. El principal mecanismo de falla durante

la perforación de un pozo relacionado con causas químicas es la hidratación de las arcillas.

La hidratación de las arcillas son causadas por propiedades que estas poseen tales como la esmectita y la illita y su afinidad con el agua, éstas arcillas absorben agua y aumentan la presión de la formación causando ensanchamiento del hueco mediante derrumbes. La mayor proporción de arcillas se encuentran en las lutitas, estas al contacto con un fluido de perforación base agua pueden reaccionar aumentando su volumen.

#### **2.1.2.2 Efectos mecánicos.**

Estos efectos generalmente se dan por un exceso de fuerzas de tensión y esfuerzos de corte en la formación, todos estos factores deben ser considerados en la evaluación de estabilidad durante el proceso de perforación.

Las lutitas desmoronables son uno de los problemas más comunes asociados a la inestabilidad del hueco. Realizar un buen programa de fluido de perforación para conocer de mejor manera su geología minimizando su ocurrencia durante la perforación.

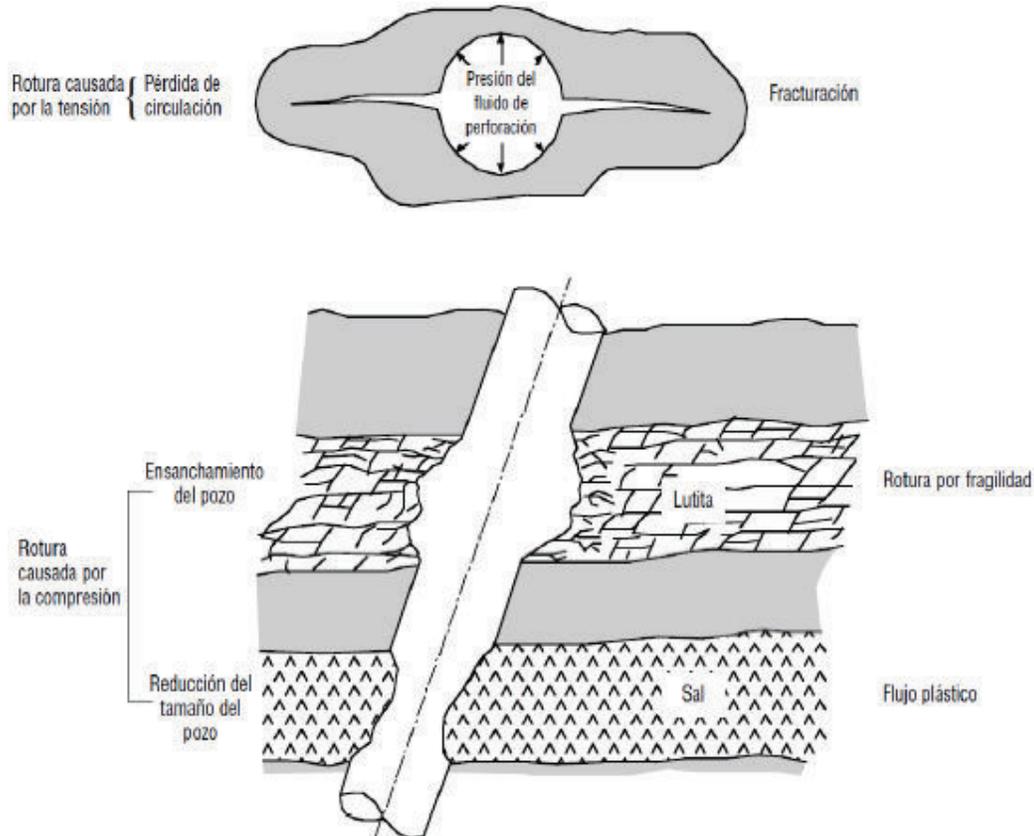
Los problemas relacionados con inestabilidad del hoyo en secciones lutíticas son:

- Limpieza del hueco ineficiente.
- Atascamiento de tubería y operaciones de pesca.
- Incremento en el costo del tratamiento al fluido de perforación.
- Malas cementaciones.
- Problemas de derrumbes.
- Dificultades para correr registros.
- Ensanchamiento del hueco.
- Necesidad de revestidores intermedios.
- Pérdida de tiempo en la perforación por la necesidad de repasar el hueco.

Los principales factores mecánicos en los problemas con lutitas son:

- Erosión debido a altas velocidades anulares.
- Aplicación de técnicas inadecuadas de perforación como: velocidades de viaje muy altas, entre otras.
- Invasión de filtrado hacia la formación y reacción desfavorable del fluido de perforación con las formaciones inestables.

La inestabilidad de las lutitas puede ser el resultado de las siguientes fuerzas solas o combinadas.



**Figura 2.1 Fuerza Mecánica de las Lutitas.**  
Fuente: MI.Sawco

### **Presión de sobrecarga.**

El esfuerzo de la presión de sobrecarga puede crear varias formas de inestabilidad del pozo, durante la perforación produce un exceso de sobrecarga sobre la columna hidrostática. Por ejemplo cuando el contenido de agua y la plasticidad de la lutita son anormalmente altos con la relación a la presión de sobrecarga la lutita es forzada hacia el pozo y crea inestabilidad en el pozo.

### **Presión de poros.**

Cuando existe una diferencia de presión entre el fluido de perforación y los fluidos dentro de los poros de la formación, esta presión diferencial hacia el pozo tiende a derrumbar rocas que caerán en él (un tipo de derrumbe). Tal derrumbe o colapso, es posible cuando la formación es relativamente impermeable, debido a que si la formación es permeable es posible un reventón a que un derrumbe. Si la formación tiene gas y este diferencial de presión puede estallar dentro del pozo y puede ocurrir un derrumbe a gran escala.

### **Fuerzas tectónicas.**

La aplicación de los esfuerzos sobre los estratos de la corteza terrestre dan como resultado los pliegues y fallas, esto termina en la formación de montañas, estos esfuerzos son elevados rápidamente en la lutita, la cual es fácilmente deformable, pero tienden a permanecer ( los esfuerzos) en formaciones que son quebradizas, aún una cantidad pequeña de agua de absorción puede causar esfuerzos suficientes, para inducir en la lutitas la formación de “hojuelas” en fragmentos que caerán al agujero.

### **Absorción de agua.**

Una clasificación de las lutitas y sus propiedades físicas y químicas, ayuda para la descripción del efecto de absorción de agua sobre la estabilidad de la lutita.

Al observarse un aumento de ripio en las zarandas o un aumento de volumen en el sistema de circulación, esto puede deberse a que lutitas no perforadas en contacto con el fluido de perforación base agua cause el desprendimiento de lutitas.

La torsión y el arrastre aumentan a medida que el espacio anular se sobrecarga con los desmoramientos provenientes de la zona dificultosa. Esto puede conducir al aprisionamiento de la sarta.

Cuando se realiza un viaje de control se tiene mayor arrastre en secciones del pozo con diámetro estrecho. Generalmente en estos viajes se producen desmoramientos que se suman a los sedimentos en el fondo creando empaquetamiento.

Las lutitas pueden describirse clasificando el problema según los siguientes tres tipos de lutitas.

#### Portadoras de gas.

La lutita que en sus poros tiene gas y a alta presión, es probable que se desprenda a menor presión hidrostática. Si esta lutita se perfora por debajo de la presión de equilibrio, esto causara que la lutita sea arrojada al hueco debido a las diferencias de presión.

Para detectar este problema se tendrá un arrastre y en ciertas zonas un estrechamiento del hueco debido a la presión en los poros por causa del gas, si esto sucede el fluido de perforación será contaminado por gas, esto alterara las propiedades del fluido bajando la densidad.

#### Bentoníticas.

La lutita bentonítica contiene arcillas coloidales que se parecen a una montmorillonita de buena calidad en su capacidad de hidratación, que al estar en

contacto con el fluido de perforación estas se hinchan y se incorpora al sistema de fluido, debido a la reducción de la pérdida de filtrado por el aumento de viscosidad del sistema.

Antes de que esto suceda se puede minimizar la hidratación de las arcillas mediante la reducción de la pérdida filtrado de fluido de perforación, esto disminuirá la cantidad de agua que hidraten a dichas arcillas. Sin embargo, el uso de un sistema inhibidor usualmente tiene más éxito en el control de esos sólidos hidratables.

#### Frágiles y fracturadas.

Para el manejo de estas arcillas frágiles y fracturadas, es importante controlar la pérdida de filtrado para evitar humedecer estas lutitas. Para la reducción de filtrado la adición de materiales asfálticos contribuirían positivamente, pues esos materiales se intercalan dentro de los estratos, proveyendo un efecto taponante a nivel de los mismos. De la misma manera un aumento en la densidad del fluido de perforación también ayuda a mantener esas lutitas en su lugar.

### **2.1.3 BROTES O SURGENCIAS.**

Un brote o surgencia conocido como un reventón es el desastre más costoso en las operaciones de perforación y completación. En general el control de un reventón se divide en dos etapas: control primario de prevención, control secundario.

#### **2.1.3.1 Control primario de prevención.**

Este control se basa en función de la columna hidrostática que contrarresta las presiones de la formación, esta columna debe tener las propiedades adecuadas de densidad, viscosidad y fuerza de gel para que nunca se presente un amago de reventón.

### **2.1.3.2 Control Secundario.**

Consiste en la utilización de equipos de prevención de reventones. El éxito al tratar de suprimir un brote depende de los materiales y el equipo, pero únicamente cuando se tiene un buen conocimiento de la situación y se piensa acertadamente.

Las siguientes condiciones se deben analizar para escoger el método más adecuado y las prácticas que se deben utilizar en cada pozo.

- Ajustar el caudal de la bomba a fin de mantener una presión constante durante el proceso de control.
- Aumentar la densidad del fluido de perforación al valor determinado por los valores de la presión de cierre en la tubería y la presión de cierre en el anular.
- Monitorear en todo momento el volumen de los tanques y las unidades de gas en el fluido de perforación.

### **2.1.4 PEGA DE TUBERÍA.**

La pega de tubería se define cuando la fuerza que ejerce el gancho se incrementa para levantar la tubería, o a su vez se incrementa el peso en la broca para bajar tubería.

El término hueco apretado se ocupa comúnmente en las pegas de tubería cuando aplica en situaciones donde el movimiento de la sarta se ve restringido por eventos o fuerzas en el hueco. En general se reconoce esta situación porque el torque se aumenta y se torna errático, se incrementa la carga en el gancho necesaria para levantar la tubería, o se incrementa el peso en la broca o el arrastre cuando se baja tubería.

Las causas de la pega de tubería pueden ser clasificadas en forma general bajo tres mecanismos principales:

- Empaquetamiento (pack-off).
- Pega diferencial.
- Geometría del pozo.

#### **2.1.4.1 Empaquetamiento.**

Esto ocurre cuando existe exceso de material en el hueco, tales como recortes de formación, desechos, etc., estos se acumulan alrededor de la tubería y/o BHA y bloquean el espacio anular entre la tubería y la pared del pozo. Se debe tener en cuenta que los recortes, tanto grandes como pequeños pueden hacer que la tubería se quede pegada. De acuerdo a las estadísticas alrededor del mundo, el empaquetamiento es la causa de mayor frecuencia que provoca situaciones de pega de tubería.

#### **2.1.4.2 Pega Diferencial.**

Tiene lugar cuando la tubería es empujada hacia las paredes de las formaciones permeables por la diferencia de presión creada entre las presiones hidrostática y la de la formación. La fuerza de fricción entre la tubería y la formación es tan elevada que no tiene posibilidad de mover la sarta. Además, este mecanismo de pega ocurre la mayoría de veces cuando se tiene la tubería mucho tiempo estática o sin moverse.

#### **2.1.4.3 Geometría del Hueco.**

Este mecanismo de pega ocurre cuando el ensamblaje de fondo (BHA) no es el apropiado para la forma del pozo que se está perforando. Por lo tanto la tubería queda imposibilitada de pasar por una sección geoméricamente compleja del pozo.

## **2.2 RESUMEN DE LA PERFORACIÓN Y PROBLEMAS PRESENTADOS EN LA SECCIÓN 12 ¼” EN LOS POZOS A1, A2, B1Y B2.<sup>48</sup>**

### **2.2.1 POZO A1.**

Se inició la perforación de la sección de 12 ¼” de este pozo armando un BHA direccional # 3 con broca PDC 12 ¼”, RSS,<sup>49</sup> estabilizador de 11 ¾” y MWD convencional, se procedió a bajar desde superficie hasta tope del cemento, se roto cemento, tapones, collar flotador presentando baja ROP por problemas de limpieza de tapones no rotatorios.

Se realizó prueba de integridad de casing y roto cemento, zapato de 13 3/8” más 10 pies de nueva formación procediendo a realizar el cambio de fluido viejo por fluido A1 de 9.8 PPG, se realizó prueba de integridad de formación (FIT) con una densidad equivalente de fluido de 13.5 PPG. Se inició la perforación de la sección de 12 ¼” a 5945 pies atravesando la formación Orteguzza según plan direccional sin presentar problemas, al ingresar a la formación Tiyuyacu a 7028 pies se procedió a subir la lubricidad del fluido al 2% para reducir el Stick & Slip presentado en las herramientas direccionales, al atravesar el conglomerado superior a 7255 pies se vuelve a incrementar la lubricidad del fluido al 2.5% para reducir el Stick & Slip<sup>50</sup>, se continuó perforando la formación Tiyuyacu atravesando los conglomerados medio e inferior hasta el tope de Tena a 8430 pies donde se procede a subir nuevamente la lubricidad al 3% y luego al 4% a 8598 pies para reducir el Stick & Slip, a la profundidad de 8854 pies se circuló tren de píldoras viscosas - pesadas hasta tener retornos limpios en zarandas.

Posterior se procedió a realizar viaje a superficie con el BHA direccional # 3, destacando varios puntos apretados de hasta 50 Klbs de overpull por lo cual se

- 
- <sup>48</sup> Petroamazonas. 2015. Reportes Finales de Operaciones. Ecuador.
  - <sup>49</sup> RSS significa sistema rotativo direccional.
  - <sup>50</sup> Stick & Slip significa pega y resbala.

sacó con backreaming<sup>51</sup> teniendo problemas ya que la rotaria se detiene varias veces, a la profundidad de 6768 pies se circuló tren de píldoras dispersa – viscosa - pesada para limpieza del hueco incrementándose en zarandas +/- 5% de recortes, se continuó sacando este BHA direccional # 3 hasta 5935 pies (zapato CSG 13 3/8") presentándose problemas de overpull por lo cual se continuó sacando con backreaming, al ingresar en el revestimiento de 13 3/8" se tiene arrastre de hasta 40 Klbs por lo cual se decidió bombear un tren de píldoras y circular un fondo arriba, posteriormente se sacó y se quebró el BHA direccional # 3 en superficie.

Se armó BHA direccional # 4 con broca PDC 12 1/4", motor de fondo, estabilizador de 12", LWD, MWD convencional, se baja hasta 8854 pies y se bombeó píldora dispersa previo al inicio de la perforación, a 8905 pies se tiene baja ROP presentando características de broca embolada por lo cual se bombeó 3 píldoras anti embolantes y se trabajó la sarta con resultados positivos, se continuó perforando la formación Tena y Basal Tena hasta 9820 pies bombeando píldoras dispersas y repasando tres veces cada parada perforada, se perforó la formación Napo hasta 10532 pies atravesando la Caliza M1, Caliza M2 y Caliza A repasando dos veces cada parada perforada en lutitas y tres veces en calizas, durante la perforación el gas de background se mantuvo entre 70000 y 80000 PPM.

Se bombeó tren de píldoras viscosas observando durante el primer fondo arriba que el gas de background disminuyó hasta 50000 PPM observándose trazas de crudo en el fluido por lo cual se decidió subir la densidad del fluido de 11.6 a 11.9 PPG disminuyendo el gas de background a 20000 PPM, al realizar el viaje de control desde 10532 pies hasta 9730 pies se sacó con backreaming, parando la rotaria varias veces, se decidió bombear tren de píldoras dispersas - viscosas presentando problemas para reciprocarse la parada, con indicios de empaquetamiento, se continuó con el viaje de control desde 9730 pies hasta 9570 pies donde se observó la sarta pegada, se trabajó la sarta martillando hacia abajo

---

• <sup>51</sup> Backreaming significa sacar tubería utilizando la sarta y bombas.

hasta liberar, se circuló fondo arriba y se continuó sacando hasta 9439 pies donde se presentó problemas severos de conatos de empaquetamiento, por lo cual se baja BHA direccional # 4 hasta 9890 pies donde se bombea píldora viscosa y se circula para limpieza del hueco, se procede a sacar BHA Direccional # 4 desde 9890 pies hasta 9258 pies con overpull de hasta 50 Klbs sacando con backreaming.

A 9258 pies se observó la sarta atrapada sin rotación ni circulación, se trató de recuperar circulación y se trabajó sarta accionando martillo hacia abajo sin lograr avance, se trabajó sarta hacia arriba accionando martillo logrando levantar 30 pies sin recuperar circulación, después de 25 horas de trabajar la sarta se la deja con presión testigo de 2500 PSI observando flujo por la tubería de perforación después de 9 horas con retornos de fluido cortado con gas de 10.5 PPG, se cerró el pozo acumulando 1750 PSI en tubería, se realizó control del pozo con fluido de 12.8 PPG, se trató de mover la sarta arriba-abajo, sin éxito.

Se bombeó píldora dispersa con lubricante y se trabajó sarta arriba-abajo logrando levantar la sarta 17 pies sin recuperar rotación, se continuó bombeando píldoras dispersas con lubricante y soda caustica trabajando la sarta hacia arriba recuperando acción del martillo lo cual libero la sarta recuperando rotación al 100%. Se continuó sacando BHA direccional # 4 hasta 8460 pies con backreaming y con continuos intentos de empaquetamiento, a dicha profundidad se tiene la sarta pegada con circulación y sin rotación se trabajó sarta sin lograr avance.

Se decidió realizar free point determinando tubería libre hasta 8350 pies, realizando back off<sup>52</sup> a 8226 pies recuperando tubería punto libre, longitud del pescado en el hueco 243 pies.

Se armó BHA de acondicionamiento # 5 con broca PDC 12 ¼" y estabilizador de 11 ¾", se bajó desde superficie hasta 5825 pies (zapato CSG 13 3/8"), libre;

---

• <sup>52</sup> Back off significa provocar por detonante se desconecte la rosca.

desde 5825 pies hasta 8143 pies con puntos apretados con apoyo de hasta 40 Klbs con intentos de empaquetamiento y pérdidas de rotaria, repasando 2 a 3 veces el intervalo hasta quedar libre, bombeó y circuló tren de píldoras observando ligero exceso de material en zarandas, posteriormente se procedió a bajar hasta el tope de pescado a 8226 pies, bombeó y desplazó píldora viscosa lubricante y saco BHA hasta superficie.

Se arma BHA de Pesca # 6 con screw in sub, se bajó y se engancho pescado a 8226 pies perdiendo circulación, se trabajó sarta para recuperar circulación activando el martillo arriba-abajo, se recuperó circulación y rotación y se sacó a superficie BHA de Pesca # 6 observando que se desconectó en el screw in sub por rosca lavada.

Se armó BHA de Pesca # 7 con overshot se bajó y se enganchó pescado a 8226 pies, se trabajó sarta atrapada activando martillos hacia abajo sin mostrar avance ni tener circulación, se decide realizar Back Off a 8226 pies y se recuperó sarta a superficie, realizando posteriormente un tapón de abandono a 6300 pies.

Se armó BHA Direccional # 1 con broca PDC 12 ¼" , motor de fondo, estabilizador de 11 ¾" y MWD convencional, bajó y realizó side track a 6006 pies con un fluido de 10.8 PPG, continuó perforando según programa direccional hasta 8075 pies atravesando los Conglomerados Superior y Medio, bombeó tren de píldoras y sacó BHA Direccional # 1 hasta 5790 pies con backreaming y varios intentos de empaquetarse realizando circulaciones intermedias y aumentando la densidad del fluido a 12 PPG, continuó sacando y quiebra BHA Direccional # 1.

Se armó BHA Direccional # 2 con broca PDC 12 ¼", motor de fondo, estabilizador de 11 ¾" y MWD convencional, bajó y perforó desde 8075 pies hasta 9236 pies atravesando las formaciones Conglomerado Superior y Tena, con continuos problemas de colgamiento para deslizar, repasando cada parada 3 veces, bombea tren de píldoras dispersa - viscosa pesada y circuló hasta retornos limpios en zarandas, realizando viaje a superficie desde 9236 pies realizando una circulación a 8570 pies para limpieza del hueco.

Se armó BHA Direccional # 3 con broca PDC 12 ¼”, RSS, estabilizador 11 ¾” y MWD convencional, se bajó hasta 9236 pies con problemas para reiniciar la perforación debido a que la broca no descarga peso, se bombeó píldoras anti embolantes y se trabajó sarta, se continuó perforando desde 9236 pies hasta 10818 pies atravesando las formaciones Tena, Basal Tena, Caliza M1, Caliza M2 y Caliza A, Arenisca U Superior, Arenisca U Principal, Napo Media, bombeando píldoras dispersas con lubricante al 3% al inicio de cada parada durante la perforación de la formación Tena, a 10818 pies se observa baja ROP, broca no descarga peso y no hay variación en el torque para lo cual se realizó maniobras con píldoras anti embolantes teniendo resultados positivos y continuando la perforación hasta 11177 pies terminando con un fluido de 12.4 PPG atravesando la Arenisca T principal y lutita Napo inferior, circuló para obtención de muestras en superficie y saca BHA Direccional # 3 desde 11177 pies hasta 5935 pies con backreaming realizando circulaciones intermedias para limpieza del hueco a 10562 pies 9803 pies 9524 pies 8660 pies, continuó sacando y quiebra BHA en superficie.

Se arma BHA Direccional # 4 con broca PDC 12 ¼”, motor, estabilizador de 11 ¾” y MWD convencional, bajó desde superficie hasta 9970 pies trabajando intervalos de apoyo, bombeó tren de píldoras viscosa - dispersa observando presencia de crudo en zarandas y gas de viaje de 74000 PPM por lo cual se subió la densidad del fluido a 12.7 PPG, continuó bajando hasta 11130 pies con reaming<sup>53</sup> donde se observó pérdida de rotación y trabaja la sarta arriba-abajo sin éxito, se bombeó 180 bls agua fresca y trabajó sarta obteniendo rotación y liberación de la sarta al salir agua fresca en las zarandas, teniendo una densidad del fluido de 12.4 PPG, se procedió a sacar BHA hasta 7169 pies con backreaming y realizando circulaciones intermedias a 9644 pies 8502 pies, sacando libre hasta superficie y quebrando el BHA.

Se procedió a bajar CSG 9 5/8” con zapato de nariz rotatoria desde superficie hasta 9318 pies donde se tiene apoyo, se bajó con bomba hasta 9520 pies donde

---

• <sup>53</sup> Reaming significa bajar tubería con sarta y bomba.

se observó incremento de presión y pérdida de circulación, trabajó casing arriba-abajo y restablece circulación, bombeó 140 bls de agua fresca y circuló mientras trabajó casing arriba-abajo sin éxito, bombeó 300 bls de agua fresca circula y tensiona casing sin éxito, bombeó píldora viscosa y 1300 bls de agua fresca tensiona casing liberando parcialmente el casing de 680 KLbs a 400 Klbs, bombeó píldora viscosa con material sellante y desplazó agua fresca por fluido de 12 PPG observando crudo en zarandas, trabajó casing arriba-abajo y bombeó píldora viscosa con material sellante y 1300 bls de agua fresca liberando tensión de 700 Klbs a 500 Klbs.

Desplazó agua fresca por fluido de 12 PPG observando presencia de crudo en zarandas, homogeniza sistema con fluido 12 PPG bajando casing hasta 9670 pies observando atascamiento del casing, se bombeó píldora viscosa seguida de 1300 bls de agua libera tensión de 700 Klbs a 500 Klbs y continuó bajando hasta 9843 pies, sin más avance, desplazó agua fresca por fluido de 11.7 PPG y bajó casing con peso y circulación hasta 9947 pies, bombeó píldora viscosa sellante seguida de 500 bls de agua fresca y circuló desplazando con fluido de 12 PPG trabajando casing arriba abajo sin éxito, se procedió a realizar cementación de casing dando por terminado las operaciones de perforación de la sección 12 ¼”.

### **2.2.2 POZO A2.**

Se inició la perforación de la sección 12 ¼” armando BHA direccional # 4 con broca PDC 12 1/4”, motor, estabilizador 12 1/8” y MWD convencional, bajó desde superficie hasta 5848 pies tope de cemento, se rotó cemento, tapones y collar flotador, se realizó prueba de integridad de casing por 10 minutos, OK y se continuó rotando cemento, zapato flotador y 10 pies de formación nueva, se desplazó fluido viejo por fluido A2 de 10.5 PPG, se realizó prueba de integridad a la formación FIT con fluido equivalente a 12.6 PPG.

Se continuó perforando desde 5914 pies hasta 7853 pies atravesando las formaciones de Orteguzza, Tiyuyacu, Conglomerado Superior, Conglomerado Inferior, se bombeó y circuló píldora viscosa, se realizó viaje de control desde 7853 pies hasta 5904 pies (Zapato CSG 13 3/8”), se bajó hasta 7853 pies y se

continuó perforando conglomerado inferior hasta 8326 pies, aumentando lubricidad al 2% por problemas de alto torque y bombeando píldoras viscosas sellantes, se perforó desde 8326 pies hasta 8695 pies, bombeó y circuló píldora viscosa y saca y quiebra BHA direccional # 4 en superficie.

Se armó BHA direccional # 5 con broca PDC 12 ¼", motor, estabilizador 12 1/8" y MWD convencional, bajó desde superficie hasta 8695 pies, se bombeó píldora dispersa previo al reinicio de la perforación y perforó desde 8695 pies hasta 9729 pies atravesando las formaciones Tena, Basal Tena, Caliza A, Caliza M1 y Caliza M2 con problemas de alto torque, se bombeó píldora viscosa y se circuló hasta retornos limpios en las zarandas, realizó viaje de control desde 9729 pies hasta 8188 pies libre, con backreaming hasta 5904 pies, se bajó BHA direccional # 5 desde 5904 pies hasta 7556 pies libre, con reaming hasta 9417 pies, profundidad donde se pierde rotación, trabajó sarta recuperando rotación y sacando hasta 9000 pies, bombeó y circuló tren de píldoras para limpieza del hueco, continuó bajando desde 9000 pies hasta 9205 pies con reaming donde al no tener avance se decidió sacar hasta superficie, sacando con backreaming hasta 5904 pies, bombeó y circuló píldora viscosa para limpieza del hueco, continuó sacando hasta superficie y quebró BHA Direccional # 5.

Se armó BHA de acondicionamiento # 6 con broca PDC 12 ¼", se bajó desde superficie hasta 6585 pies libre, desde 6585 pies hasta 9729 pies con reaming, por exceso de retornos en zarandas se bombeó y circuló píldoras viscosas pesadas a 7789 pies, 9100 pies y a 9729 pies se bombeó y circuló tren de píldoras viscosas - lubricantes y se densifica de 12.2 PPG a 12.5 PPG, se sacó BHA de Acondicionamiento # 6 desde 9729 pies hasta 9040 pies con bomba y libre hasta 5902 pies, se bombeó y circuló píldora viscosa observando exceso de recortes en zarandas, continuó sacando hasta superficie y quebrando BHA de acondicionamiento # 6.

Se armó BHA de registro con tubería asistida y se bajó desde superficie hasta 6181 pies donde se tiene apoyo, se trabaja sarta y se decide sacar BHA de Registro con tubería asistida a superficie.

Se armó BHA de acondicionamiento # 7 con broca PDC 12 ¼”, se bajó desde superficie hasta 6161 pies libre, con reaming hasta 9729 pies, se bombeó y circuló píldora viscosa observando exceso de retornos en zarandas, a 9729 pies se bombeó tren de píldoras viscosas - lubricantes observando exceso de retornos en zarandas por lo que se densificó el sistema de 12.7 PPG a 13 PPG, se sacó BHA de acondicionamiento con backreaming hasta 7925 pies profundidad a la que se pierde circulación y rotación, se pierde aproximadamente 160 bls de fluido, se bombeó píldora sellante y trabajó sarta recuperando rotación y circulación, continuó sacando desde 7925 pies hasta 5904 pies se circuló píldora viscosa a 6857 pies y 5904 pies observando exceso de retornos en zarandas, continuó sacando hasta superficie, quebró BHA de acondicionamiento # 7.

Se bajó casing de 9 5/8” con zapato de nariz rotatoria desde superficie hasta 6060 pies libre, desde 6060 pies hasta 9220 pies trabajando sarta de casing con bomba y rotaria, a 9220 pies se bombeó píldora lubricante y se trabajó sarta de casing sin éxito, se decidió dejar punto de casing de 9 5/8” a 9070 pies ( 91 pies sobre basal tena), se sacó casing de 9 5/8” desde 9220 pies hasta 9070 pies con bomba y rotaria, se realizó cementación de casing 9 5/8” con éxito.

### **2.2.3 POZO B1.**

Se inició la perforación de la sección de 12 ¼” de este pozo armando un BHA Direccional # 4 con broca PDC 12 ¼”, RSS, MWD convencional y LWD, se bajó desde superficie hasta 4550 pies tope de cemento, se rotó cemento, tapones y collar flotador, se realizó prueba de integridad de casing por 10 minutos, OK y se continuó rotando cemento, zapato flotador y 10 pies de formación, se desplazó fluido viejo por fluido B1 de 9.5 PPG, se realizó prueba de integridad a la formación FIT con fluido equivalente a 12 PPG.

Se perforó desde 4610 pies hasta 5224 pies atravesando las formaciones Orteguaza y Tiyuyacu, debido a problemas en el sistema de trasmisión del Top Drive se sacó BHA hasta 4493 pies, se rompió circulación por 10 minutos cada 5 horas mientras se soluciona el problema del Top Drive, se continuó con la perforación hasta 6942 pies atravesando las formaciones de Tiyuyacu y Tena con

una densidad del fluido de 10.7 PPG, por daños en el Top Drive se mantiene sarta en movimiento con circulación por un lapso de 53 horas, se procedió a sacar BHA # 4 desde 6942 pies hasta 6275 pies bombeando tren de píldoras - dispersa y viscosa cada parada en un total de 86 horas, se continuó sacando hasta 5690 pies bombeando tren de píldoras - dispersa y viscosa y circulando para limpieza del hueco por un lapso de 32 horas en total, se perdió rotación a 5690 pies y se trabajó sarta hacia abajo, se bombeó píldora liberadora y se trabajó sarta arriba abajo durante 31 horas, se redució densidad del fluido de 11 PPG a 10.7 PPG y se trabajó sarta arriba-abajo por un lapso de 10 horas recuperando rotación, se bombeó y circuló píldora viscosa para limpieza del hueco y se acondiciono fluido a 10.5 PPG, 50 segundos de viscosidad y 7 mililitros de filtrado, se continuó sacando con backreaming desde 5690 pies hasta 4600 pies y libre hasta superficie, se quebró BHA direccional # 4.

Se armó BHA convencional # 5 con broca PDC 12 ¼" y reamer de 12 ¼", se bajó hasta 4800 pies libre y realizando reaming hasta 6942 pies con rotación restringida trabajando sarta para recuperar rotación y realizando circulaciones a 5350 pies, 5820 pies, y 6482 pies para limpieza del hueco, se acondicionó fluido de perforación y se procedió a sacar BHA convencional #5 desde 6942 pies hasta 5620 pies libre, con bomba desde 5620 pies hasta 5390 pies y libre hasta superficie, se quebró BHA convencional # 5.

Se armó BHA direccional # 6 con broca PDC 12 1/4", RSS, MWD convencional y LWD, bajan hasta 6942 pies bombeando píldora dispersa para el reinicio de la perforación, se continuó perforando sección 12 ¼" hasta 7798 pies atravesando las formaciones Tena, Basal Tena y Napo bombeando píldora dispersa cada parada y píldora dispersa y viscosa cada dos paradas, se bombeó y circuló tren de píldoras para limpieza del hueco, se sacó BHA direccional # 6 hasta 5900 pies, se bombeó y circuló tren de píldoras dispersa - viscosa para limpieza del hueco observando caída de presión por Washout, se continuó sacando desde 5900 pies hasta 100 pies, observando rotura en pin de cross over que une DC con herramienta direccional quedando BHA Direccional # 6 pescado en fondo.

Se armó BHA convencional # 7 con broca tricónica 12 ¼" y estabilizador de 12" y bajó desde superficie hasta 6080 pies (tope de pescado), bombeó y circuló tren de píldoras para limpieza del hueco, se sacó y quebró BHA Convencional # 7 en superficie.

Se armó BHA de pesca # 8 con Over Shot, se bajó desde superficie hasta 5150 pies libre y con circulación hasta 6073 pies, se trabajó sarta para enganchar pescado desde 6073 pies hasta 6086 pies sin éxito, se procedió a sacar BHA de pesca # 8 y quebrar en superficie.

Se armó BHA de pesca # 9 con Over Shot, se bajó desde superficie hasta 5500 pies libre y con circulación hasta 6070 pies, se trabajó sarta para enganchar pescado con éxito, se sacó BHA de Pesca # 9 con pescado hasta superficie.

Se armó BHA direccional # 10 con broca PDC 12 ¼" RSS, MWD convencional y LWD, se bajó desde superficie hasta 6941 pies, bombea y circula tren de píldoras dispersa - viscosa para limpieza del hueco a 5800 pies, 6470 pies, 6941 pies, se continuó bajando con reaming hasta 7698 pies, previo al reinicio de la perforación se acondiciona fluido bombeando 300 bls de fluido nuevo con un densidad de 11.2 PPG, se continuó perforando desde 7698 pies hasta 7729 pies, donde se perdió señal del pulser por falla electrónica, se sacó y quebró BHA Direccional # 10 en superficie.

Se armó BHA Direccional # 11 con broca PDC 12 ¼", RSS, MWD convencional y LWD, se bajó desde superficie hasta 6100 pies libre con circulación hasta 7500 pies y relagueando desde 7500 pies hasta 7729 pies, se bombeó píldora dispersa previo al reinicio de la perforación, se perforó desde 7729 pies hasta 7877 pies donde se detecta falla en la herramienta LWD, se continuó perforando hasta 8727 pies sin señal de herramienta LWD incrementando lubricidad para mejorar ROP, se bombeó tren de píldoras dispersa - viscosa para limpieza del hueco y se sacó BHA Direccional # 11 desde 8727 pies hasta 8370 pies donde se tiene una pega de tubería, se trabajó sarta martillando arriba-abajo y bombeando píldora liberadora de tubería durante 67 horas, se bajó densidad del fluido de 11 PPG a

10.5 PPG y se trabajó sarta martillando arriba-abajo durante 24 horas, se bajó densidad del fluido de 10.5 PPG a 10 PPG y se trabajó sarta martillando arriba-abajo durante 43.5 horas, se preparó y bombeó píldora liberadora de tubería y se trabajó sarta martillando arriba abajo durante 9.5 horas, se realizó desconexión mecánica y se sacó sarta a superficie total 6949 pies.

Se armó BHA de Pesca # 12 con Over Shot, se bajó desde superficie hasta 6949 pies trabajando sarta para enganchar pescado sin éxito, se procedió a sacar y quebrar en superficie.

Se armó BHA Convencional # 13 con broca tricónica de 12 ¼", se bajó desde superficie hasta 6949 pies detectando tope de pescado, se bombeó y circuló tren de píldoras dispersa - viscosa para limpieza del hueco, se sacó y quebró BHA # 13 en superficie.

Se armó BHA de Pesca # 14 con Over Shot, se bajó desde superficie hasta 6949 pies trabajando sarta para enganchar pescado sin éxito, se procedió a sacar y quebrar BHA # 14 en superficie.

Se armó BHA de Pesca # 15 con gancho de pared, Over Shot y tubo doblado, se bajó desde superficie hasta 6949 pies, se trabajó gancho de pared en diferentes posiciones para enganchar pescado sin éxito, se procedió a sacar y quebrar BHA # 15 en superficie, se decidió realizar tapón de abandono a 6900 pies, se realizó tapón de desvío a 6650 pies, se bajó un tubing de 3 ½" y se armó cabezal abandonando temporalmente el pozo.

#### **2.2.4 POZO B2.**

Se inició la perforación de la sección 12 ¼" armando BHA Direccional # 5 con broca PDC 12 ¼", RSS, MWD y LWD, bajó desde superficie hasta 5164 pies, se perforó 10 pies de formación nueva hasta 5174 pies, se desplazó fluido viejo por fluido B2 de 10.2 PPG, realizó prueba de integridad de la formación FIT con densidad equivalente de 12 PPG.

Continuó perforando hasta 7405 pies bombeando píldoras dispersa cada parada y píldoras viscosa cada dos paradas, aumentando la densidad hasta 10.4 PPG, atravesando las formaciones de Orteguzza y Tiyuyacu, se bombeó y circuló tren de píldoras viscosa - dispersa y sacó hasta 5272 pies con backreaming, profundidad donde se observó empaquetamiento de la sarta y pérdida de 80 bls de fluido, trabajó sarta hasta recuperar circulación, se bombeó píldora viscosa y anti pérdida, trabajó sarta para recuperar rotación densificando el fluido de perforación a 10.7 PPG, se continuó sacando hasta 5164 pies libre, bajo hasta 7405 pies realizando una circulación intermedia a 5420 pies.

Continuó perforando hasta 8724 pies bombeando píldoras dispersa cada parada y píldoras viscosa cada dos paradas, circuló tren de píldoras para limpiar hueco, al intentar realizar viaje de calibración se observó sarta pegada, bombeó tren de píldoras alcalina – dispersa - viscosa, aumento la lubricidad al 3% y trabajó sarta hacia abajo, se bajó la densidad al sistema de 10.7 PPG a 10.2 PPG, continuó bombeando tren de píldoras alcalina – dispersa - viscosa trabajando sarta arriba-abajo sin éxito, bombeó píldora liberadora de tubería y trabajó sarta hacia abajo se recuperó rotación y se perdió circulación momentáneamente, trabajó sarta para restablecer circulación con éxito, sacó BHA Direccional # 5 desde 8724 pies 7447 pies con backreaming, circuló y acondicionó fluido de perforación a 10.7 PPG y continuó sacando con backreaming hasta 6592 pies donde se observó paro de rotaria.

Trabajo sarta hacia abajo para restablecer rotación con éxito, bombeó y circuló tren de píldoras dispersa - viscosa para limpieza del hueco, incrementó densidad a 10.9 PPG y continuó sacando con backreaming hasta 6020 pies, bombeó y circuló tren de píldoras dispersa - viscosa y densificó fluido de perforación de 10.9 PPG a 11.4 PPG, continuó sacando con backreaming hasta 5140 pies, bombeó y circuló tren de píldoras dispersa - viscosa para limpieza dentro del casing de 13 3/8", continuó sacando hasta superficie requiriéndose circulación para poder sacar en el intervalo de 5014 pies a 4600 pies.

Se armó BHA Convencional # 6 con broca PDC 12 ¼” y bajó desde superficie hasta 5260 pies libre y con reaming hasta 8505 pies, se bombeó píldoras dispersas y viscosas a 6024 pies, 6986 pies y 7931 pies para limpieza del hueco, continuó bajando hasta 8724 pies donde bombeó y circuló tren de píldoras dispersa - viscosa hasta retornos limpios en zarandas, sacó con backreaming hasta 5164 pies registrándose un intento de empaquetamiento de la sarta a 8090 pies, bombeó y circuló píldora viscosa para limpieza dentro del casing de 13 3/8” y continuó sacando con rotación y bombeó hasta 4700 pies y libre hasta superficie.

Bajo casing de 9 5/8” con zapato rimador desde superficie hasta 5164 pies libre, y con circulación y rotación hasta 8700 pies donde se observó apoyo sin conseguir avance, se decidió dejar casing de 9 5/8” a 8700 pies y se realizó cementación según programa.

## **2.3 FLUIDOS DE PERFORACIÓN UTILIZADOS EN LA PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN 12 ¼” EN LOS POZOS A1, A2, B1, B2.**<sup>54</sup>

### **2.3.1 FLUIDO DE PERFORACIÓN A1.**

El fluido de perforación utilizado en la sección intermedia de este pozo fue un fluido INHIBITORIO, el cual es base agua, se añadieron barita, lubricante, inhibidor, sellantes, controlador de filtrado y otros químicos para controlar parámetros aptos para una mejor perforación.

En la siguiente tabla se indican las propiedades del fluido de perforación A1.

**TABLA 2.1 PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN DEL POZO A1 EN LA SECCIÓN 12 ¼”.**

<b>PROPIEDADES</b>	<b>VALOR</b>
Densidad (lb/gal)	9.8 – 12.6
Viscosidad Embudo (seg/qt)	35 – 62
PH	9 – 10

• <sup>54</sup> Petroamazonas. 2015. Reportes Finales de Operaciones. Ecuador.

Viscosidad Plástica (Cp)	5 – 30
Punto Cedente (lb/100pie2)	9 – 37
Geles (lb/100pie2)	3/4/5 – 12/18/23
Arena (%)	0.15 – 0.25
MBT (lb/bbl)	2.5 – 27.5
Calcio (ppm)	140 – 200
Filtrado (ml/30min)	5 – 6.5
Total de Sólidos	9.5 – 18.3
Lubricidad (%)	0 – 4
Inhibidor (lb/bl)	0 - 8

FUENTE: Reporte final de perforación A1

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

### 2.3.2 FLUIDO DE PERFORACIÓN A2.

El fluido de perforación utilizado en la sección intermedia de este pozo fue un fluido inhibitorio, el cual es base agua, se añadieron barita, lubricante, inhibidor, sellantes, controlador de filtrado y otros químicos para controlar parámetros aptos para una mejor perforación.

En la siguiente tabla se indican las propiedades del fluido de perforación A2.

**TABLA 2.2 PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN DEL POZO A2 EN LA SECCIÓN 12 ¼”.**

PROPIEDADES	VALOR
Densidad (lb/gal)	10.5 – 13
Viscosidad Embudo (seg/qt)	41 – 63
PH	8.5 – 9.5
Viscosidad Plástica (Cp)	11 – 23
Punto Cedente (lb/100pie2)	16 – 30
Geles (lb/100pie2)	4/5/6 – 12/17/22
Arena (%)	0.15 – 0.28
MBT (lb/bbl)	2.5 – 28
Calcio (ppm)	130 – 210
Filtrado (ml/30min)	4.7 – 7.1
Total de Sólidos	9 – 16
Lubricidad (%)	0 – 2
Inhibidor (lb/bl)	0 - 6

FUENTE: Reporte final de perforación A2

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

### 2.3.3 FLUIDO DE PERFORACIÓN B1.

El fluido de perforación utilizado en la sección intermedia de este pozo fue un fluido inhibitorio, el cual es base agua, se añadieron barita, lubricante, inhibidor, sellantes, controlador de filtrado y otros químicos para controlar parámetros aptos para una mejor perforación.

En la siguiente tabla se indican las propiedades del fluido de perforación B1.

**TABLA 2.3 PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN DEL POZO B1 EN LA SECCIÓN 12 ¼".**

PROPIEDADES	VALOR
Densidad (lb/gal)	9.9 – 11
Viscosidad Embudo (seg/qt)	40 – 65
PH	9.1 – 10
Viscosidad Plástica (Cp)	8 – 19
Punto Cedente (lb/100pie2)	16 – 36
Geles (lb/100pie2)	5/7/10 – 15/36/46
Arena (%)	0.1 – 0.15
MBT (lb/bbl)	2.5 – 30
Calcio (ppm)	140 – 200
Filtrado (ml/30min)	7 – 12
Total de Sólidos	6 – 18
Lubricidad (%)	0 – 2.5
Inhibidor (lb/bl)	0 - 8

FUENTE: Reporte final de perforación B1

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

### 2.3.4 FLUIDO DE PERFORACIÓN B2.

El fluido de perforación utilizado en la sección intermedia de este pozo fue un fluido inhibitorio, el cual es base agua, se añadieron barita, lubricante, inhibidor, sellantes, controlador de filtrado y otros químicos para controlar parámetros aptos para una mejor perforación.

En la siguiente tabla se indican las propiedades del fluido de perforación B2.

**TABLA 2.4 PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN DEL POZO B2 EN LA SECCIÓN 12 ¼”.**

<b>PROPIEDADES</b>	<b>VALOR</b>
Densidad (lb/gal)	10.2 – 11.4
Viscosidad Embudo (seg/qt)	39 – 48
PH	9.2 – 10
Viscosidad Plástica (Cp)	9 – 17
Punto Cedente (lb/100pie2)	15 – 20
Geles (lb/100pie2)	8/12/15 – 13/19/26
Arena (%)	0 – 0.15
MBT (lb/bbl)	1.25 – 28
Calcio (ppm)	40 – 100
Filtrado (ml/30min)	7.3 – 10
Total de Sólidos	8 – 14
Lubricidad (%)	0 - 3
Inhibidor (lb/bl)	0 - 8

FUENTE: Reporte final de perforación B2.

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

## **2.4 PROBLEMAS POR LA INTERACCIÓN FORMACIÓN FLUIDO DE PERFORACIÓN EN LA SECCIÓN 12 ¼” EN LOS POZOS A1, A2, B1 Y B2.**

### **2.4.1 POZO A1.**

#### **2.4.1.1 Alto torque.**

##### **Descripción del problema.**

Durante la perforación debido a altos valores de stick & slip, torque y vibraciones que producen que la rotaria se detenga y las herramientas direccionales estén sujetas a esfuerzos que pueden alterar el funcionamiento

##### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Atravesando la formación Tiyuyacu 7028 pies se presenta stick & slip, se procede a subir la lubricidad del fluido de perforación al 2%, 2.5%, 3%, 4% para reducir el

stick & slip a 8854 pies se circula tren de píldoras viscosa - pesadas hasta retornos limpios.

#### **2.4.1.2 Alto overpull.**

##### **Descripción del problema.**

Al realizar viaje a superficie con BHA direccional # 3 se destacó varios puntos apretados de hasta 50 Klbs de overpull.

##### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se saca con backreaming teniendo problemas ya que la rotaria se detiene varias veces, se circuló tren de píldoras dispersas - viscosas - pesadas para limpieza del hueco incrementándose en zarandas +/- 5% de recortes.

#### **2.4.1.3 Arrastre.**

##### **Descripción del problema.**

Al realizar viaje a superficie con BHA Direccional # 3 e ingresar en el revestimiento de 13 3/8" se tiene arrastre de hasta 40 Klbs.

##### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se decidió circular tren de píldoras y circular un fondo arriba.

#### **2.4.1.4 Broca embolada.**

##### **Descripción del problema.**

A 8905 pies se tiene baja ROP presentando características de broca embolada porque la broca no descarga peso.

##### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se bombeó 3 píldoras anti embolantes y se trabaja sarta con resultados positivos.

#### **2.4.1.5 Influjos.**

##### **Descripción del problema.**

Durante la perforación de la Caliza M1, Caliza M2 y Caliza A el gas se mantuvo entre 70000 y 80000 PPM, posteriormente el background disminuyó a 50000 PPM observándose trazas de crudo en el fluido.

##### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se bombeó tren de píldoras viscosas observando durante el primer fondo arriba que el gas disminuyó, al observarse trazas de crudo se decidió subir de 11.6 PPG a 11.9 PPG para controlar el influjos.

#### **2.4.1.6 Empaquetamiento.**

##### **Descripción del problema.**

A 9730 pies se saca con backreaming, parando la rotaria varias veces, presentando problemas para trabajar sarta arriba-abajo cada parada con indicios de empaquetamiento.

##### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se decidió bombear tren de píldoras dispersas - viscosas para limpieza del hueco.

#### **2.4.1.7 Sarta pegada.**

##### **Descripción del problema.**

A 9570 pies durante viaje de control se tuvo la sarta pegada, se trabajó la sarta martillando hacia abajo hasta liberar, se circuló fondo arriba y se continuó sacando hasta 9439 pies donde se presentó problemas severos de conatos.

### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Una vez liberada la sarta martillando hacia abajo se bombeó píldora viscosa y se circuló para limpieza del hueco.

#### **2.4.1.8 Sarta pegada, perdida de circulación e influjo**

##### **Descripción del problema.**

A 9258 pies se observó la sarta atrapada sin rotación ni circulación, se trata de recuperar la circulación y se trabaja sarta accionando martillo hacia abajo sin lograr avance, se trabaja sarta hacia arriba accionando martillos logrando levantar 30 pies sin recuperar circulación, después de 25 horas de trabajar la sarta se la deja con presión testigo de 2500 PSI observando flujo por la tubería de perforación después de 9 horas con retornos de fluido cortado con gas, se cerró el pozo acumulando 1750 PSI en tubería, se realizó control del pozo, se trató de mover la sarta arriba-abajo, sin éxito, se trabajó sarta arriba-abajo logrando levantar la sarta 17 pies sin recuperar rotación.

##### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Para controlar el fluido cortado con gas se aumentó el densidad del fluido de perforación de 10.5 PPG a 12.8 PPG, se bombeó píldora dispersa con lubricante, se continuó bombeando píldoras dispersas con lubricante y soda caustica, trabajando la sarta hacia arriba recuperando acción del martillo lo cual libero la sarta recuperando rotación al 100%.

#### **2.4.1.9 Sarta pegada y pescado**

##### **Descripción del problema.**

Mientras se sacaba BHA direccional # 4 hasta 8460 pies con backreaming y con continuos intentos de empaquetamiento, a dicha profundidad se tiene la sarta

pegada con circulación, se trabaja sarta sin lograr avance, se decidió realizar Free Point determinando tubería libre hasta 8350 pies.

**Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se realizó back off a 8226 pies recuperando tubería punto libre, longitud del pescado en el hueco 243 pies, se trabajó sarta con el bombeo de píldoras sin éxito, para posterior realización de Back Off y pescado de longitud 243 pies.

**2.4.1.10 Conatos.**

**Descripción del problema.**

Al realizar side track a 6006 pies, se continuó perforando hasta 8075 pies, se sacó BHA Direccional # 1 con varios intentos de empaquetarse.

**Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se realizó circulaciones intermedias con el bombeo de píldoras dispersas viscosas para limpieza del hueco.

**2.4.1.11 Broca embolada.**

**Descripción del problema.**

Se baja BHA Direccional # 3 hasta 9236 pies con problemas para reiniciar la perforación debido a que la broca no descarga peso.

**Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se bombeó píldoras anti embolantes y se trabaja sarta arriba-abajo.

**2.4.1.12 Influjo.**

**Descripción del problema.**

Se bajó BHA # 4 desde superficie hasta 9970 pies observando presencia de crudo en zarandas y gas de viaje de 74000 PPM.

**Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se bombea tren de píldoras viscosa - dispersa, por lo cual se sube la densidad del fluido de perforación de 12.4 PPG a 12.7 PPG.

**2.4.1.13 Pega diferencial.**

**Descripción del problema.**

Al continuar bajando BHA # 4 a 11130 pies se observa pérdida de rotación, se mantiene circulación y trabaja sarta arriba-abajo sin éxito.

**Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se bombeó 180 bls de agua fresca y trabaja sarta obteniendo una densidad del fluido de 12.4 PPG, obteniendo rotación y liberación de la sarta.

**2.4.1.14 Empaquetamiento.**

**Descripción del problema.**

Se procedió a bajar CSG 9 5/8" desde superficie hasta 9318 pies donde se tiene apoyo, se baja con bomba hasta 9520 pies donde se observa incremento de presión y circulación restringida, trabaja casing arriba-abajo e intenta restablece circulación sin éxito, tensiona casing liberando parcialmente el casing de 680 Klbs a 400 Klbs, se observa crudo en zarandas, trabaja casing arriba-abajo, liberando tensión de 700 Klbs a 500 Klbs, observando presencia de crudo en zarandas, homogeniza sistema con fluido 12 PPG bajando casing hasta 9670 pies observando atascamiento del casing, libera tensión de 700 Klbs a 500 Klbs y continua bajando hasta 9843 pies, sin más avance, baja casing con peso y circulación hasta 9947 pies, trabaja casing arriba abajo sin éxito, se procede a

realizar cementación de casing dando por terminado las operaciones de perforación de la sección 12 ¼”.

#### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se bombeó 140 bls de agua fresca y circula mientras trabaja casing arriba-abajo sin éxito, bombea 300 bls de agua fresca circula y tensiona casing sin éxito, bombea píldora viscosa y 1300 bls de agua fresca tensiona casing liberando parcialmente, bombea píldora viscosa con material sellante y desplaza agua fresca por fluido de 12 PPG observando crudo en zarandas, bombea píldora viscosa con material sellante y 1300 bls de agua fresca liberando tensión, desplaza agua fresca por fluido de 12 PPG observando presencia de crudo en zarandas, homogeniza sistema con fluido 12 PPG bajando casing, se bombea píldora viscosa seguida de 1300 bls de agua libera tensión y continuó bajando hasta 9843 pies, sin más avance, desplazó agua fresca por fluido de 11.7 PPG y bajó casing con peso y circulación hasta 9947 pies, bombea píldora viscosa sellante seguida de 500 bls de agua fresca y circula desplazando con fluido de 12 PPG trabajando casing arriba abajo sin éxito, se procede a realizar cementación de casing dando por terminado las operaciones de perforación de la sección 12 ¼”.

#### **2.4.2 POZO A2.**

##### **2.4.2.1 Alto torque.**

#### **Descripción del problema.**

Mientras se perforaba el Conglomerado Inferior a 8326 pies se dan problemas por alto torque.

#### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se aumentó la lubricidad al 2%, bombeó píldoras viscosa sellantes.

#### **2.4.2.2 Sarta pegada.**

##### **Descripción del problema.**

Mientras se realizaba viaje de control con reaming desde 7556 pies a 9417 pies de profundidad se pierde rotación.

##### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Trabaja sarta de perforación recuperando rotación, se bombeó y circuló tren de píldoras para limpieza del hueco.

#### **2.4.2.3 Empaquetamiento.**

##### **Descripción del problema.**

Con BHA de Acondicionamiento baja desde 6585 pies hasta 9729 pies con reaming con presencia de exceso de retornos en zarandas, se sacó BHA de Acondicionamiento desde 9729 pies hasta 9040 pies con bomba y libre hasta 5902 pies, se observó exceso de recortes en zarandas.

##### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se bombeó y circuló píldoras viscosas pesadas, se bombeó y circuló tren de píldoras viscosas - lubricantes y se densificó el fluido de perforación de 12.2 PPG a 12.5 PPG, se bombeó y circuló píldora viscosa observando exceso de retornos.

#### **2.4.2.4 Empaquetamiento.**

##### **Descripción del problema.**

Se armó BHA de Acondicionamiento # 7 se bajó desde 6161 pies hasta 9729 pies con reaming, observando exceso de retornos en zarandas.

##### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se bombeó y circuló píldora viscosa observando exceso de retornos en zarandas, se bombeó tren de píldoras viscosas - lubricantes observando excesos de retornos por lo cual se densifica el fluido de perforación de 12.7 PPG a 13 PPG.

#### **2.4.2.5 Pérdida de circulación.**

##### **Descripción del problema.**

A 7925 pies de profundidad se pierde aproximadamente 160 bls de fluido.

##### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se circuló píldora sellante y trabajó sarta recuperando circulación, se circuló píldora viscosa observando excesos de retornos en zarandas.

#### **2.4.2.6 Empaquetamiento.**

##### **Descripción del problema.**

Al bajar casing de 9 5/8" a 9220 pies se observó un empaquetamiento se trabajó casing sin éxito, se decidió dejar casing a 9070 pies.

##### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se bombeó píldora lubricante y se trabajó sarta de casing sin éxito, zapato casing a 9070 pies.

#### **2.4.3 POZO B1.**

##### **2.4.3.1 Sarta pegada.**

##### **Descripción del problema.**

Mientras se sacaba el BHA # 4 a 5690 pies después de bombear píldoras para limpieza del hueco se perdió rotación.

### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se bombeó tren de píldoras dispersa - viscosa y circulando para limpieza del hueco por un lapso de 32 horas, se bombeó píldora liberadora y se trabajó sarta arriba y abajo durante 31 horas, se redujo la densidad del fluido de 11 PPG a 10.7 PPG, se trabajó sarta de arriba abajo por un lapso de 10 horas recuperando rotación, se acondiciono la densidad del fluido de perforación a 10.5 PPG.

#### **2.4.3.2 Empaquetamiento.**

### **Descripción del problema.**

Se sacó BHA Direccional # 6 hasta 5900 pies, observando caída de presión por Washout, se continuó sacando desde 5900 pies hasta 100 pies, observando rotura en pin de cross over que une DC con herramienta direccional quedando BHA Direccional # 6 pescado en fondo.

### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se bombeó tren de píldoras dispersa - viscosa para limpieza del hueco observando caída de presión

#### **2.4.3.3 Pega de tubería.**

### **Descripción del problema.**

Al sacar BHA Direccional # 11 desde 8726 pies a 8370 pies donde se tiene una pega de tubería durante 67 horas trabajando sarta sin éxito, trabajo sarta por 24 horas martillando de arriba-abajo durante otras 43.5 horas, después de otras 9.5 horas se realizó desconexión mecánica y se sacó sarta a superficie.

### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se trabajó sarta martillando arriba-abajo y bombeando píldora liberadora de tubería durante 67 horas.

Se baja densidad del fluido de 11 PPG a 10.5 PPG y se trabaja sarta martillando arriba-abajo durante 24 horas, se bajó densidad del fluido de 10.5 PPG a 10 PPG y se trabaja sarta martillando arriba-abajo durante 43.5 horas, se prepara y bombea píldora liberadora de tubería y se trabajó sarta martillando arriba abajo durante 9.5 horas, se realizó desconexión mecánica y se sacó sarta a superficie total 6949 pies.

#### **2.4.3.4 Pescado.**

##### **Descripción del problema.**

Se armó BHA de Pesca # 12, # 13, # 14, # 15, se bajó desde superficie detectando el pescado sin éxito al enganchar, donde se decidió realizar tapón de abandono a 6900 pies.

##### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se bombeó y circuló tren de píldoras dispersa - viscosa para limpieza del hueco, donde se trabajó sarta para enganchar a pescado sin éxito.

#### **2.4.4 POZO B2.**

##### **2.4.4.1 Empaquetamiento y Pérdida de Circulación.**

##### **Descripción del problema.**

Mientras se sacaba el BHA Direccional # 5 a 5272 pies se observó empaquetamiento de la sarta y pérdida de 80 bls de fluido de perforación, trabajó sarta hasta recuperar circulación.

##### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se bombeó píldora viscosa y anti pérdida y trabajó sarta hasta recuperar circulación y rotación densificando el fluido de perforación de 10.4 PPG a 10.7 PPG.

#### **2.4.4.2 Sarta Pegada.**

##### **Descripción del problema.**

A 8724 pies al intentar hacer viaje de calibración con BHA Direccional # 5 se observó sarta pegada, se trabajó sarta hacia abajo, se recuperó rotación y se perdió circulación momentáneamente trabajando sarta para recuperar circulación. A 6592 pies se observó paro de rotaria, trabajó sarta hacia abajo para establecer rotación con éxito.

##### **Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se bombeó tren de píldoras alcalina – dispersa - viscosa, aumento la lubricidad al 3% y trabajó sarta hacia abajo, se bajó la densidad al sistema de 10.7 PPG a 10.2 PPG, continuó bombeando tren de píldoras alcalina – dispersa - viscosa trabajando sarta arriba-abajo sin éxito, bombeo píldora liberadora de tubería y trabajó sarta hacia abajo se recuperó rotación y se perdió circulación momentáneamente, trabajó sarta para restablecer circulación con éxito, a 7447 pies con backreaming, circuló y acondiciono fluido de perforación a 10.7 PPG y continuó sacando con backreaming hasta 6592 pies donde se observó paro de rotaria, trabajo sarta hacia abajo para restablecer rotación con éxito, bombeó y circuló tren de píldoras dispersa - viscosa para limpieza del hueco, incrementó densidad a 10.9 PPG, bombeó y circuló tren de píldoras dispersa - viscosa y densifico fluido de perforación de 10.9 PPG a 11.4 PPG, continuó sacando, bombeó y circuló tren de píldoras dispersa - viscosa para limpieza dentro del casing de 13 3/8", se requirió circulación para poder sacar en el intervalo de 5014 a pies 4600 pies.

#### **2.4.4.3 Conato.**

##### **Descripción del problema.**

A 8724 pies se sacó BHA Direccional # 6 con backreaming registrando intento de empaquetamiento de la sarta a 8090 pies.

**Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se bombeó y circuló píldora viscosa para la limpieza del hueco, continuó sacando con rotación y bombeó libre hasta superficie.

**2.4.4.4 Empaquetamiento.**

**Descripción del problema.**

Al bajar casing de 9 5/8”se observó apoyo a 8700 pies sin conseguir avance.

**Acciones ejecutadas para solucionar el problema.**

Se trabajó casing arriba-abajo sin éxito, se decidió dejar casing a 8700 pies.

**2.4.5 ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN FORMACIÓN FLUIDO EN LOS POZOS A1, A2, B1 Y B2.**

**TABLA 2.5 INTERACCIÓN FORMACIÓN FLUIDO EN EL POZO A1, A2, B1 y B2.**

<b>POZO A1, A2, B1 y B2</b>	
<b>PROBLEMA EN LA PERFORACIÓN</b>	<b>MOTIVO DEL PROBLEMA</b>
Alto Torque	Por falta de lubricidad en el sistema de circulación.
Alto Overpull	Pobre limpieza del pozo, falta de punto cedente.
Broca Embolada	Falta de inhibición en el fluido.
Influjo	Falta de densidad en el sistema, y puenteo adecuado.
Empaquetamiento	Falta de inhibición en el fluido, de densidad adecuada, de limpieza en el hueco, mayor estabilizador de lutitas.
Perdida de Circulación	Falta de densidad adecuada, de limpieza en el hueco y mal puenteo.
Pega Diferencial	Falta de densidad en el sistema.
Pescado	Es producto de no haber podido liberar la sarta
Influjo	Falta de densidad y puenteo.

FUENTE: Q-Max.

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

## CAPÍTULO 3

### ANÁLISIS TÉCNICO PARA MINIMIZAR EL IMPACTO DURANTE LA PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN 12 ¼”.

Para el siguiente análisis se realizó 3 formulaciones de fluido de perforación para mejorar la inhibición en las arcillas.

**TABLA 3.1 FORMULACIÓN DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN PREPARADOS**

Productos	Uso	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Agua		750 ml	750 ml	750 ml
Soda Caustica	Regulador PH	0.20 lpb	0.20 lpb	0.20 lpb
Kelsan XCD	Viscosidad	0.75 lpb	0.75 lpb	0.75 lpb
Stardrill	Control de filtrado	2 lpb	2 lpb	2 lpb
Pac LV	Control de filtrado	2 lpb	2 lpb	2 lpb
Synerfloc A25-D	Encapsulador	2 lpb	2 lpb	2 lpb
Formiato Na	Inhibidor densificante	15 lpb	15 lpb	15 lpb
Barita	Denisificante	192 lpb	192 lpb	192 lpb
Glicol Directop	Inhibidor		3%	3%
Maxdrill	Inhibidor	1%		1%

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

Las tres formulaciones antes señaladas (Tabla 3.1), fueron preparadas en el laboratorio de fluidos de Q-Max con un orden de agregado de la (Tabla 3.1). La utilización de material densificante fue necesaria para obtener una densidad de

10.7 PPG, siendo esta la empleada actualmente y además la recomendada para las operaciones de perforación en la zona de estudio.

### **3.1 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN A TRAVÉS DE PRUEBAS FÍSICAS Y REOLÓGICAS ANTES Y DESPUES DE ROLAR.**

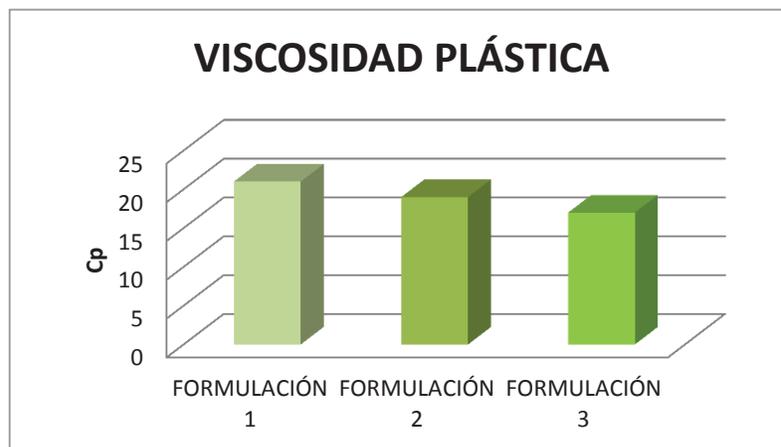
Para el estudio de los fluidos de perforación fue necesaria la realización de una serie de pruebas físicas y reológicas de las muestras. Luego de preparadas todas las formulaciones se procedió a medir la densidad de cada fluido para corroborar que tuvieran el valor necesario de 10.7 PPG.

#### **3.1.1 REALIZACIÓN DE PRUEBAS FÍSICAS Y REOLÓGICAS A LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN FORMULADOS ANTES DE ROLAR.**

De las pruebas físicas y reológicas se obtuvo y realizo en base a los ensayos, se obtuvieron las siguientes propiedades descritas a continuación.

##### **3.1.1.1 Viscosidad plástica.**

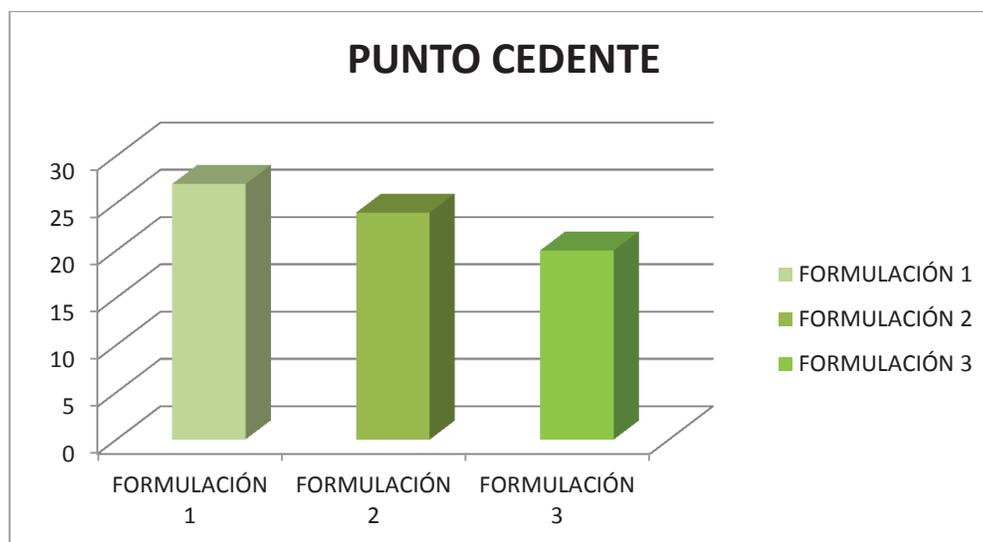
La formulación 1 obtuvo mayor viscosidad plástica (21cP) mientras que las formulaciones 2 y 3 obtuvieron valores de viscosidad plástica de (19 y 17 cP respectivamente), debido a que todas tuvieron la misma concentración de aditivos en su preparación los valores se encuentran muy cercanos.



**Figura 3.1 Viscosidad Plástica**  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

### 3.1.1.2 Punto cedente.

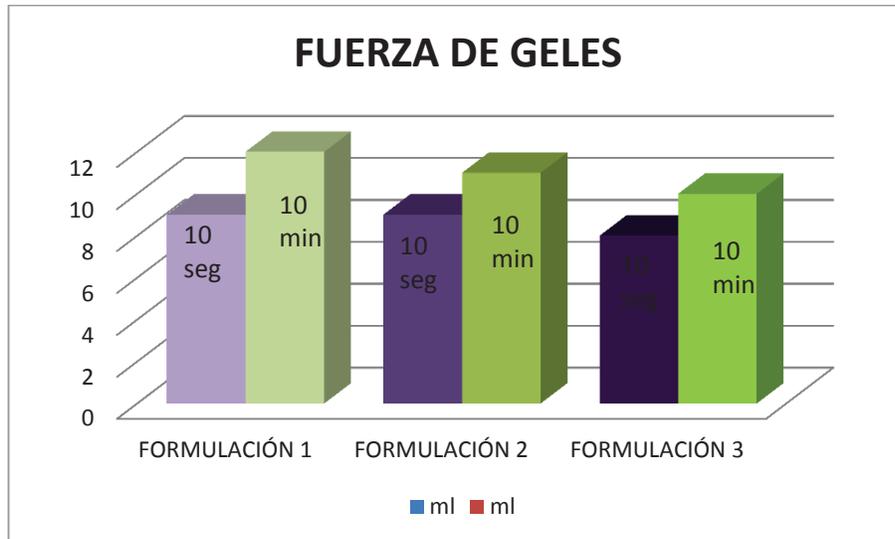
El valor más bajo de punto cedente fue reportado por la formulación 3 (20 lb/100pie<sup>2</sup>), seguido por la formulación 2 (24 lb/100pie<sup>2</sup>) y por último la formulación 1 (27 lb/100pie<sup>2</sup>).



**Figura 3.2 Punto Cedente**  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

### 3.1.1.3 Fuerza de gel.

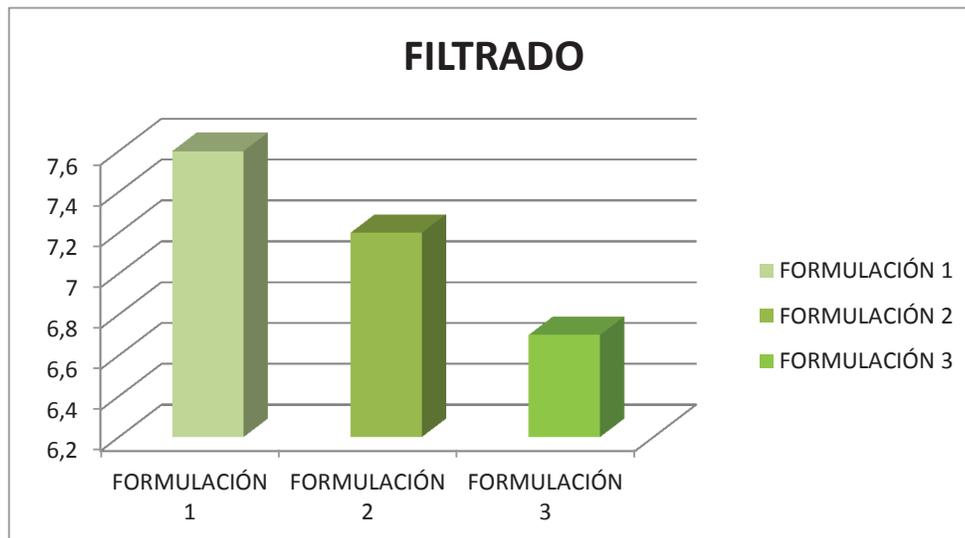
El comportamiento presentado por los geles fue el mismo presentado por la viscosidad plástica y el punto cedente; es decir, la formulación 1 que tuvo mayor viscosidad plástica y punto cedente también presentó los valores más elevados de geles de 10 seg y 10 min (9, 12 lb/100pie<sup>2</sup> respectivamente), seguido por la formulación 2 con (9, 11 lb/100pie<sup>2</sup> respectivamente) y por último la formulación 3 (8, 10 lb/100pie<sup>2</sup> respectivamente). Este comportamiento es lógico si consideramos que estas propiedades se ven afectadas por las mismas causas.



**Figura 3.3 Fuerza de Geles**  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

#### 3.1.1.4 Filtrado API.

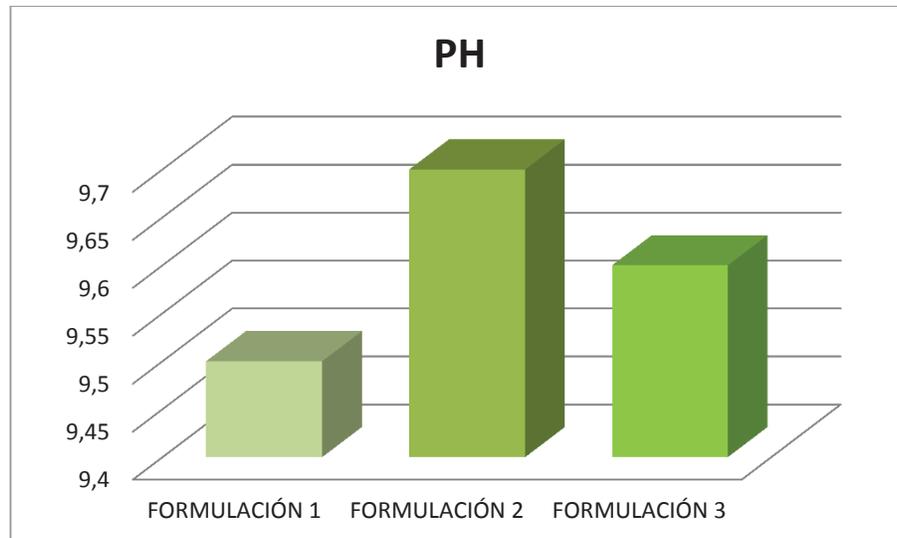
La formulación 1 presentó el mayor filtrado (7.6 ml) y las formulaciones 2 y 3 con un filtrado (7.2 ml, 6.7 ml respectivamente).



**Figura 3.4 Filtrado API**  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

### 3.1.1.5 PH.

Como se observa en la gráfica 3.5 la formulación 1 presenta un PH (9.5), la formulación 2 presenta un PH (9.7) y por último la formulación 3 presenta un PH de (9.6), valores que indican que los tres fluidos son alcalinos y además entran dentro del rango de aceptabilidad de la empresa.



**Figura 3.5 PH**  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

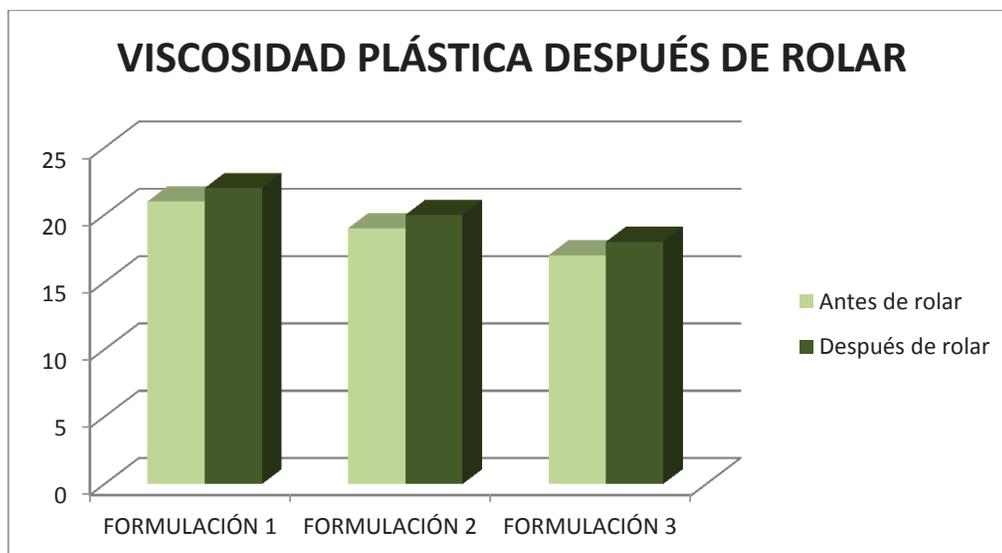
### 3.1.2 REALIZACIÓN DE PRUEBAS FÍSICAS Y REOLÓGICAS A LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN FORMULADOS DESPUÉS DE ROLAR.

Los tres fluidos formulados se sometieron a condiciones altas de temperaturas en el Horno de Rolar a 160°F durante 24 horas para analizar el comportamiento de sus propiedades, luego de someter todos los fluidos al proceso de rolar se realizaron las mismas pruebas previamente hechas a los fluidos antes de rolar. La finalidad de este procedimiento es simular la temperatura y condiciones de la formación.

### 3.1.2.1 Viscosidad plástica.

La tendencia de esta propiedad reológica en las 3 formulaciones no varió en grandes proporciones en comparación con los resultados antes de rolar. La formulación del fluido 1 presento mayor viscosidad plástica (22 cP) subio (1cP), seguida por la formulación del fluido 2 con (20 cP) de la misma manera cubio (1cP) y por último la formulación 3 con (18 cP) subio de igualforma (1cP). Estos valores son indicativos de que las formulaciones son estables y que a pesar de los efectos de la temperatura estos valores reológicos no cambiaron de manera significativa.

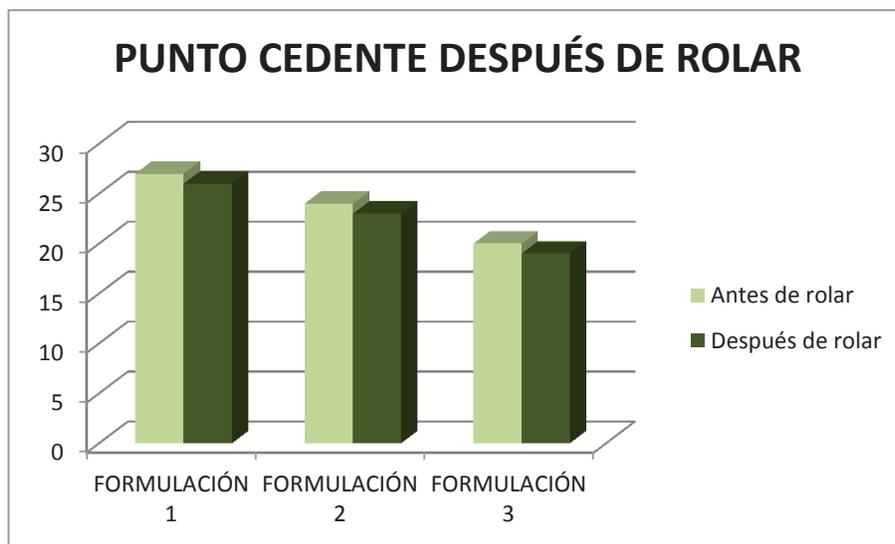
Es importante resaltar que al rolar el fluido las muestras simulan el efecto de la temperatura sin los ripsos de perforación, si solo con temperatura se eleva la reología al incorporar los ripsos esta se incrementa mucho más, por ello es considerado un buen síntoma si las propiedades reológicas se mantienen en un rango estable.



**Figura 3.6 Viscosidad Plástica después de Rolar**  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

### 3.1.2.2 Punto cedente.

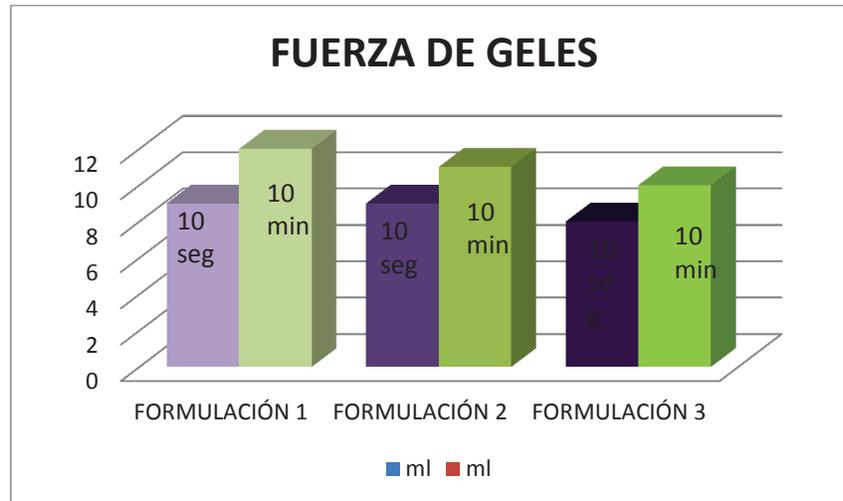
Al igual que la viscosidad plástica en el punto cedente se pudo observar un comportamiento similar, no se observaron cambios significativos en sus valores, la formulación 1 presento mayor punto cedente (26 lb/100pie<sup>2</sup>), seguida por la formulación 2 (23 lb/100pie<sup>2</sup>), y por último la formulación 3 con (19 lb/100pie<sup>2</sup>). Este comportamiento es satisfactorio porque sigue cumpliendo con sus funciones a elevadas temperaturas dentro de rangos operativos.



**Figura 3.7 Punto Cedente Después de Rolar**  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

### 3.1.2.3 Fuerza de gel.

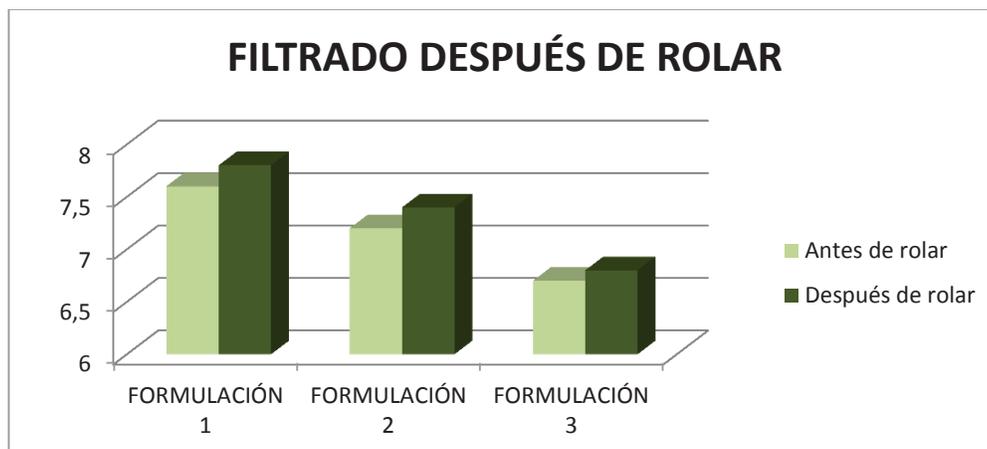
En el caso de la fuerza de gel después de rolar los valores de las formulaciones sufrieron una ligera disminución debido a la temperatura, la formulación 1 presento mayores valores de fuerza de geles con respecto a las otras formulaciones (9, 11 lb/100pie<sup>2</sup> para gel de 10 seg y 10 min respectivamente), seguida por la formulación 2 con (8, 10 lb/100pie<sup>2</sup> para geles de 10 seg y 10 min respectivamente) y finalmente la formulación 3 con (8, 9 lb/100pie<sup>2</sup> para geles de 10 seg y 10 min respectivamente).



**Figura 3.8 Fuerza de Geles después del Envejecimiento**  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

#### 3.1.2.4 Filtrado API.

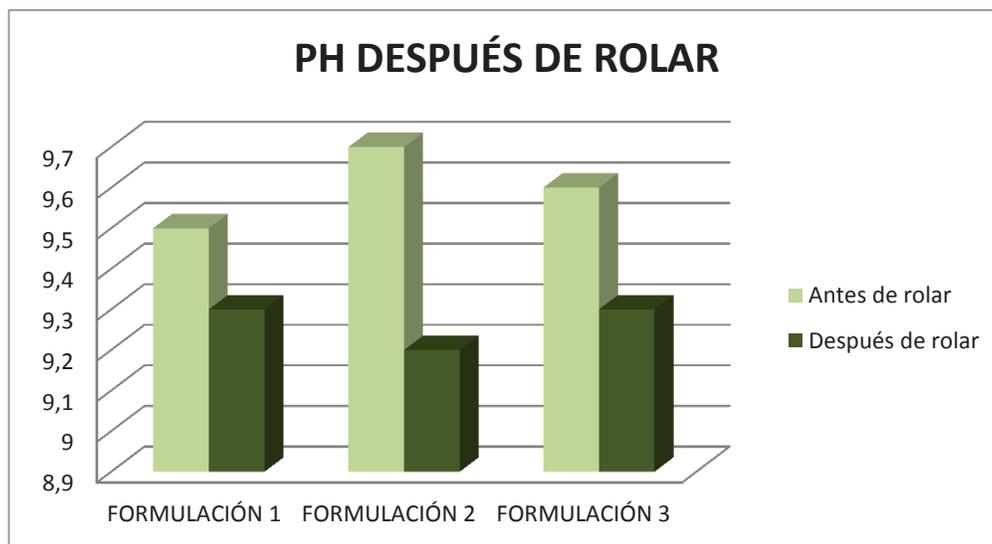
En el filtrado API se tuvo el comportamiento esperado de acuerdo con la ley de Darcy debido a que a mayor temperatura menor viscosidad de la fase continua que es básicamente el filtrado y por la ley de Darcy este aumenta. Como se puede observar en la gráfica 3.9 el aumento no es significativo las formulaciones 1, 2 y 3 recolectaron un filtrado de 7.8, 7.4, 6.8 ml respectivamente, esto es beneficioso pues indica que con progresivos aumentos de temperatura la propiedad de filtración aumenta pero se mantiene constante y continúan cumpliendo con los parámetros luego de ser sometidos al proceso de rolar.



**Figura 3.9 Filtrado API Después de Rolar**  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

### 3.1.2.5 PH.

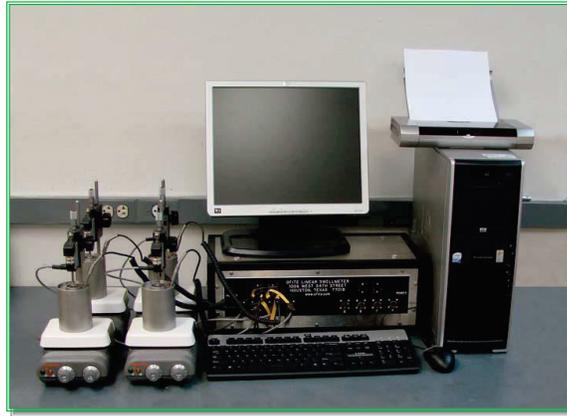
Después de rolar el pH obtenido es en la formulación 1 (9.3), en la formulación 2 (9.2) y en la formulación 3 (9.3), en comparación con los valores de estos fluidos antes de rolar en el horno ocurrió una disminución que era de esperarse debido a las altas temperaturas a las que fueron sometidas estas formulaciones por un periodo de 24 horas que permite el desprendimiento de iones OH lo que se traduce en la disminución del PH.



**Figura 3.10 PH Después de Rolar**  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

## 3.2 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN CON LAS ARCILLAS REACTIVAS DE LA SECCIÓN 12 ¼" A TRAVÉS DEL EQUIPO DE MEDICIÓN DE HINCHAMIENTO LINEAL.

Para la investigación de la hidratación de las arcillas se utilizó el equipo de medición de hinchamiento lineal de las arcillas.



**Figura 3.11** Equipo de Hinchamiento Lineal, mora Ofite.  
Fuente: Q-MAX

### **3.2.1 MEDICIÓN DEL HINCHAMIENTO LINEAL DE LAS ARCILLAS.**

Mediante las muestras provenientes de cuatro formaciones (Napó, Ortegúaza, Tena y Tiyuyacu) y fluidos identificados como Formulación 1, Formulación 2, Formulación 3, se procedió a fabricar pastillas aplicando una presión de 8000 psi por un periodo de 30 minutos para lograr la compactación requerida, de acuerdo al procedimiento del fabricante.



**Figura 3.12** Compactador para la Fabricación de las Pastillas.  
Fuente: Q-MAX

Después de obtener las correspondientes pastillas a las formulaciones mencionadas, estas fueron colocadas dentro de las celdas del equipo de hinchamiento lineal y puestas en contacto con cada uno de los fluidos evaluados hasta que la curva de % de hinchamiento vs tiempo muestre un valor constante.

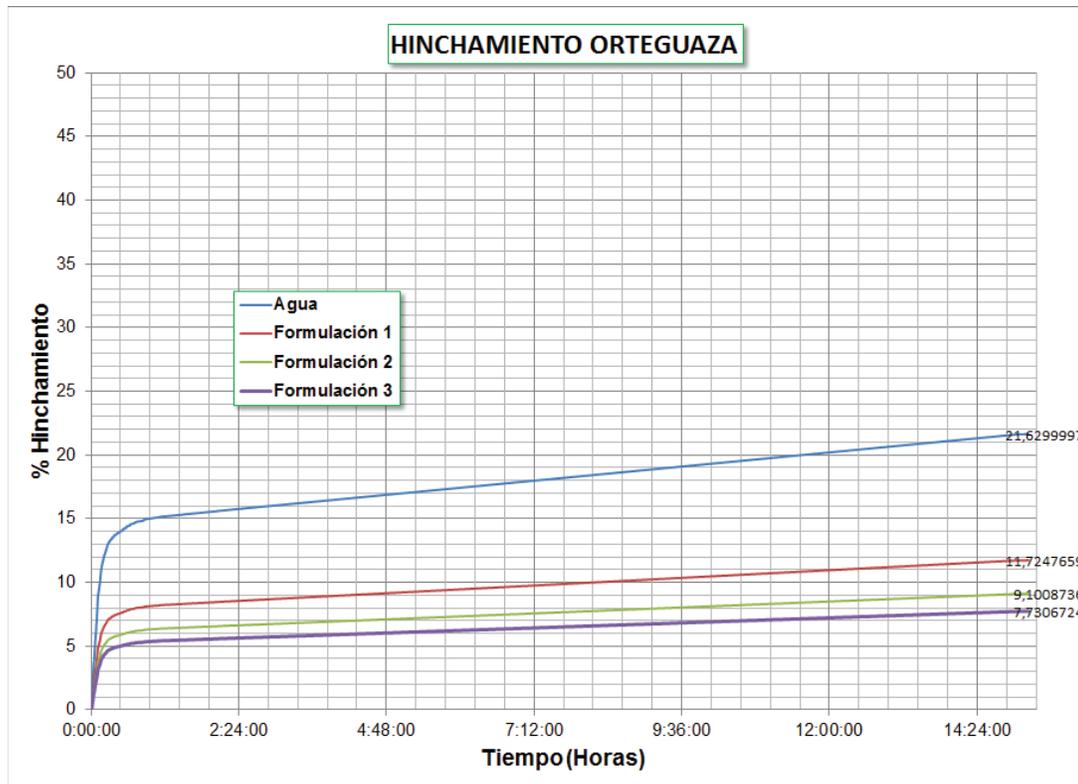
### Resultados de pruebas.

Los resultados obtenidos se encuentran tabulados en la tabla 3.2.

**TABLA 3.2 RESULTADO DE LAS PRUEBAS DE HINCHAMIENTO LINEAL.**

MUESTRAS	PORCENTAJE DE HINCHAMIENTO			
	FORMULACIÓN 1	FORMULACIÓN 2	FORMULACIÓN 3	AGUA
ORTEGUAZA	11,73	9,1	7,73	21,63
TIYUYACU	20,46	21,14	16,46	28,32
TENA	15,45	17,4	13,58	23,78
NAPO	7,86	6,78	3,16	15,03

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.



**Figura 3.13 Hinchamiento Lineal en Orteguaza**  
Elaborado por: Andrés Lara A.

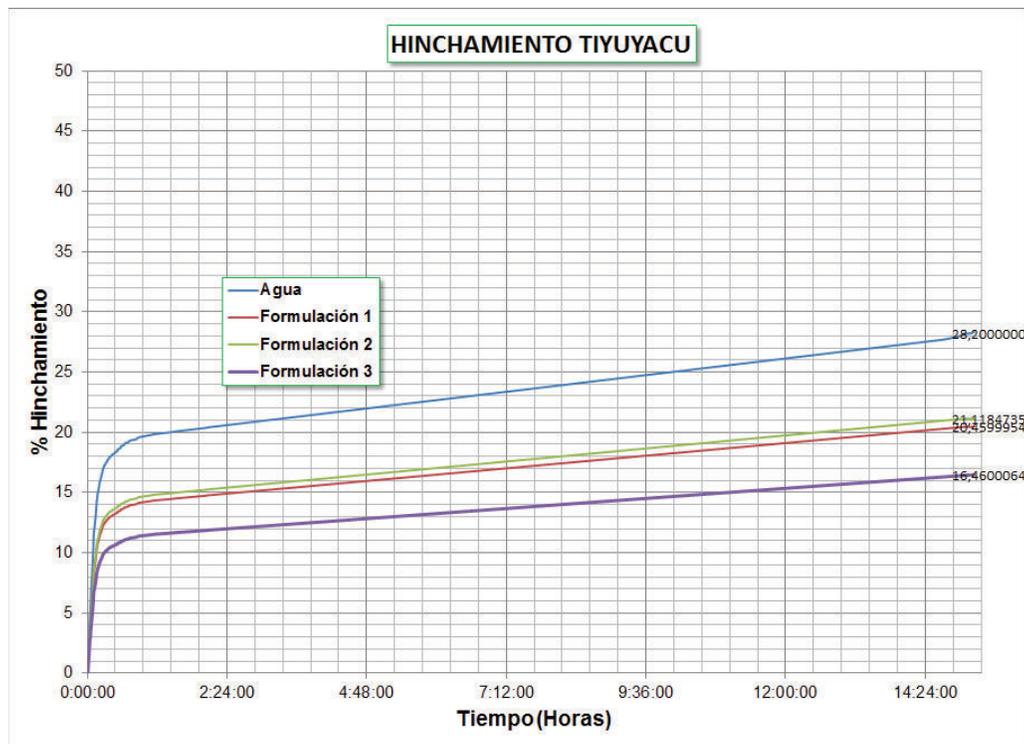


Figura 3.14 Hinchamiento Lineal en Tiyuyacu  
Elaborado por: Andrés Lara A.

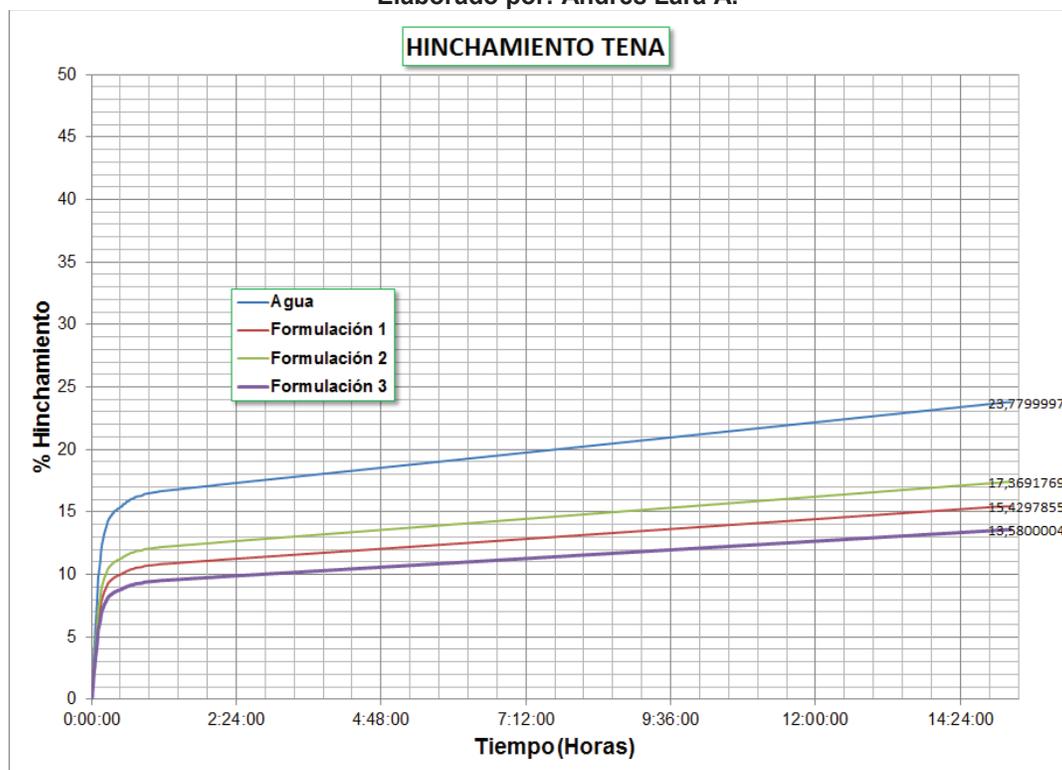
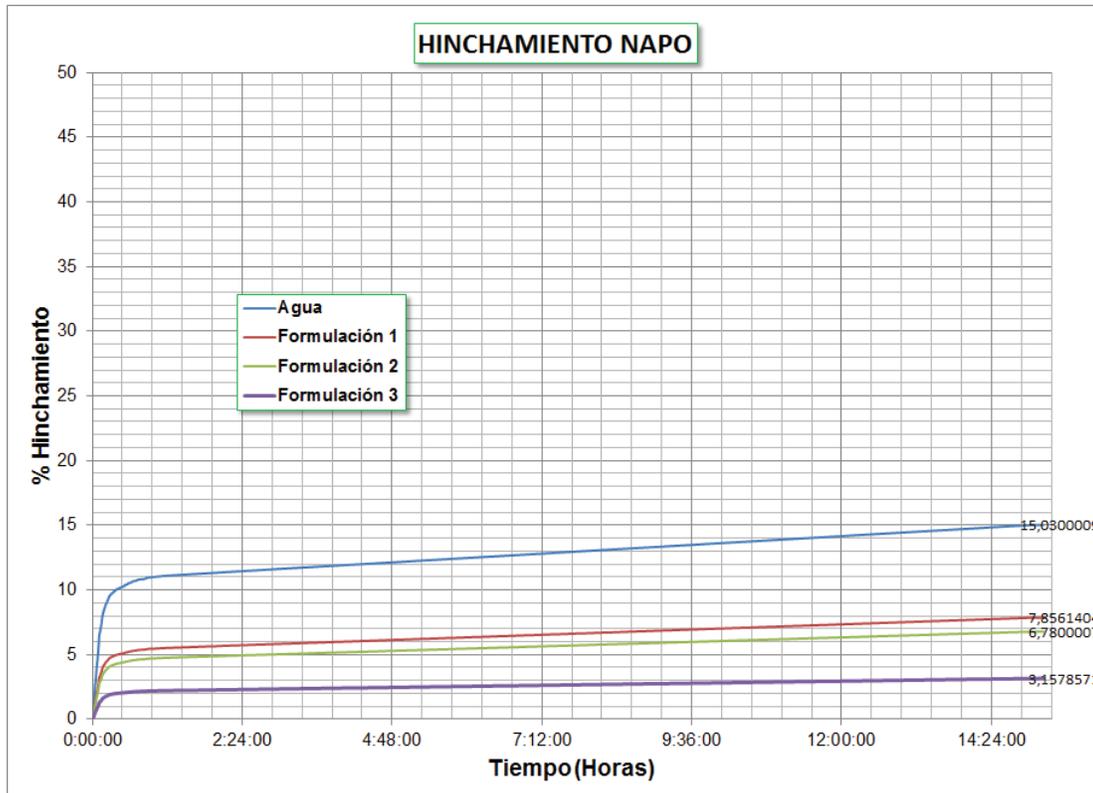


Figura 3.15 Hinchamiento Lineal en Tena  
Elaborado por: Andrés Lara



**Figura 3.16 Hinchamiento Lineal en Napo**  
Elaborado por: Andrés Lara A.

### 3.2.1.1 Análisis de resultados de Hinchamiento Lineal.

El valor de hinchamiento lineal más alto se presenta en la formación Tiyuyacu donde la formulación 3 presenta mejor inhibición con un valor de 16.46% sin embargo al estar bajo un 20% es un porcentaje aceptable para el hinchamiento de arcillas, el mismo fluido muestra los mejores resultados tanto en las formaciones Orteguzaza, Napo y Tena, este resultado se debe a que dicha formulación posee una mayor concentración de inhibidores, sin embargo la formulación 1 y 2 presentan un porcentaje de hinchamiento cercano al rango de aceptación para la formación Tiyuyacu con valores de 20.46 y 21.14 respectivamente.

Con respecto a las otras formaciones los tres fluidos presentan porcentajes de hinchamiento aceptables siendo la formulación 3 con mejores propiedades de inhibición.

### 3.2.2 PRUEBA DE TIEMPO DE SUCCIÓN CAPILAR.

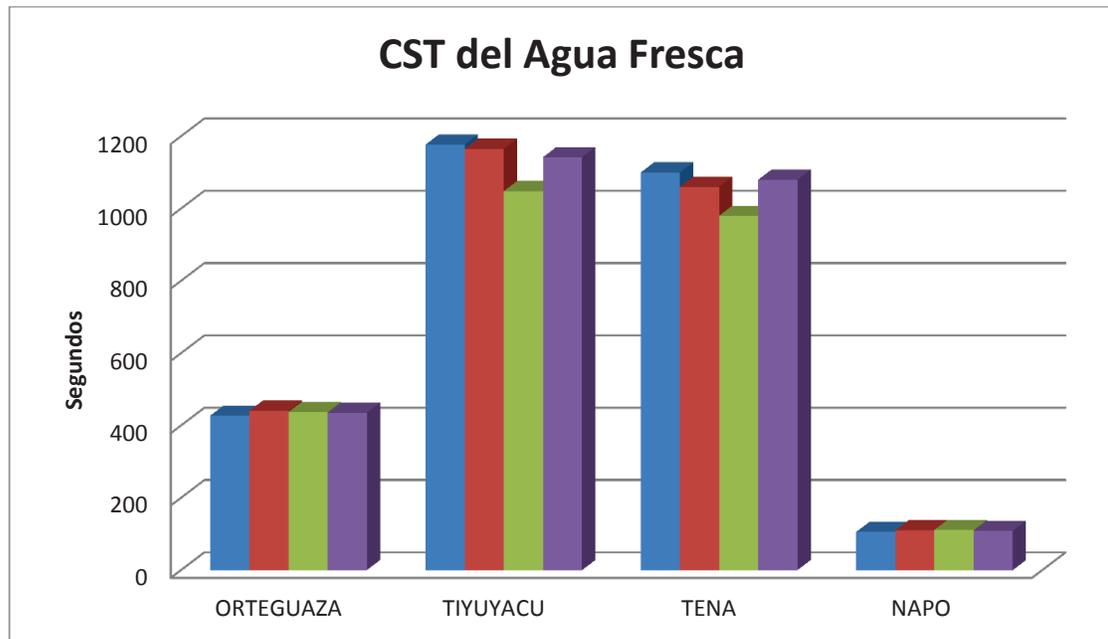
El instrumento utilizado en la prueba CST mide automáticamente el tiempo en segundos para que el filtrado avance entre los electrodos separados radialmente.

Con el fin de poder realizar un comparativo, esta prueba primero se realizó la prueba con fluido blanco (agua fresca) para observar como los componentes arcillosos reaccionan con el agua.

**TABLA 3.3 RESULTADO DE LA PRUEBA CST, PARA BLANCO (AGUA FRESCA).**

MUESTRA	BLANCO (AGUA FRESCA)			
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
ORTEGUAZA	427,4	440,9	437.6	435,3
TIYUYACU	1177	1165	1048	1142
TENA	1100	1060	980	1080
NAPO	88	107	108	101

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.



**Figura 3.17 CST del Agua Fresca**  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

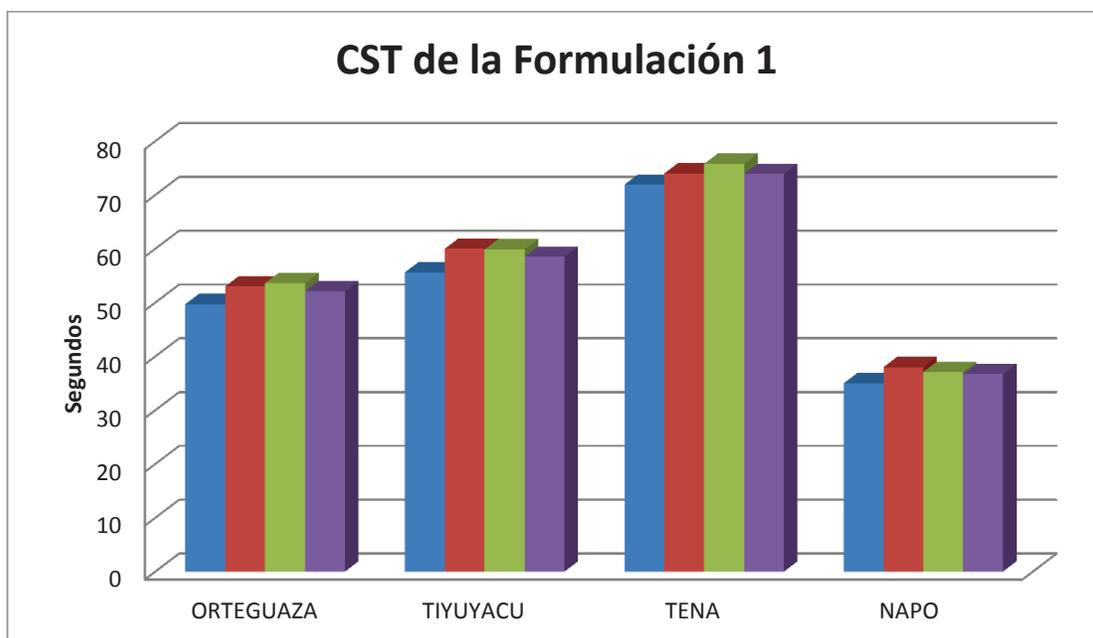
A continuación se realizó la prueba CST con las diferentes muestras de las formaciones Ortegua, Tiyuyacu, Tena y Napo las cuales se pulverizaron y se pasaron por una malla o tamiz número 100, se pesó 0.2 gramos para 50 ml de

cada una de las formulaciones preparadas 1, 2 y 3. De esta manera se realizó tres pruebas para cada formación presentando los siguientes resultados.

**TABLA 3.4 RESULTADO DE LA PRUEBA CST CON LA FORMULACIÓN 1.**

MUESTRA	FORMULACIÓN 1			
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
ORTEGUAZA	49,7	53	53,6	52,1
TIYUYACU	55,6	60	59,9	58,5
TENA	71,9	74	75,8	73,9
NAPO	35	38	37,1	36,7

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

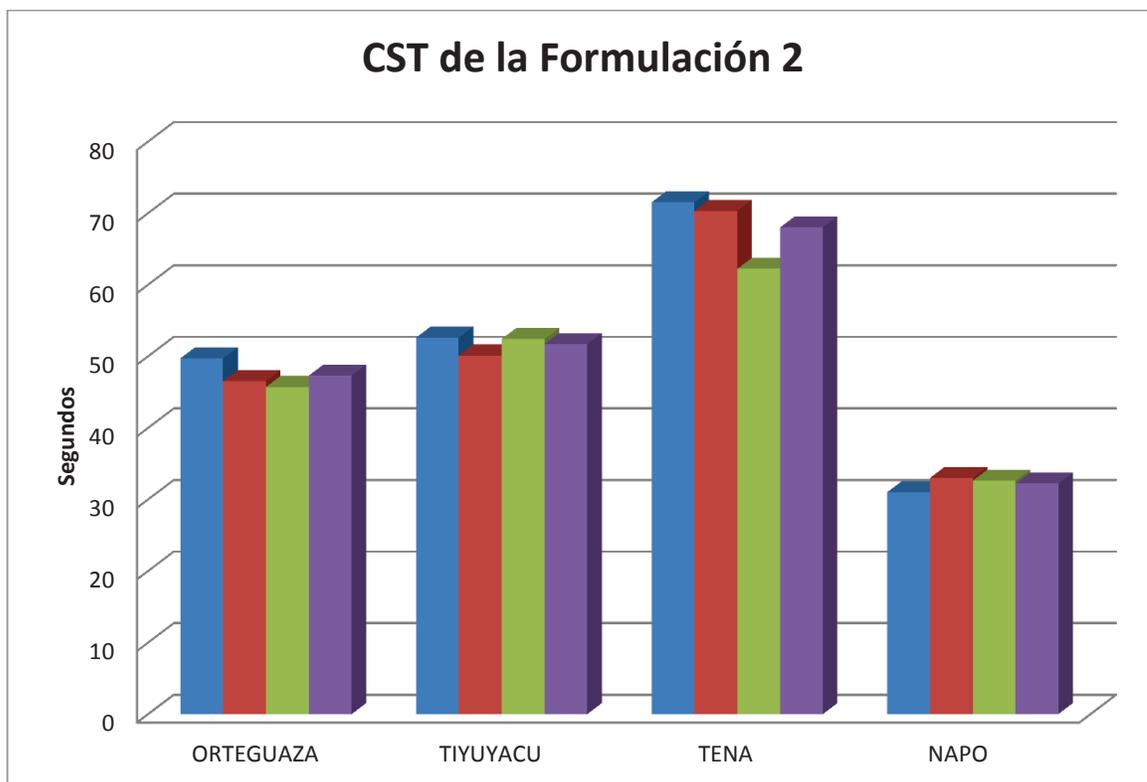


**Figura 3.18 CST de la Formulación 1**  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

**TABLA 3.5 RESULTADO DE LA PRUEBA CST CON LA FORMULACIÓN 2.**

MUESTRA	FORMULACIÓN 2			
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
ORTEGUAZA	49,7	46,5	45,7	47,3
TIYUYACU	52,6	50,1	52,4	51,7
TENA	71,5	70,3	62,2	68
NAPO	31	33	32,6	32,2

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.



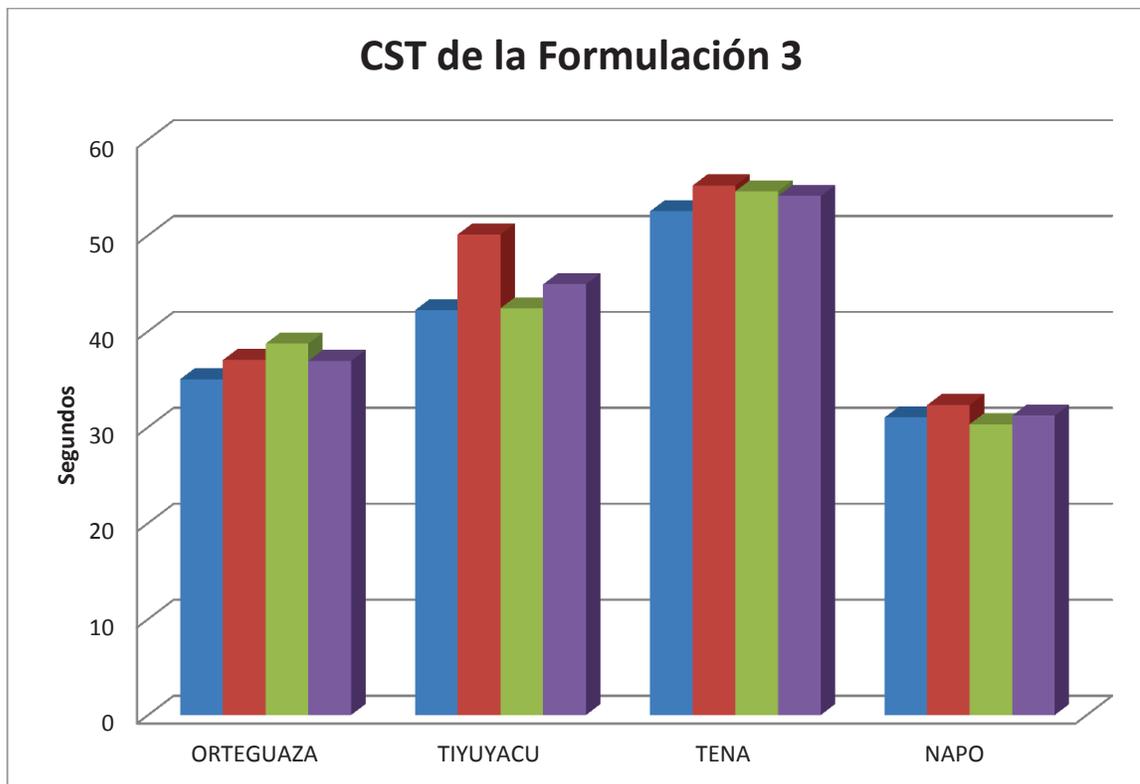
**Figura 3.19 CST de la Formulación 2**  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

**TABLA 3.6 RESULTADO DE LA PRUEBA CST CON LA FORMULACIÓN 3.**

MUESTRA	FORMULACIÓN 3			
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
ORTEGUAZA	35	37	38,7	36,9
TIYUYACU	42,2	50,1	42,4	44,9
TENA	52,5	55,2	54,6	54,1
NAPO	31	32,3	30,3	31,2

FUENTE: Q-Max.

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.



**Figura 3.20 CST Formulación 3**  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

### 3.2.2.1 Análisis de resultado de la prueba del Tiempo de Succión Capilar (CST).

La prueba del tiempo de succión capilar (CST) nos permite conocer que tanto es la dispersión de las partículas de arcilla de las formaciones estudiadas en la muestra, mientras mayor sea el tiempo mayor es su dispersión con la muestra, eso nos permite saber cuánta arcilla de la formación se inhibió, mientras que al caso contrario es decir menor es el tiempo de succión capilar menor es su dispersión debido a que las partículas de arcilla floculan y nos da altos valores de permeabilidad.

Los resultados obtenidos muestran que la mejor formulación de fluido de perforación la formulación 3.

La formación que más se dispersa al realizar la prueba de CST solo con la presencia del inhibidor es la formación de Tena, con un tiempo de succión capilar de 1142 segundos para el agua fresca, de 73.9 segundos para la formulación 1 lo

cual muestra que la cantidad de inhibidor mejora notablemente la dispersión de las arcillas, pero el mejor resultado nos da la formulación 3 donde su tiempo de succión capilar es de 54.1 segundos para la formación Tena.

Los resultados de la prueba CST para la formulación 3 que es la mejor después de realizar la prueba son:

- Orteguaza con 36.9 segundos de tiempo de succión capilar.
- Tiyuyacu con 44.9 segundos de tiempo de succión capilar.
- Tena con 54.1 segundos de tiempo de succión capilar.
- Napo con 31.2 segundos de tiempo de succión capilar.

Pudiendo concluir que mientras menor sea el tiempo registrado menor es el potencial de dispersión.

### 3.2.3 PRUEBA DE DISPERSIÓN

Para esto debemos limpiar las muestras de las formaciones limpiándolas con agua a través de mallas, posteriormente secándolas en un horno para tener un peso exacto.



**Figura 3.21 Muestras para la Prueba de Dispersión  
Elaborado por Andrés Lara A.**

A continuación se pesara 10 gramos de cada muestra para la prueba de dispersión en agua fresca.

**TABLA 3.7 RESULTADO DE LA PRUEBA DE DISPERSIÓN CON AGUA FRESCA.**

MUESTRA	BLANCO (AGUA FRESCA)		
	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DISPERSIÓN
ORTEGUAZA	10,0043	8,9298	10,74
TIYUYACU	10,0012	5,7845	42,16
TENA	10,0021	5,7960	42,05
NAPO	10,0009	9,3184	6,82

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

Para una mejor apreciación de resultados se utiliza una muestra de 20 gramos de muestra, para la prueba de dispersión con las formulaciones de fluido de perforación preparadas 1, 2 y 3.

**TABLA 3.8 RESULTADO DE LA PRUEBA DE DISPERSIÓN CON LA FORMULACIÓN 1.**

MUESTRA	FORMULACIÓN 1		
	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DISPERSIÓN
ORTEGUAZA	20,0021	19,4730	2,65
TIYUYACU	20,0003	19,0897	4,55
TENA	20,0051	18,0233	9,91
NAPO	20,0066	19,2499	3,78

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

TABLA 3.9 RESULTADO DE LA PRUEBA DE DISPERSIÓN CON LA FORMULACIÓN 2.

MUESTRA	FORMULACIÓN 2		
	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DISPERSIÓN
ORTEGUAZA	20,0045	19,7070	1,49
TIYUYACU	20,0030	18,7702	6,16
TENA	20,0016	18,7190	6,41
NAPO	20,0019	19,8603	0,71

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

TABLA 3.10 RESULTADO DE PRUEBA DE DISPERSIÓN CON LA FORMULACIÓN 3.

MUESTRA	FORMULACIÓN 3		
	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DISPERSIÓN
ORTEGUAZA	20,0020	19,7971	1,02
TIYUYACU	20,0020	19,1160	4,43
TENA	20,0027	19,1535	4,25
NAPO	20,0046	19,9198	0,42

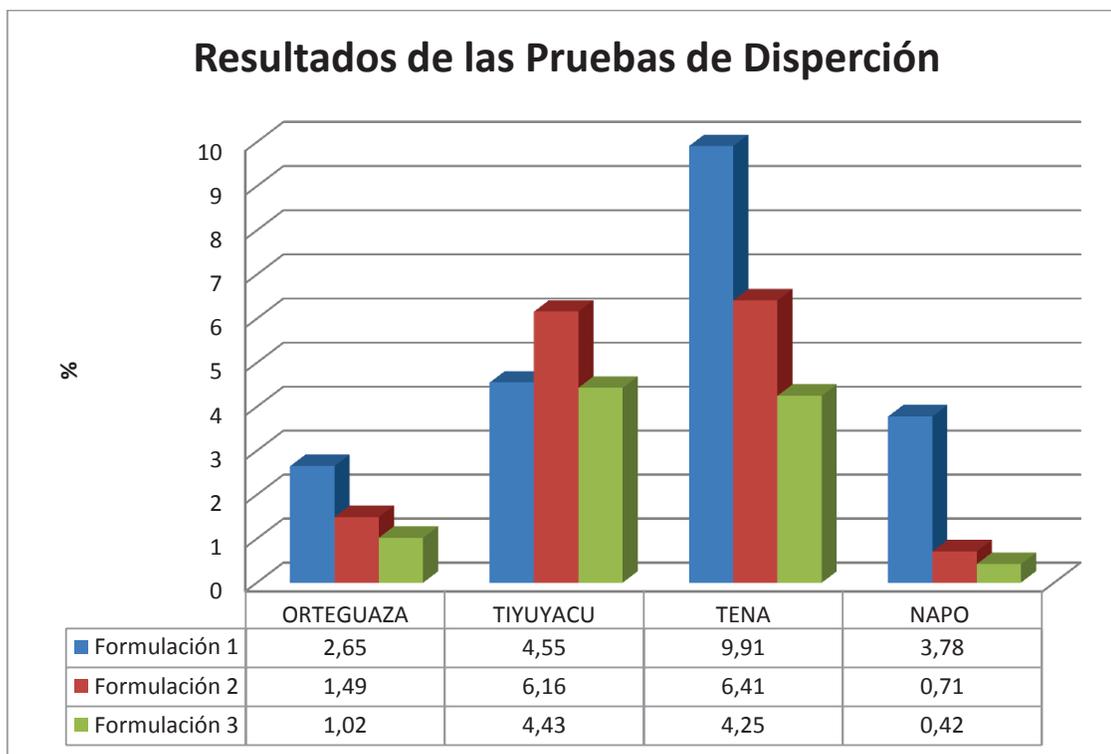
ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

### 3.2.3.1 Análisis de resultado de la prueba de dispersión.

En las pruebas realizadas para las diferentes formaciones a estudiarse se evaluó la cantidad de arcilla que se dispersa en el fluido bajo condiciones de pozo obtenidas por el horno de rolar al envejecer el fluido de perforación.

La formación más reactiva es Tiyuyacu para los fluidos de perforación con las formulaciones 2 y 3, para la formulación 1 la formación más reactiva es Tena.

Por el medio del efecto dispersante, los mejores resultados obtenidos son de la formulación 3 donde los porcentajes de la arcilla dispersa en el fluido es bajo.



**Figura 3.22 Resultados de las Pruebas de Dispersión**  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

### 3.2.4 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO.

Del cálculo realizado por medio de la capacidad de Azul de Metileno lo resultados obtenidos se detallan en la tabla 3.11.

De estos resultados podemos saber que la formación Tiyuyacu es la más reactiva, seguida de la formación Tena.

**TABLA 3.11 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO.**

MUESTRA	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO
ORTEGUAZA	18
TIYUYACU	38
TENA	30
NAPO	20

### 3.2.5 ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X.<sup>55</sup>

La descripción mineralógica de las formaciones por el análisis de difracción de rayo X es capaz de analizar la constitución sobre todo la fracción de arcilla de las formaciones, esto es necesario para seleccionar el fluido apropiado para optimizar la operación de perforación. En las formaciones de Ortegua, Tiyuyacu, Tena y Napo las arcillas son abundantes, las principales arcillas en orden de reactividad son: Caolinita, Clorita, Esmectita e Illita. El muestreo de los campos A y B fue realizado, teniendo un resultado que se muestra en la figura 3.27.

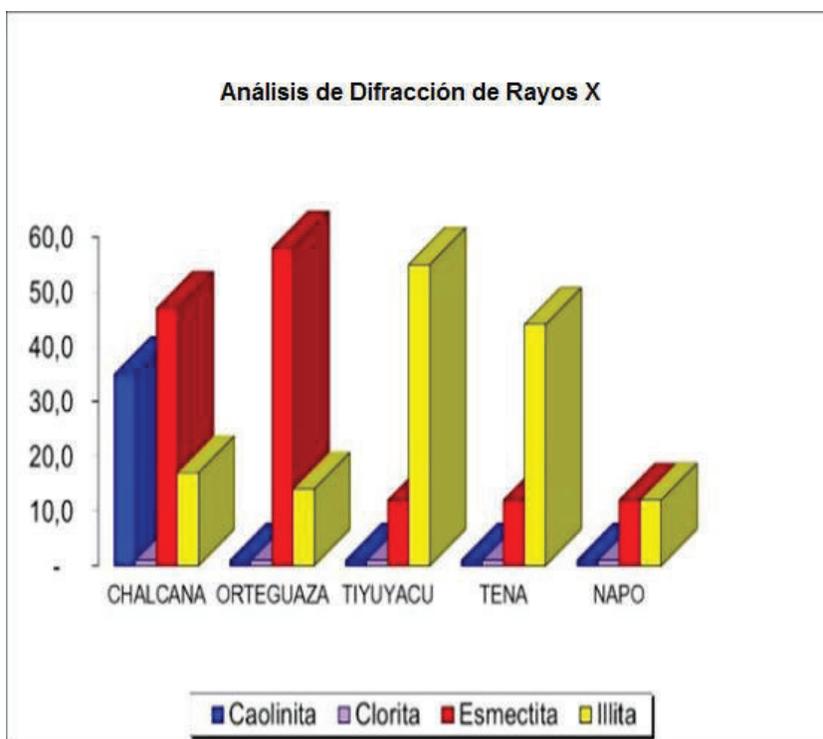


Figura 3.27 Análisis de Difracción de Rayos X.  
Fuente: Q-MAX

<sup>55</sup> Drilling Fluids Practices to Optimize Well Stability In the Amazon Region in Ecuador. 2015. Ing Rubén Paredes, Ing Luis Durán, Ing. Francisco Romero. Q Max. Paper.

### **3.3 SELECCIÓN DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN.**

Por medio de las pruebas físicas, reológicas y especiales se concluye que las tres formulaciones son unos buenos fluidos de perforación a condiciones de pozo, tomando en cuenta los cambios que tuvieron sus propiedades antes y después de rolar, por análisis de resultados de las pruebas de CST, dispersión y la de hinchamiento lineal se recomienda la aplicación del fluido de perforación de la formulación 3, donde se mantuvo una similitud en las propiedades obtenidas en laboratorio para el programa de fluidos a aplicarse en dichos campos de estudio, obteniéndose los siguientes resultados en la perforación de los pozos A3 y B3.

### **3.4 RESUMEN DE PERFORACIÓN DE LOS POZOS A3 Y B3.<sup>56</sup>**

#### **3.4.1 POZO A3.**

Se armó BHA Direccional # 4 con broca PDC de 12 ¼", motor, flex float sub, estabilizador de 11 ½", MWD, orientó y probó motor con 500 GPM, 500 Psi. Bajó BHA Direccional # 4 desde superficie hasta 5862 pies donde localizó tope de cemento. Perforó cemento y collar flotador. Realizó prueba de integridad del casing con 1000 Psi y perforó 10 pies de formación hasta 5913 pies. Realizó cambio de fluido y prueba de integridad de la formación con 700 Psi.

Continuó perforando rotando y deslizando desde 5913 pies hasta 6395 pies. Continuó perforando desde 6395 pies hasta 7245 pies con parámetros controlados para atravesar conglomerado superior. Bombeó 40 bls de píldora viscosa y circuló hasta retornos limpios. Realizó viaje de control hasta el zapato de 13 3/8" (5903 pies) no se tuvo puntos apretados, realizó corte de cable de perforación y bajó BHA Direccional # 4 llenando cada 20 paradas, bajó libre hasta 7245 pies, continuó perforando desde 7245 pies hasta 8096 pies con parámetros controlados para atravesar conglomerado inferior. Bombeó 40 Bls de píldora dispersa + 40 Bls de píldora viscosa y circuló hasta retornos limpios en las zarandas.

---

• <sup>56</sup> Petroamazonas. 2015. Reportes Finales de Operaciones. Ecuador.

Realizó viaje corto hasta 7245 pies sale libre y baja hasta 8096 pies, continuó perforando desde 8096 pies hasta 8600 pies con parámetros controlados para atravesar el conglomerado inferior, bombeó 40 Bls de píldora viscosa y circuló hasta retornos limpios en las zarandas. Realizó viaje corto. Sacó BHA Direccional # 4 y quebró en superficie.

Armó BHA Direccional # 5 con broca PDC de 12 ¼", motor, camisa de 12"; flex float sub, estabilizador de 11 ½", MWD. Bajó BHA Direccional # 5 desde superficie hasta 8600 pies, bajó con bomba y rotación desde 6961pies hasta 7155pies, desde 7252 pies hasta 7348 pies y desde 8103 pies hasta 8600 pies. Continuó perforando desde 8600 pies hasta 9087 pies, bombeó 50 Bls de píldora viscosa y circuló hasta obtener retornos limpios en las zarandas, realizó viaje corto hasta zapato de 13 3/8", evidenciándose ciertos arrastres, sacó con bomba y rotación desde 8445 pies hasta 8413 pies.

Bajó con apoyos puntuales desde 5923 pies hasta 7687 pies y con bomba desde 7687 pies hasta 9087 pies, continuó perforando desde 9087 pies hasta 9921 pies (punto de casing 9 5/8"). Bombeó 30 Bls de píldora viscosa y circuló hasta retornos limpios en zarandas, realizó viaje corto hasta la zapata de 13 3/8" y retornó a fondo sin presentarse puntos apretados. Bombeó 60 Bls de píldora viscosa pesada y circuló hasta retornos limpios en las zarandas. Espoteó en fondo 60 bls de píldora lubricante, sacó y quebró BHA direccional # 5 en superficie.

Se realizó corrida de registros eléctricos con cable en hueco abierto con éxito, armó BHA convencional # 6 con broca tricónica 12 ¼", Bit sub; 1 DC 8"x3"; estabilizador 11 ½", 2 DC 8"x3". Bajó BHA Convencional # 6 desde superficie hasta 9921 pies, observó apoyos puntuales, bombeó 40 Bls de píldora viscosa pesada, se observó presencia excesiva de lutitas en las zarandas por lo que se decidió aumentar el peso del fluido de perforación hasta 11 PPG y circuló hasta zarandas limpias, sacó y quebró BHA Convencional # 6 en superficie. Se procedió a bajar casing de 9 5/8" con zapato convencional desde superficie hasta 9921

pies sin tener puntos de apoyo, se realizó la cementación dando por terminado la perforación de la sección 12 ¼”.

**TABLA 3.12 PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN EN LA SECCIÓN 12 ¼” DEL POZO A3**

PROPIEDADES	VALOR
Densidad (lb/gal)	9.5 – 11
Viscosidad Embudo (seq/qt)	36 – 61
PH	9 - 9.8
Viscosidad Plástica (Cp)	10 – 23
Punto Cedente (lb/100pie2)	15 – 23
Geles (lb/100pie2)	9 / 12 /18 – 12 /17 / 27
Arena (%)	0.1 – 0.3
MBT (lb/bbl)	7.5 – 15
Calcio (ppm)	0 – 0.15
Filtrado (ml/30 min)	6 – 8
Total de sólidos	7 – 15
Lubricidad (%)	0 – 1
Inhibidor (%)	0 - 3

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

### 3.4.2 POZO B3.

Se armó BHA direccional # 4 con broca PDC 12 ¼”, RSS, estabilizador de 12”, LWD, MWD, bajó BHA direccional # 4 desde superficie hasta 5868 pies tope de cemento, perforó cemento, collar flotador y pruebo casing con 1000 PSI, ok, continuó perforando cemento, zapato de 13 3/8” y 10 pies de formación nueva hasta 5925 pies, circula y cambia fluido de perforación de 11.5 PPG a 10.2 PPG, realizó prueba de integridad a la formación con 436 PSI equivalentes a 12 PPG.

Continua perforando desde 5925 pies hasta 6742 pies, debido a altas vibraciones se incrementa lubricidad al 2%, se circula píldora dispersa y píldora pesada una vuelta completa, continua perforando desde 6742 pies hasta 7510 pies, bombeó píldora dispersa y píldora viscosa pesada y circuló hasta retornos limpios en zarandas, realizó viaje de control desde 7510 pies hasta 6730 pies con restricciones puntuales al salir, continuó sacando desde 6730 pies hasta 5915 pies (Zapato 13 3/8”) sin presentarse puntos apretados, bajó BHA direccional # 4

desde 5915 pies hasta 7510 pies sin problemas, bombeó y circuló píldora dispersa y píldora pesada previo al reinicio de la perforación, perforó desde 7510 pies hasta 8468 pies con una densidad de 11.1 PPG.

Se perforo desde 8468 pies hasta 8538 pies, donde se realizó una circulación programada con píldora dispersa y píldora viscosa pesada, continuó perforando hasta 8950 pies donde se bombeó tren de píldoras dispersa – pesada - dispersa y se circuló hasta zarandas limpias, realizó viaje de control desde 8950 pies hasta 7100 pies, circuló píldora dispersa y continuó sacando hasta 5915 pies (zapato 13 3/8”) con arrastres puntuales, bajó BHA direccional # 4 desde 5915 pies hasta 6260 pies libre, desde 6260 pies hasta 7414 pies con circulación y rotación, desde 7414 pies hasta 8950 pies libre, bombeó píldora dispersa y píldora viscosa y circuló hasta retornos limpios en zarandas observando abundantes cortes en zarandas.

Continuó perforando desde 8950 pies hasta 9524 pies, bombeó tren de píldoras dispersa -viscosa y circuló hasta zarandas limpias, continuó perforando desde 9524 pies hasta 10004 pies, se aumentó lubricidad al 3% y densidad del fluido de perforación a 11.2 PPG, bombeó y circuló píldora dispersa y pesada hasta retornos limpios, continuó perforando desde 10004 pies hasta 10390 pies, bombeó tren de píldoras dispersa - pesada y circuló hasta retornos limpios en zarandas, realiza viaje de control desde 10390 pies hasta 9250 pies libre, de 9250 pies a 8100 pies con circulación, de 8100 pies a 7770 pies libre, de 7770 pies a 7646 pies se trabajó sarta con backreaming y se bombeó píldora dispersa, continuó sacando libre 5915 pies (zapato 13 3/8”).

Bajó BHA direccional # 4 desde 5915 pies hasta 8270 pies libre, circuló tren de píldoras dispersa – pesada - dispersa hasta zarandas limpias, continua bajando desde 8270 pies hasta 10390 pies con circulación, bombeó tren de píldoras dispersa - pesada, dispersa y circuló hasta zarandas limpias previo al reinicio de la perforación, continuó perforando desde 10390 pies hasta 10677 pies donde presentó tendencia a empaquetarse, bombeó píldora dispersa y pesada y circuló hasta zarandas limpias, continuó perforando desde 10677 pies hasta 10936 pies,

bombeó tren de píldoras dispersa – pesada - pesada, y homogeniza el fluido de perforación a 11.5 PP, realiza viaje desde 10936 pies hasta 8980 pies con backreaming, bombeó y circuló píldora dispersa y pesada y continuó sacando desde 8980 pies hasta 7715 pies con backreaming y tendencia a empaquetarse.

Sacó desde 7715 pies hasta 7046 pies libre, bombeó y circuló píldora dispersa y pesada y continuó sacando libre desde 7046 pies hasta 5915 pies libre (zapato de casing 13 3/8”), bombeó píldora pesada y continuó sacando hasta superficie, quebró BHA direccional # 4.

Armo BHA convencional # 5 con broca tricónica 12 ¼”, Bit Sub, Estabilizador 12”, dos DC 8”, bajó BHA convencional # 5 desde superficie hasta 6980 pies libre, desde 6980 pies hasta 8000 pies con bomba y rotación, circuló y bombeó píldora dispersa y pesada, continuó bajando desde 8000 pies hasta 8500 pies libre, desde 8500 pies a 9292 pies con bomba y rotación, bombeó píldora dispersa y circuló pozo, continuó bajando desde 9292 pies hasta 10340 pies con bomba y rotación, bombeó y circuló píldora dispersa y pesada para limpieza del hueco, continuó bajando desde 10340 pies hasta 10936 pies con bomba y rotación, bombeó píldora pesada y circuló hueco hasta retornos limpios en zarandas, desplazó píldora lubricante estabilizadora y se dejó en fondo.

Saca BHA convencional # 5 desde 10936 pies hasta 10700 pies con backreaming, desde 10700 pies hasta 6700 pies libre, desde 6700 pies hasta 5930 pies con bomba, bombeó píldora pesada, sacó y quebró BHA convencional # 5 en superficie.

Se procedió a bajar casing de 9 5/8” con zapato rimador desde superficie hasta 10275 pies libre, se tiene apoyo y se maniobra casing de 9 5/8” arriba-abajo, se bombeó píldora lubricante y píldora dispersa, se liberó y se continuó bajando casing de 9 5/8” desde 10275 pies hasta 10630 pies, donde se tiene punto de apoyo, trabajó casing de 9 5/8” para liberar con éxito, se continuó bajando desde 10630 pies hasta 10881 pies donde se tiene apoyó, trabajó casing 9 5/8” arriba-

abajo sin éxito, se decidió realizar cementación a 10881 pies dando por terminada la sección de 12 1/4”.

**TABLA 3.13 PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN EN LA SECCIÓN 12 1/4” DEL POZO B3**

PROPIEDADES	VALOR
Densidad (lb/gal)	10.2 – 11.5
Viscosidad Embudo (seq/qt)	40 – 70
PH	8.8 – 10.6
Viscosidad Plástica (Cp)	15 – 22
Punto Cedente (lb/100pie <sup>2</sup> )	18 – 26
Geles (lb/100pie <sup>2</sup> )	6 / 9 / 13 – 9 / 19 / 25
Arena (%)	0.1 – 0.25
MBT (lb/bbl)	2.5 – 15
Calcio (ppm)	0 – 0.1
Filtrado (ml/30 min)	4.6 – 7
Total de sólidos	0.8 - 15
Lubricidad (%)	0 - 3
Inhibidor (%)	0 - 4

FUENTE: Q-Max.

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se realizará el análisis económico basado en una comparación de los costos diarios del fluido de perforación de la sección 12 ¼" de los pozos objetos de este estudio.

#### 4.1 COSTO DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN EN LA SECCIÓN 12 ¼" EN LOS POZOS A1, A2, B1 Y B2.

Para los pozos A1, A2, B1 y B2 por los problemas presentados durante la perforación, píldoras y tratamientos aplicados al fluido de perforación para controlar dichos problemas, los costos totales de los fluidos de perforación son variables y en el caso del pozo A1 elevado, mientras que el pozo B2 presenta el menor de todos debido a que el pozo termina en abandono.

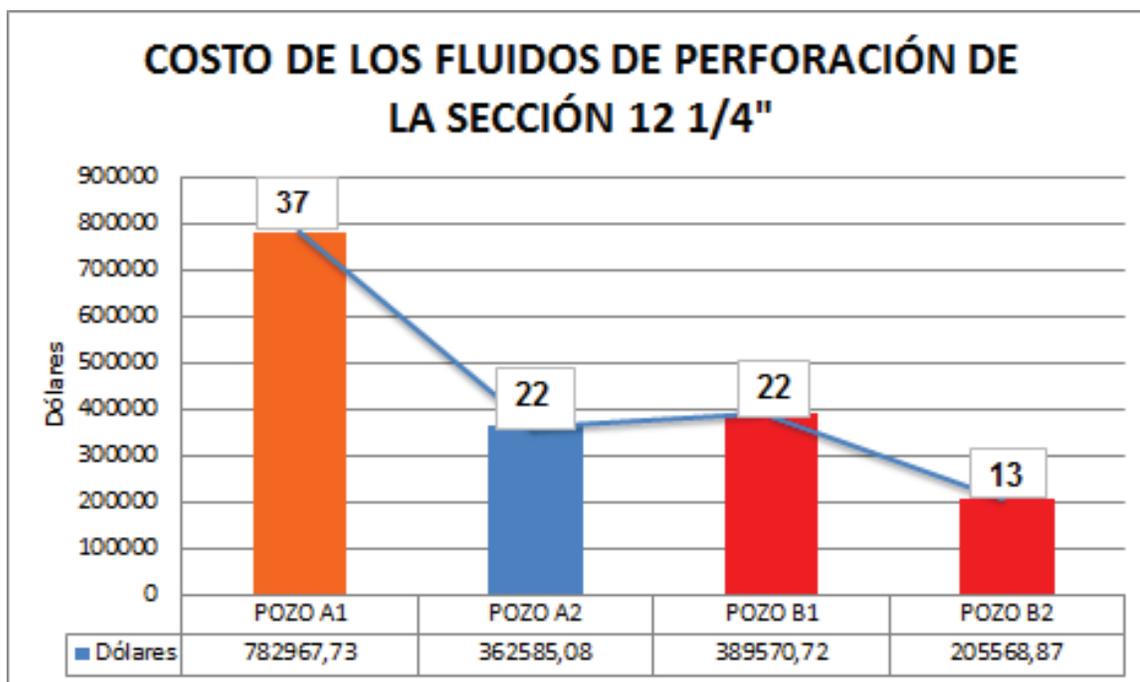


Figura 4.1 Costo de los Fluidos de Perforación de la Sección 12 ¼"

Fuente: Petroamazonas

Elaborado por: Andrés Lara Arias.

Para un estimado de costo promedio de la sección 12 ¼" en los pozos A1, A2, B1 y B2 se ha elaborado la siguiente tabla:

**TABLA 4.1 COSTOS DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN EN LOS POZOS A1,A2, B1 Y B2 EN LA SECCIÓN 12 ¼".**

<b>NOMBRE</b>	<b>MD</b>	<b>DÍAS</b>	<b>COSTO PROMEDIO C/DÍA</b>	<b>COSTO DE LA SECCIÓN</b>
<b>POZO A1</b>	9947	37	21161,29	782967,73
<b>POZO A2</b>	9220	22	16481,14	362585,08
<b>POZO B1</b>	8726	22	17707,76	389570,72
<b>POZO B2</b>	8724	13	15812,99	205568,87

FUENTE: Petroamazonas

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

**TABLA 4.2 COSTO PROMEDIO POR PIE PERFORADO DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN EN LOS POZOS A1,A2, B1 Y B2 EN LA SECCIÓN 12 ¼".**

<b>NOMBRE</b>	<b>COSTO PROMEDIO C/PIE</b>
<b>POZO A1</b>	195,64
<b>POZO A2</b>	109,67
<b>POZO B1</b>	94,65
<b>POZO B2</b>	57,91

FUENTE: Petroamazonas

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

Mantener la densidad y propiedades requeridas por el pozo son elevadas debido a su difícil control de problemas causados por la interacción fluido-formación, a lo cual se eleva su costo económico.

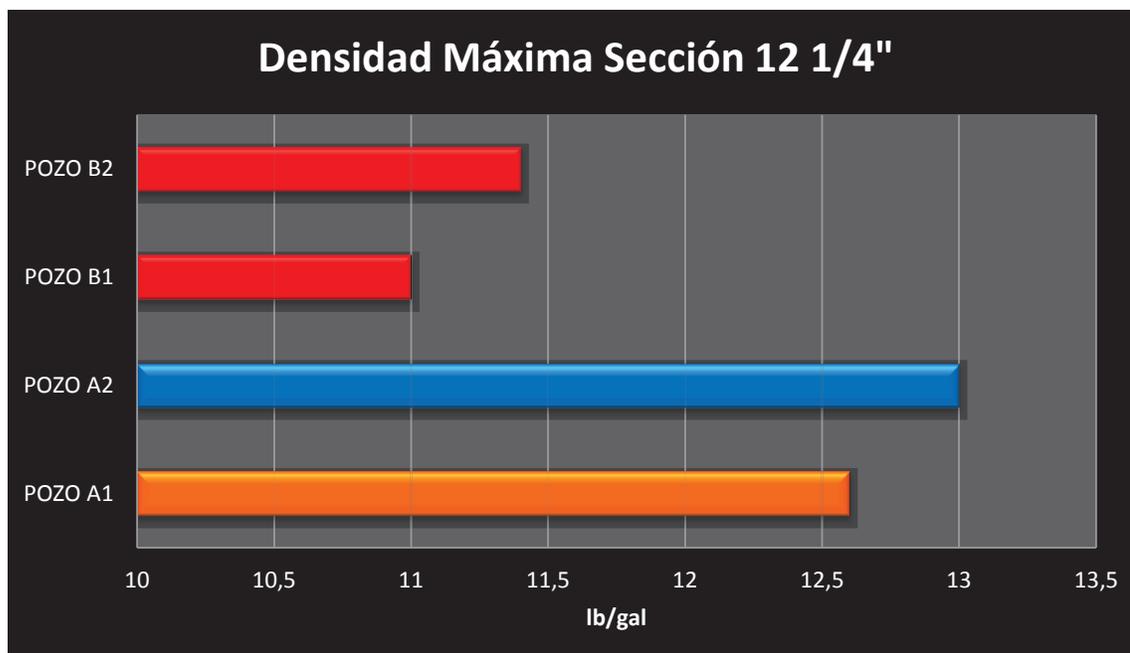


Figura 4.2 Densidad Máxima del Fluido de Perforación en la Sección 12 1/4"

Fuente: Petroamazonas

Elaborado por: Andrés Lara Arias.

#### 4.2 COSTO DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN EN LA SECCIÓN 12 1/4" EN LOS POZOS A3 Y B3.

Los fluidos Maxdrill que se utilizaron en estos pozos tuvieron las siguientes formulaciones cuyos costos se describen en las siguientes tablas:

TABLA 4.3 COSTO DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN DEL POZO A3 EN LA SECCIÓN 12 1/4".

POZO A3					
Productos	#/Unit	PPB	US\$/unidad	Unidades	Total, US
Soda Caustica	55	0,20	28,00	101	2816,47
Kelsan XCD	25	0,75	158,35	131	20743,85
Stardrill	50	2,00	108,00	61	6632,47
Pac LV	440	2,00	818,74	23	19071,83
Synerfloc A25-D	43	2,00	66,50	125	8312,50
Formiato Na	110	15,00	13,24	251	3323,24
Barita	100	202,00	17,85	10104	180361,50
Glicol Directop	50	3,00	140	95	13300,00
Maxdrill	50	1,00	108,00	25	2744,47

Qlube	430	17,00	868,15	107	92892,05
<b>TOTAL</b>					350198,38

FUENTE: Q-Max

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

En la perforación de la sección 12 ¼" del pozo A3 fue perforado en 18 días sin presentar graves problemas por lo cual se tuvo una aplicación buena de lubricante, inhibidores y viscosificantes como el resto de productos, lo mismo paso durante la perforación del pozo B3 teniendo este una duración de 17 días.

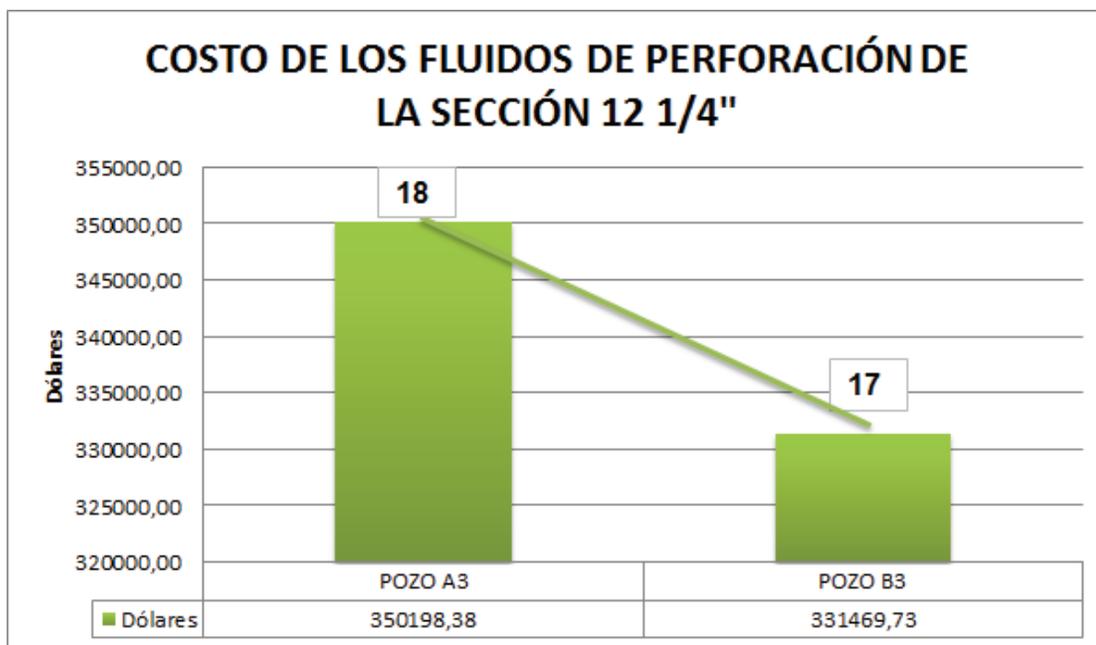
**TABLA 4.4 COSTO DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN DEL POZO B3 EN LA SECCIÓN 12 ¼".**

<b>POZO B3</b>					
<b>Productos</b>	<b>#/Unit</b>	<b>PPB</b>	<b>US\$/unidad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total, US</b>
Soda Caustica	55	0,20	28,00	95	2660
Kelsan XCD	25	0,75	158,35	125	19793,75
Stardrill	50	2,00	108,00	58	6264
Pac LV	440	2,00	818,74	22	18012,28
Synerfloc A25-D	43	2,00	66,50	120	7980
Formiato Na	110	15,00	13,24	240	3177,6
Barita	100	186,00	17,85	9645	172163,25
Glicol Directop	50	3,00	140	92	12880
Maxdrill	50	1,00	108,00	24	2592
Qlube	430	15,00	868,15	99	85946,85
<b>TOTAL</b>					331469,73

FUENTE: Q-Max

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

La diferencia de costos se debería a que la concentración química del fluido es distinta entre el pozo A3 y B3.



**Figura 4.3 Costo de los Fluidos de Perforación de la Sección 12 1/4"**  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

El costo promedio por día de la sección 12 1/4" en los pozos A3 y B3 se detalla en la siguiente tabla:

**TABLA 4.5 COSTO DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN EN LOS POZOS A3 Y B3 EN LA SECCIÓN 12 1/4".**

NOMBRE	MD	DÍAS	COSTO PROMEDIO C/DÍA	COSTO DE LA SECCIÓN
POZO A3	9921	18	19455,47	350198,38
POZO B3	10881	17	19498,22	331469,73

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

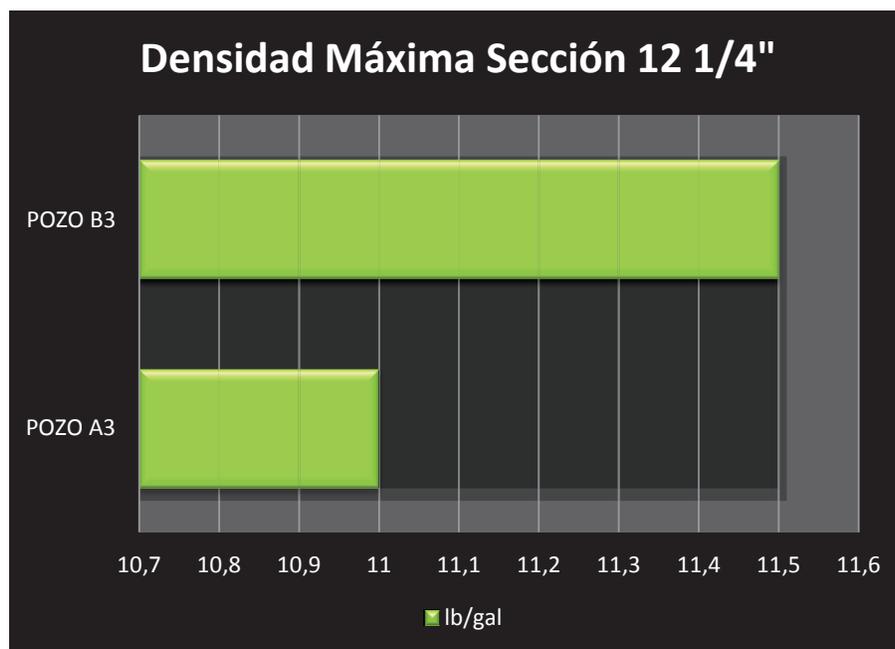
**TABLA 4.6 COSTO PROMEDIO POR PIE PERFORADO DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN EN LOS POZOS A3 Y B3 EN LA SECCIÓN 12 1/4".**

NOMBRE	COSTO PROMEDIO C/PIE
POZO A3	87,37
POZO B3	66,88

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

La base de la reducción de la ventana operacional de densidad tradicional está fundamentada en la optimización de la química del fluido de perforación y su impacto e interacción con la formación debido a la reducción de la presión de poro

con agentes que eviten el envejecimiento del hueco y su desestabilización. El proceso tradicionalmente ha sido perforar con altos pesos y evaluar la condición del pozo, lo cual ha reflejado que aun llevando altas densidades las formaciones no ha logrado estabilizarse. El proceso que se inicio es perforar con pesos de 1,5 a 2 PPG por debajo del tradicional y mediante la optimización química, al ir evaluando la condición real del pozo mediante el monitoreo de los viajes y retornos de cortes, hasta lograr establecer densidades por debajo de las recomendadas en base a la experiencia de las otras CIAS de fluido de perforación y recomendaciones geomecánicas y que se reflejaron operacionalmente en la buena calidad de los viajes así como minimizar eventos de inestabilidad.<sup>57</sup>



**Figura 4.4 Densidad Máxima del Fluido de Perforación en la Sección 12 1/4"**  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

- 
- <sup>57</sup> Q – Max. 2015. Ing. Francisco Romero. Estudio de Inhibición de Arcillas Reactivas y Lutitas Inestables en Campo (X) de Amazonia Ecuatoriana. Ecuador.

### 4.3 COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE LOS POZOS A1, A2 VERSUS A3 Y LOS POZOS B1, B2 VERSUS B3.

Entre los pozos de un mismo campo el costo del fluido de perforación por día es similar pero existe un beneficio en el tiempo de perforación del Campo A reduciéndolo de 37 y 22 días a 18 días, en el Campo B los días de perforación de 22 y 13 días se redujo a 17 días ya que el pozo B2 con 13 días de perforación no se llegó a concluir y se abandonó por problemas durante las operaciones de perforación.

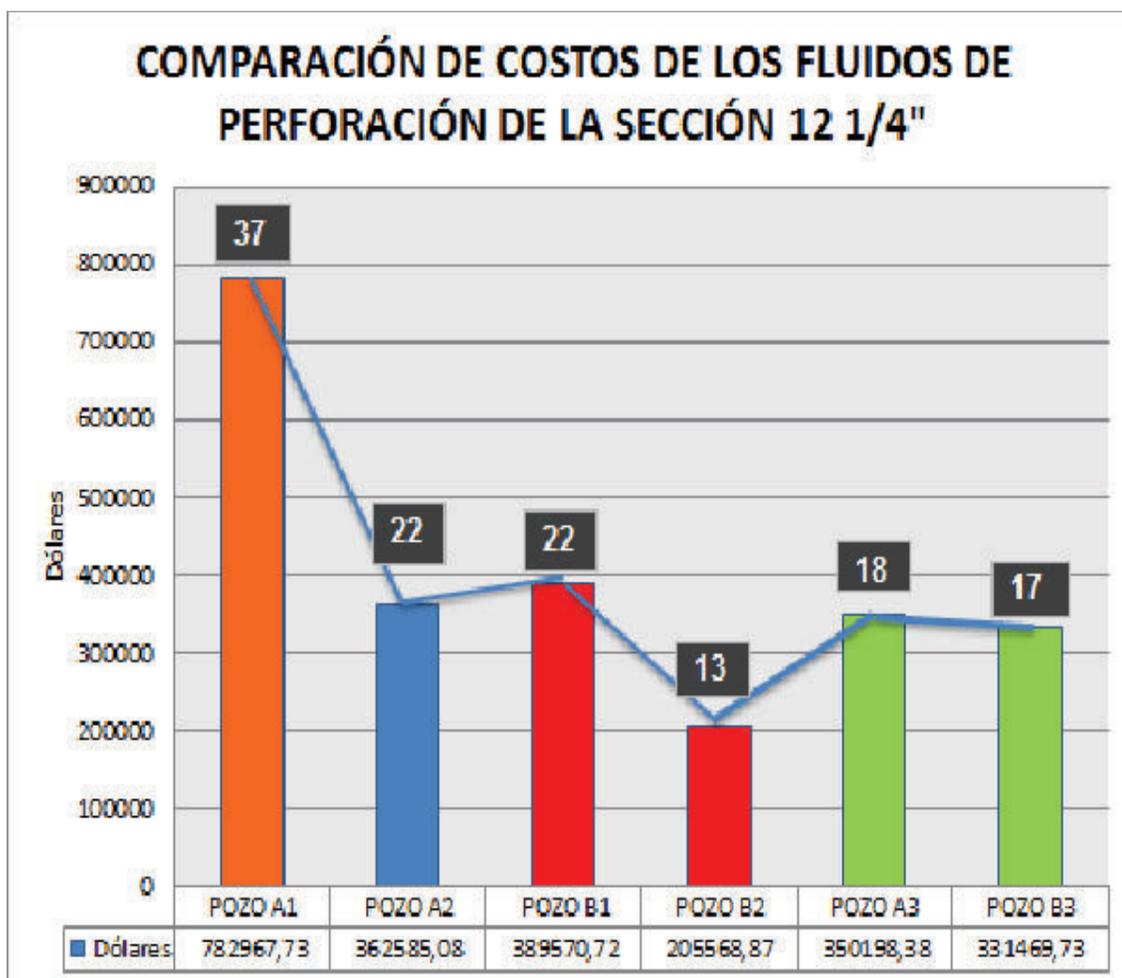


Figura 4.5 Comparación de Costos de los Fluidos de Perforación en la Sección 12 1/4"

Fuente: Petroamazonas y Q-Max  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

El beneficio económico más importante se da en los costos de perforación con el uso de un fluido de perforación óptimo que garantice la minimización de problemas en un menor tiempo posible.

El costo del fluido de perforación por pie perforado es de:

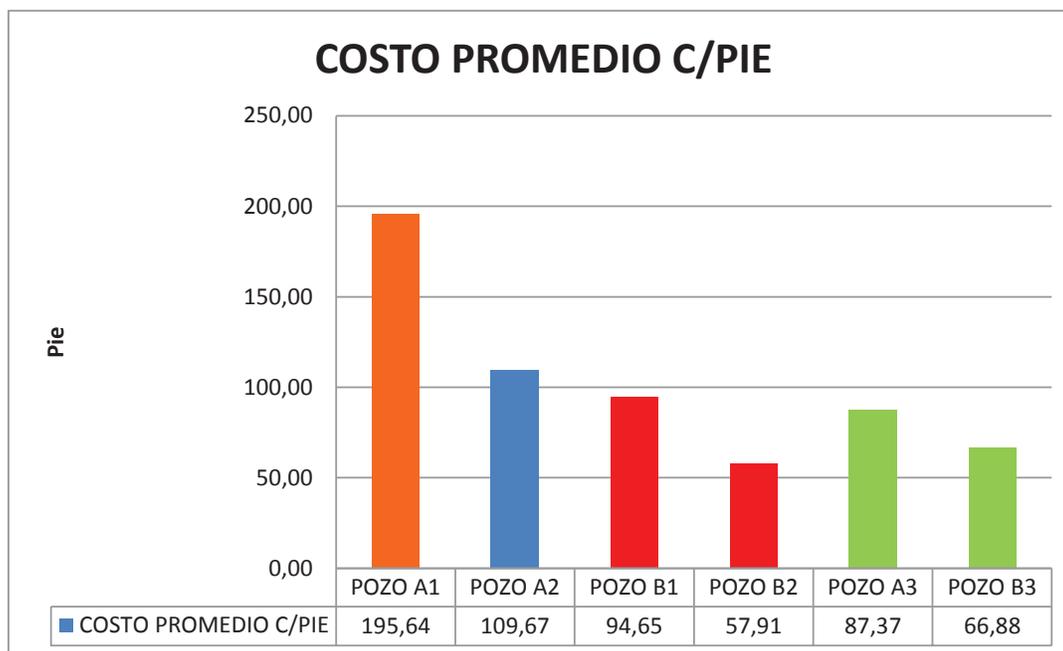


Figura 4.6 Comparación del Costo Promedio por cada pie Perforado de la Sección 12 ¼”

Fuente: Petroamazonas y Q-Max  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

De la misma manera un costo aproximado de la perforación de la sección 12 ¼” por cada día se presenta en la tabla 4.7

**TABLA 4.7 COSTO APROXIMADO DE LA PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN 12 ¼”.**

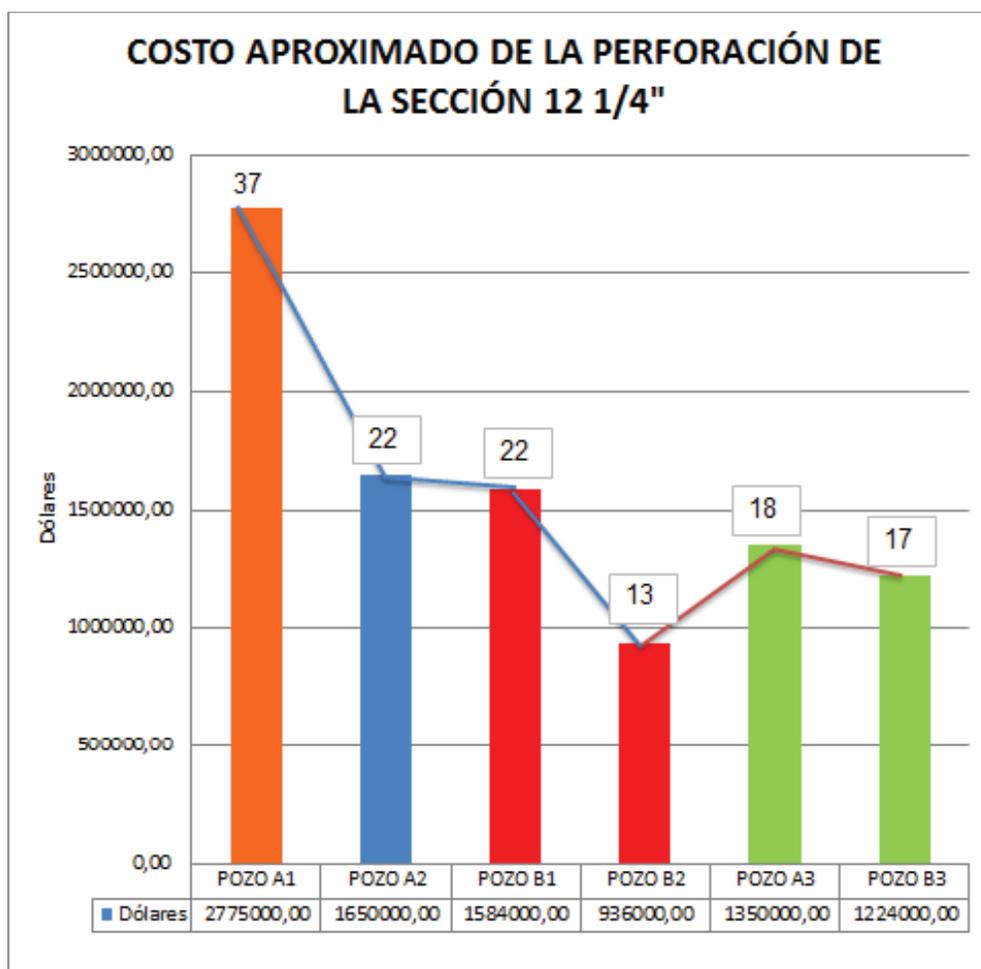
<b>COSTO APROXIMADO DE LA PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN 12 ¼”</b>				
<b>NOMBRE</b>	<b>DÍAS</b>	<b>PRECIO PROMEDIO DIARIO DE PERFORACIÓN</b>	<b>PRECIO DIARIO DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN</b>	<b>TOTAL</b>
<b>POZO A1</b>	37	75000,00	21161,29	2775000,00
<b>POZO A2</b>	22	75000,00	16481,14	1650000,00
<b>POZO B1</b>	22	72000,00	17707,76	1584000,00
<b>POZO B2</b>	13	72000,00	15812,99	936000,00
<b>POZO A3</b>	18	75000,00	19455,47	1350000,00

<b>POZO B3</b>	17	72000,00	19498,22	1224000,00
----------------	----	----------	----------	------------

FUENTE: Petroamazonas

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

En la siguiente figura se visualiza de mejor manera el costo por día de la sección 12 ¼" de cada pozo perforado, resaltando aún más el ahorro con un fluido de perforación adecuado.



**Figura 4.7 Comparación de Costos de la Perforación en la Sección 12 ¼"**

Fuente: Petroamazonas y Q-Max  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

Llegando a alcanzar un ahorro promedio aproximado entre los pozos A1, A2, B1, B2 comparándolos con A3 y B3 de \$449.000,00 aproximadamente en la sección 12 ¼" por el uso adecuado de un fluido de perforación, el costo por cada pie perforado se muestra en la tabla 4.8.

TABLA 4.8 COSTO APROXIMADO POR PIE PERFORADO DE LA SECCIÓN 12 1/4".

COSTO APROXIMADO POR PIE PERFORADO DE LA SECCIÓN 12 1/4"			
NOMBRE	PIES PERFORADOS	COSTO APROXIMADO DE LA SECCIÓN	COSTO POR C/PIE
POZO A1	4032	2775000,00	688,24
POZO A2	3306	1650000,00	499,09
POZO B1	4110	1584000,00	385,40
POZO B2	3550	936000,00	263,66
POZO A3	4008	1350000,00	336,83
POZO B3	4956	1224000,00	246,97

FUENTE: Petroamazonas y Q-Max.

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

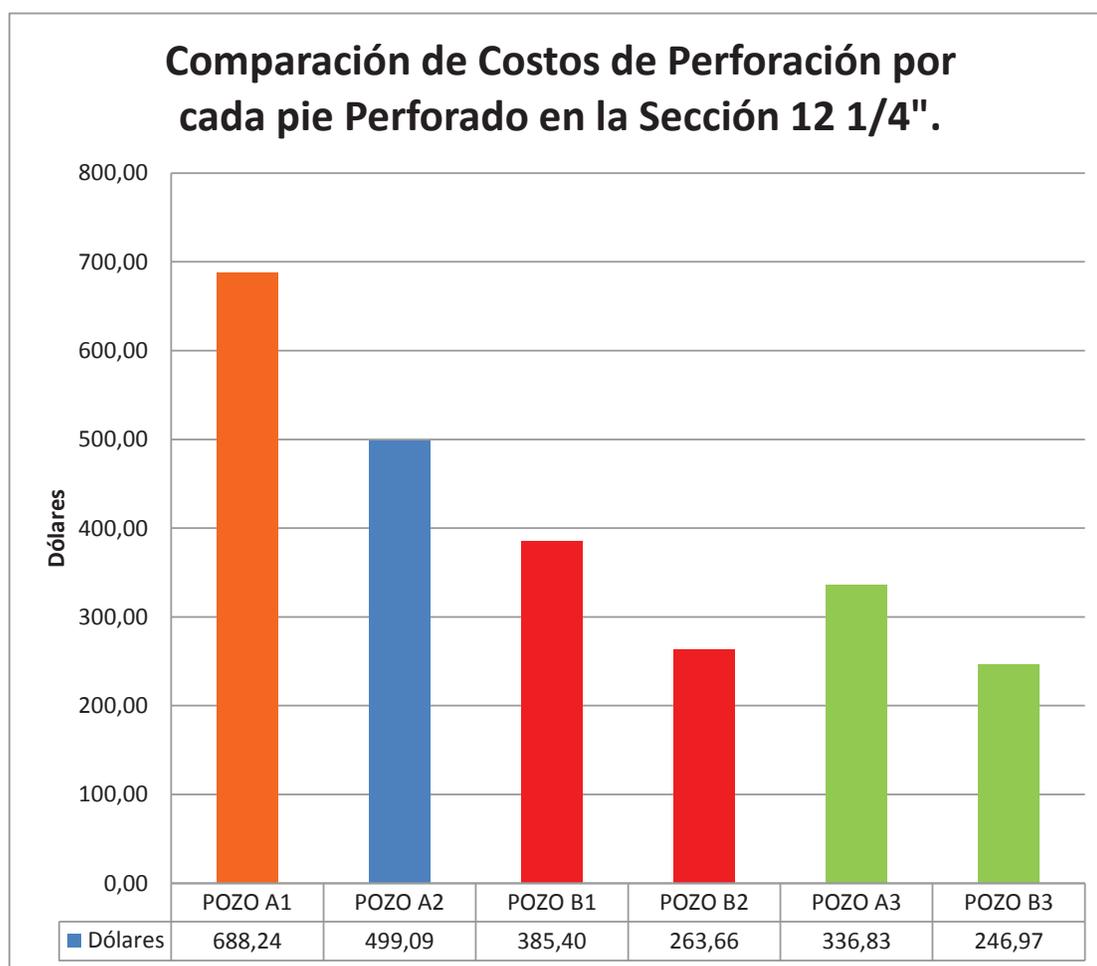


Figura 4.8 Comparación de Costos de Perforación por Cada Pie Perforado en la Sección 12 1/4".

Fuente: Petroamazonas y Q-Max  
Elaborado por: Andrés Lara Arias.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES.

- Al perforar lutitas con fluido de perforación base agua, estas tienden a perder su resistencia y a aumentar la inestabilidad del pozo, al ser sometidas a esfuerzos no se puede controlarlas solo con densidad del fluido de perforación, debido a que pueden ocasionar pérdidas de circulación, es necesario manejar el punto cedente, controlar el filtrado e inhibidor para minimizar la hidratación de las lutitas, que siempre tendrán tendencia a derrumbarse en el pozo.
- Las arcillas son de forma laminar y eminentemente plásticas, produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas sobre otras al ejercerse un esfuerzo, esto implica una dispersión de arcillas en el fluido de perforación que tiende a cambiar sus propiedades reológicas, a su vez un hinchamiento de las arcillas causa problemas durante la perforación del pozo, dificultando viajes de control o viajes de calibre.
- Los problemas que ocasionan las lutitas se analizan y se solucionan en función del tipo de lutita.
- La mayoría de problemas durante la perforación de un pozo se dan por la hidratación de las lutitas y las arcillas, causado por una falta de control de filtrado, o el uso de la cantidad inadecuada de inhibidor en el fluido de perforación.
- De acuerdo a los problemas presentados se observa que la formación Tiyuyacu es la más reactiva, seguida de la formación Orteguzaza, a continuación la formación Tena sin desmeritar su reactividad, seguida de las lutitas de Napo aunque no sean muy reactivas, su problemática se debe considerar debido a su fisilidad.

- El estudio de muestras de ripios de los pozos analizados, las cuales fueron sometidas a pruebas de difracción de rayos X, en las que podemos observar que la formación Tiyuyacu en la Tabla 3.11 presenta una mezcla entre Illitas y Esmectitas, siendo que la Illita es muy dispersable ocasionando Washout, o zonas erosionadas en el pozo, lo cual genera escalones y gradas en las zonas con conglomerados y arenas.
- La ineficiencia del inhibidor operativamente fue demostrado en altos valores de MBT ( $> 20$ ), pues en estos pozos hubo mayor cantidad de problemas, que los que tuvieron MBT ( $\leq 15$ ) que son los pozos A3 y B3.
- Los altos valores MBT pueden ser de dos fuentes.

Mal diseño del equipo de control de sólidos (lo cual es fácilmente solucionable cambiando las mallas y diluyendo, aunque esto encárese los costos).

De acuerdo al estudio de MBT tiende a incrementar cuando el inhibidor no es el apropiado, debido a que el fluido de perforación pierde su capacidad inhibitoria ocasionando una reacción de los sólidos de la formación con el fluido de perforación, y que en función del tiempo de exposición agravará más el problema.

- La base de la reducción de la ventana operacional de densidad tradicional está fundamentada en la optimización de la química del fluido de perforación y su impacto e interacción con la formación debido a la reducción de la presión de poro con agentes que evite el envejecimiento del hueco y su desestabilización. El proceso tradicionalmente ha sido perforar con altas densidades y evaluar la condición del pozo, lo cual ha reflejado que aun llevando altas densidades las formaciones no ha logrado estabilizarse. El proceso que inicio Q-Max es perforar con pesos de 1,5 a 2 PPG por debajo del tradicional y mediante la optimización química, al ir evaluando la condición real del pozo mediante el monitoreo de los viajes y

retornos de cortes, hasta lograr establecer densidades por debajo de las recomendadas en base a la experiencia de las otras compañías de fluido de perforación y recomendaciones geomecánicas y que se reflejaron operacionalmente en la buena calidad de los viajes así como minimizar eventos de inestabilidad.

- Durante las pruebas experimentales se observó que el uso de Glicol Directop y Maxdrill juntos como inhibidores ayuda a inhibir de mejor manera las Lutitas en la sección 12 ¼" minimizando la hidratación de las arcillas y el derrumbe de las lutitas.
- La solubilidad del Glicol Directop en fase acuosa del fluido provee fuertemente un efecto de adsorción sobre la superficie de las arcillas y luego de este fenómeno, el efecto inhibidor se determina por su cobertura en la capa superficial.

Este incrementa la viscosidad de la fase acuosa, por ende reduce la movilidad de las moléculas de agua que invaden en la penetración en las lutitas.

La emulsión de fluido de perforación con Glicol Directop activada térmicamente, provee un mejor mecanismo de control mecánico de transferencia de agua por difusión hacia la formación.

- Mientras mayor es el poder de inhibición del fluido de perforación, mayor es el costo del mismo, pero a la vez es menor el costo si se lo relaciona con el costo de perforación de un pozo con problemas de inhibición de lutitas.
- El precio del día de perforación es de 75.000,00 que es un costo realmente alto, al manejar buenas condiciones y propiedades del fluido de perforación aumenta la probabilidad de una perforación buena y en el menor tiempo posible, exceptuando problemas mecánicos con las herramientas de perforación.

## 5.2 RECOMENDACIONES.

- Se debe tener un conocimiento adecuado de la litología que atraviesa la sección 12 ¼” en los campos A y B para tomar las precauciones del caso y evitar problemas con las lutitas y las arcillas. Realizar ensayos que incluyen pruebas de difracciones de rayos X, hinchamiento lineal y capacidad de intercambio catiónico.
- Los planes de geomecánica deben considerar la interacción formación – fluido, para determinar la ventana adecuada de densidad de trabajo, y pensar en el componente de envejecimiento para escoger el modelo.
- Se recomienda mantener una densidad de 10.5 PPG que genere un overbalance adecuado por debajo de lo tradicional, para evitar pérdida de circulación y mantener el control del pozo con una optimización de la química del fluido de perforación.
- El adecuado control de las propiedades físicas del fluido de perforación de acuerdo al programa de fluidos, minimiza los problemas durante la perforación.
- Hacer un análisis de ripsos durante la generación del programa de fluidos donde se detecte arcilla plástica.
- En la formulación 3 de fluido de perforación, se debe utilizar píldoras lubricantes, ya que ayudan a tener mejores viajes de calibración, control y registros.
- Después de haberse hecho el respectivo análisis económico, se recomienda invertir más en la química del fluido de perforación para minimizar los impactos formación-fluido y evitar un gasto mayor por el tiempo de perforación que supondría solucionarlos.

- Realizar 3 lecturas de las pruebas de Dispersión y de Tiempo de Succión Capilar para no tener errores en los resultados asegurándonos así un mejor resultado de la prueba.
- Al realizar las pruebas de laboratorio es recomendable tener mucho cuidado al reportar los resultados ya que valores erróneos causarían problemas graves en el pozo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baroid. Halliburtoon. (S.F.). Manual de Fluidos. Houston Usa.2000.
- M.I. (S.F.). Manual de Fluidos. USA.2000.
- PetroSkills. (S.F.). Drilling fluids technology. USA.
- Schlumberger – IPM. Prevención de Pega de Tubería. Folleto.2012.
- Schlumberger. 2015. La Cuenca Oriente Geología y Petróleo. Ecuador.
- M.I. Sawco. 2000. Manual de Fluidos. USA.
- Q – Max. 2014. Evaluation Manual.
- Programa de Ingeniería en Petróleo. Universidad de Zulia. Problemas Comunes de Perforación Relacionados con los Fluidos de Perforación. Obtenido de <http://es.slideshare.net/patiinu/problemas-comunes-de-perforacin-relacionados-con-1>.
- Q – Max. 2015. Estudio de Arcillas. Ecuador. Folleto.
- Petroamazonas. 2015. Reportes Finales de Operaciones. Ecuador.
- Q – Max. 2015. Ing. Francisco Romero. Estudio de Inhibición de Arcillas Reactivas y Lutitas Inestables en Campo (X) de Amazonia Ecuatoriana. Ecuador.
- Baker Hughes. Manual de Fluidos. USA.
- The Society of Petroleum Engineers. 2015. Inhibition of Clay. [www.spe.org](http://www.spe.org).

- FANN Instrument. 1999. Linear Swell Instruction Manual.
- Halliburton. 2015. Curso Básico de Fluidos de Perforación Base Agua.
- Laboratorio de Fluidos de Q – Max. Análisis y Pruebas a Fluidos de Perforación.
- Santiago Javier Lara Arias. 2007. Estudio de la Efectividad del Sistema Rompedor de Revoque N-Flow en Pozos Horizontales, en un Campo del Oriente Ecuatoriano. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador – Quito.
- Universidad Metropolitana. 2014. Arcillas y Lutitas. Folleto – Quito.
- Instituto Técnico del Petróleo. 2014. Prevención de pegas de tubería. Ecuador.
- Ing. Jorge Garcia. 2014. Arcillas Presurizadas. Ecuador.
- Drilling Fluids Practices to Optimize Well Stability In the Amazon Region in Ecuador. 2015. Ing Rubén Paredes, Ing Luis Durán, Ing. Francisco Romero. Q Max. Paper.

## GLOSARIO

- **Absorción:** Es la capacidad de incorporar sustancias u organismos en su interior.
- **Adhesión:** Es la fuerza de atracción que mantiene unidas moléculas de distinta especie química y se mantienen juntas.
- **Adsorción:** Es la acción en la que el o los solutos absorben la parte gaseosa de una sustancia y pasan a la fase líquida.
- **Alcalinidad:** Es la capacidad para neutralizar ácidos, esta propiedad se debe a la presencia de sales o bases débiles y fuertes.
- **Álcalis:** es cualquier sustancia que contiene sustancias alcalinas.
- **Análisis del fluido de perforación:** Examen sistemático y continuo del fluido de perforación para determinar sus propiedades físicas, químicas y reológicas.
- **Arena reticular:** Lutita arenosa.
- **Arenisca:** Es la roca sedimentaria cuarzosa, gris clara, gris verdosa, blanca, transparente a translúcida, sin presencia de carbonato.
- **Arcilla:** Está constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados de naturaleza cristalina que se formaron hace varios millones de años y reúnen las características peculiares de composición y formación relacionadas con el curso de la evolución de la tierra.
- **Atapulgita:** Arcilla coloidal compuesta por silicato hidratado de aluminio y magnesio.
- **Atascamiento Diferencial:** Incrustación de la sarta de perforación en un revoque grueso por presión diferencial.

- **Backreaming:** Acción de rozamiento de la sarta de perforación y las paredes del hueco del pozo al trabajar la sarta y utilizar bombas mientras saca tubería de perforación.
- **Barita:** Sulfato de bario natural utilizado para aumentar la densidad.
- **Catión:** Es un ión con carga eléctrica positiva que ha perdido electrones.
- **Cohesión:** Atracción entre moléculas.
- **Colapso:** Decaimiento brusco y grave de la tensión que causa una caída de circulación.
- **Coloidal:** Es un sistema formado por una o más fases, una continua y otra dispersa.
- **Conglomerado:** Es una roca sedimentaria de tipo detrítico formada mayoritariamente por clastos redondeados tamaño grava o mayor a 2mm.
- **Corrosivo:** Es una sustancia que puede destruir o dañar irreversiblemente otra superficie o sustancia con la cual entra en contacto.
- **Coagulación:** Es el proceso por el cual el fluido pierde su liquidez tornándose similar a un gel.
- **Deformabilidad:** Capacidad de los materiales a sufrir deformaciones sin llegar a romperse o provocar su desprendimiento.
- **Densificante:** Es un material sólido de alta gravedad específica que se utiliza para elevar la densidad de un fluido de perforación.
- **Desmoronamiento:** Caída de arcillas o lutitas por causa del hinchamiento o dispersión de las mismas.
- **Dispersante:** es un aditivo que se utiliza para que un soluto se distribuya o se disperse en un solvente.

- **Embolamiento:** Acumulación de material perforado por encima de la broca, impidiendo rotación de la sarta y la broca.
- **Empaquetamiento:** Pega mecánica de la sarta de perforación alrededor de los cortadores que impiden que los mismos realicen su trabajo.
- **Emulsión:** Es una mezcla de líquidos inmiscibles de manera homogénea.
- **Estratificación geológica:** Es cada capa de sedimentos o rocas.
- **Floculación:** Es la asociación de los bordes de las partículas, resaltando una estructura de varios triángulos piramidales.
- **Filtración:** Es la pérdida de fluido en la formación por medio de poros.
- **Granulometría:** Es la medición que se lleva a cabo a los granos de una formación sedimentaria.
- **Hidratación:** Proceso por el cual una sustancia admite agua por medio de absorción o adsorción.
- **Hinchamiento:** Método por el cual se determina la hidratación o deshidratación de las lutitas.
- **Inhibidor:** Agente que se encarga de evitar la hidratación de arcillas o lutitas por medio de agentes preventivos.
- **Litología:** Descripción y clasificación de las rocas.
- **Lubricante:** Sustancia que disminuye la fricción entre dos materiales.
- **Lutita:** Roca sedimentaria con textura de granos finos depositados en cuencas marinas formados por la consolidación de arcillas, limo y fluido.

- **Plasticidad:** Es la capacidad de cambiar de forma pero conservar sus propiedades.
- **Polímero:** Sustancia formada por una cantidad finita que le confieren un alto peso molecular.
- **Presión diferencial:** Es la diferencia de presión entre dos puntos de un sistema (superficie – formación).
- **Presión hidrostática:** Es la parte de la presión debida al peso de un fluido en reposo.
- **Presurizar:** Incrementar la presión de un espacio cerrado.
- **Reaming:** Acción de rozamiento de la sarta de perforación y las paredes del hueco del pozo al trabajar sarta y utilizar bomba al bajar tubería de perforación.
- **Recorte:** Muestra de formación obtenido de un pozo perforado para su posterior análisis.
- **Revestidor:** Tubería con la cual se reviste el hueco del pozo perforado.
- **Revoque:** Los sólidos suspendidos que se depositan sobre un medio poroso durante la filtración.
- **Sedimento:** Material sólido acumulado sobre la superficie terrestre.
- **Sobrepresión:** Presión sobre la cual un rompimiento de la tubería o desmoronamiento de hueco.
- **Soluble:** Que se puede disolver al mezclarse con un líquido.
- **Tixotropía:** Es la pérdida de resistencia de un coloide al amasarlo y su posterior recuperación con el tiempo.

- **Toxicidad:** Capacidad de una sustancia química de producir efectos perjudiciales a la salud.
- **Viscosificante:** Son productos que se agregan a los fluidos para mejorar la habilidad de remover los cortes del hueso y suspender el material densificante durante las maniobras.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA LA**  
**FORMACIÓN ORTEGUAZA**

TIEMPO	FORMULACIÓN 1	FORMULACIÓN 2	FORMULACIÓN 3	AGUA
0:00:00	0	0	0	0
0:00:37	0,0337901	0,0262140	0,0222675	0,0623086
0:00:40	0,0675802	0,0524280	0,0445350	0,1246173
0:00:41	0,1013704	0,0786420	0,0668024	0,1869259
0:00:42	0,1351605	0,1048560	0,0890699	0,2492346
0:00:46	0,1689506	0,1310700	0,1113374	0,3115432
0:00:47	0,2027407	0,1572840	0,1336049	0,3738518
0:00:48	0,2365309	0,1834979	0,1558724	0,4361605
0:00:51	0,2703210	0,2097119	0,1781398	0,4984691
0:00:51	0,3041111	0,2359259	0,2004073	0,5607778
0:00:56	0,3379012	0,2621399	0,2226748	0,6230864
0:00:57	0,3716914	0,2883539	0,2449423	0,6853951
0:00:57	0,4054815	0,3145679	0,2672098	0,7477037
0:01:00	0,4392716	0,3407819	0,2894772	0,8100123
0:01:01	0,4730617	0,3669959	0,3117447	0,8723210
0:01:04	0,5068519	0,3932099	0,3340122	0,9346296
0:01:07	0,5406420	0,4194239	0,3562797	0,9969383
0:01:07	0,5744321	0,4456379	0,3785472	1,0592469
0:01:10	0,6082222	0,4718519	0,4008146	1,1215555
0:01:11	0,6420123	0,4980658	0,4230821	1,1838642
0:01:11	0,6758025	0,5242798	0,4453496	1,2461728
0:01:15	0,7095926	0,5504938	0,4676171	1,3084815
0:01:16	0,7433827	0,5767078	0,4898846	1,3707901
0:01:17	0,7771728	0,6029218	0,5121520	1,4330987
0:01:26	0,8109630	0,6291358	0,5344195	1,4954074
0:01:28	0,8447531	0,6553498	0,5566870	1,5577160
0:01:31	0,8785432	0,6815638	0,5789545	1,6200247
0:01:37	0,9123333	0,7077778	0,6012220	1,6823333
0:01:37	0,9461235	0,7339918	0,6234894	1,7446419
0:01:39	0,9799136	0,7602058	0,6457569	1,8069506
0:01:41	1,0137037	0,7864198	0,6680244	1,8692592
0:01:41	1,0474938	0,8126337	0,6902919	1,9315679
0:01:46	1,0812840	0,8388477	0,7125594	1,9938765
0:01:46	1,1150741	0,8650617	0,7348268	2,0561852
0:01:48	1,1488642	0,8912757	0,7570943	2,1184938
0:01:52	1,1826543	0,9174897	0,7793618	2,1808024
0:01:52	1,2164444	0,9437037	0,8016293	2,2431111
0:01:54	1,2502346	0,9699177	0,8238968	2,3054197
0:01:57	1,2840247	0,9961317	0,8461642	2,3677284
0:01:58	1,3178148	1,0223457	0,8684317	2,4300370
0:02:02	1,3516049	1,0485597	0,8906992	2,4923456
0:02:03	1,3853951	1,0747737	0,9129667	2,5546543
0:02:05	1,4191852	1,1009877	0,9352342	2,6169629
0:02:09	1,4529753	1,1272016	0,9575016	2,6792716

0:02:09	1,4867654	1,1534156	0,9797691	2,7415802
0:02:12	1,5205556	1,1796296	1,0020366	2,8038888
0:02:13	1,5543457	1,2058436	1,0243041	2,8661975
0:02:14	1,5881358	1,2320576	1,0465716	2,9285061
0:02:18	1,6219259	1,2582716	1,0688390	2,9908148
0:02:19	1,6557161	1,2844856	1,0911065	3,0531234
0:02:21	1,6895062	1,3106996	1,1133740	3,1154321
0:02:28	1,7232963	1,3369136	1,1356415	3,1777407
0:02:29	1,7570864	1,3631276	1,1579090	3,2400493
0:02:31	1,7908765	1,3893416	1,1801764	3,3023580
0:02:33	1,8246667	1,4155556	1,2024439	3,3646666
0:02:34	1,8584568	1,4417695	1,2247114	3,4269753
0:02:38	1,8922469	1,4679835	1,2469789	3,4892839
0:02:39	1,9260370	1,4941975	1,2692464	3,5515925
0:02:40	1,9598272	1,5204115	1,2915138	3,6139012
0:02:46	1,9936173	1,5466255	1,3137813	3,6762098
0:02:47	2,0274074	1,5728395	1,3360488	3,7385185
0:02:53	2,0611975	1,5990535	1,3583163	3,8008271
0:03:01	2,0949877	1,6252675	1,3805838	3,8631357
0:03:02	2,1287778	1,6514815	1,4028512	3,9254444
0:03:08	2,1625679	1,6776955	1,4251187	3,9877530
0:03:11	2,1963580	1,7039095	1,4473862	4,0500617
0:03:13	2,2301482	1,7301235	1,4696537	4,1123703
0:03:18	2,2639383	1,7563375	1,4919212	4,1746789
0:03:18	2,2977284	1,7825514	1,5141886	4,2369876
0:03:20	2,3315185	1,8087654	1,5364561	4,2992962
0:03:24	2,3653086	1,8349794	1,5587236	4,3616049
0:03:24	2,3990988	1,8611934	1,5809911	4,4239135
0:03:29	2,4328889	1,8874074	1,6032586	4,4862222
0:03:30	2,4666790	1,9136214	1,6255260	4,5485308
0:03:31	2,5004691	1,9398354	1,6477935	4,6108394
0:03:36	2,5342593	1,9660494	1,6700610	4,6731481
0:03:37	2,5680494	1,9922634	1,6923285	4,7354567
0:03:40	2,6018395	2,0184774	1,7145960	4,7977654
0:03:45	2,6356296	2,0446914	1,7368634	4,8600740
0:03:45	2,6694198	2,0709054	1,7591309	4,9223826
0:03:50	2,7032099	2,0971193	1,7813984	4,9846913
0:03:51	2,7370000	2,1233333	1,8036659	5,0469999
0:03:51	2,7707901	2,1495473	1,8259334	5,1093086
0:03:58	2,8045803	2,1757613	1,8482008	5,1716172
0:03:59	2,8383704	2,2019753	1,8704683	5,2339258
0:04:00	2,8721605	2,2281893	1,8927358	5,2962345
0:04:04	2,9059506	2,2544033	1,9150033	5,3585431
0:04:05	2,9397407	2,2806173	1,9372708	5,4208518
0:04:08	2,9735309	2,3068313	1,9595382	5,4831604

0:04:14	3,0073210	2,3330453	1,9818057	5,5454690
0:04:16	3,0411111	2,3592593	2,0040732	5,6077777
0:04:23	3,0749012	2,3854733	2,0263407	5,6700863
0:04:25	3,1086914	2,4116872	2,0486082	5,7323950
0:04:26	3,1424815	2,4379012	2,0708756	5,7947036
0:04:34	3,1762716	2,4641152	2,0931431	5,8570123
0:04:35	3,2100617	2,4903292	2,1154106	5,9193209
0:04:36	3,2438519	2,5165432	2,1376781	5,9816295
0:04:42	3,2776420	2,5427572	2,1599456	6,0439382
0:04:43	3,3114321	2,5689712	2,1822130	6,1062468
0:04:47	3,3452222	2,5951852	2,2044805	6,1685555
0:04:54	3,3790124	2,6213992	2,2267480	6,2308641
0:04:55	3,4128025	2,6476132	2,2490155	6,2931727
0:05:01	3,4465926	2,6738272	2,2712830	6,3554814
0:05:02	3,4803827	2,7000412	2,2935504	6,4177900
0:05:03	3,5141728	2,7262551	2,3158179	6,4800987
0:05:08	3,5479630	2,7524691	2,3380854	6,5424073
0:05:08	3,5817531	2,7786831	2,3603529	6,6047159
0:05:12	3,6155432	2,8048971	2,3826204	6,6670246
0:05:16	3,6493333	2,8311111	2,4048878	6,7293332
0:05:17	3,6831235	2,8573251	2,4271553	6,7916419
0:05:27	3,7169136	2,8835391	2,4494228	6,8539505
0:05:28	3,7507037	2,9097531	2,4716903	6,9162592
0:05:29	3,7844938	2,9359671	2,4939578	6,9785678
0:05:35	3,8182840	2,9621811	2,5162252	7,0408764
0:05:36	3,8520741	2,9883951	2,5384927	7,1031851
0:05:38	3,8858642	3,0146091	2,5607602	7,1654937
0:05:46	3,9196543	3,0408230	2,5830277	7,2278024
0:05:47	3,9534444	3,0670370	2,6052952	7,2901110
0:05:49	3,9872346	3,0932510	2,6275626	7,3524196
0:05:50	4,0210247	3,1194650	2,6498301	7,4147283
0:05:51	4,0548148	3,1456790	2,6720976	7,4770369
0:05:56	4,0886049	3,1718930	2,6943651	7,5393456
0:05:58	4,1223951	3,1981070	2,7166326	7,6016542
0:05:59	4,1561852	3,2243210	2,7389000	7,6639628
0:06:05	4,1899753	3,2505350	2,7611675	7,7262715
0:06:06	4,2237654	3,2767490	2,7834350	7,7885801
0:06:08	4,2575556	3,3029630	2,8057025	7,8508888
0:06:10	4,2913457	3,3291770	2,8279700	7,9131974
0:06:10	4,3251358	3,3553910	2,8502374	7,9755060
0:06:13	4,3589259	3,3816049	2,8725049	8,0378147
0:06:14	4,3927161	3,4078189	2,8947724	8,1001233
0:06:14	4,4265062	3,4340329	2,9170399	8,1624320
0:06:18	4,4602963	3,4602469	2,9393074	8,2247406
0:06:19	4,4940864	3,4864609	2,9615748	8,2870493

0:06:20	4,5278765	3,5126749	2,9838423	8,3493579
0:06:24	4,5616667	3,5388889	3,0061098	8,4116665
0:06:25	4,5954568	3,5651029	3,0283773	8,4739752
0:06:26	4,6292469	3,5913169	3,0506448	8,5362838
0:06:27	4,6630370	3,6175309	3,0729122	8,5985925
0:06:28	4,6968272	3,6437449	3,0951797	8,6609011
0:06:33	4,7306173	3,6699589	3,1174472	8,7232097
0:06:36	4,7644074	3,6961728	3,1397147	8,7855184
0:06:38	4,7981975	3,7223868	3,1619822	8,8478270
0:06:43	4,8319877	3,7486008	3,1842496	8,9101357
0:06:44	4,8657778	3,7748148	3,2065171	8,9724443
0:06:54	4,8995679	3,8010288	3,2287846	9,0347529
0:07:08	4,9333580	3,8272428	3,2510521	9,0970616
0:07:11	4,9671482	3,8534568	3,2733196	9,1593702
0:07:24	5,0009383	3,8796708	3,2955870	9,2216789
0:07:27	5,0347284	3,9058848	3,3178545	9,2839875
0:07:29	5,0685185	3,9320988	3,3401220	9,3462962
0:07:40	5,1023086	3,9583128	3,3623895	9,4086048
0:07:45	5,1360988	3,9845268	3,3846570	9,4709134
0:07:46	5,1698889	4,0107407	3,4069244	9,5332221
0:08:05	5,2036790	4,0369547	3,4291919	9,5955307
0:08:07	5,2374691	4,0631687	3,4514594	9,6578394
0:08:10	5,2712593	4,0893827	3,4737269	9,7201480
0:08:19	5,3050494	4,1155967	3,4959944	9,7824566
0:08:21	5,3388395	4,1418107	3,5182618	9,8447653
0:08:34	5,3726296	4,1680247	3,5405293	9,9070739
0:08:37	5,4064198	4,1942387	3,5627968	9,9693826
0:08:39	5,4402099	4,2204527	3,5850643	10,0316912
0:08:49	5,4740000	4,2466667	3,6073318	10,0939998
0:08:51	5,5077901	4,2728807	3,6295992	10,1563085
0:08:54	5,5415803	4,2990947	3,6518667	10,2186171
0:09:01	5,5753704	4,3253086	3,6741342	10,2809258
0:09:03	5,6091605	4,3515226	3,6964017	10,3432344
0:09:06	5,6429506	4,3777366	3,7186692	10,4055430
0:09:11	5,6767407	4,4039506	3,7409366	10,4678517
0:09:12	5,7105309	4,4301646	3,7632041	10,5301603
0:09:21	5,7443210	4,4563786	3,7854716	10,5924690
0:09:25	5,7781111	4,4825926	3,8077391	10,6547776
0:09:27	5,8119012	4,5088066	3,8300066	10,7170863
0:09:35	5,8456914	4,5350206	3,8522740	10,7793949
0:09:38	5,8794815	4,5612346	3,8745415	10,8417035
0:09:40	5,9132716	4,5874486	3,8968090	10,9040122
0:09:54	5,9470617	4,6136626	3,9190765	10,9663208
0:09:57	5,9808519	4,6398765	3,9413440	11,0286295
0:10:04	6,0146420	4,6660905	3,9636114	11,0909381

0:10:14	6,0484321	4,6923045	3,9858789	11,1532467
0:10:16	6,0822222	4,7185185	4,0081464	11,2155554
0:10:22	6,1160124	4,7447325	4,0304139	11,2778640
0:10:38	6,1498025	4,7709465	4,0526814	11,3401727
0:10:41	6,1835926	4,7971605	4,0749488	11,4024813
0:11:00	6,2173827	4,8233745	4,0972163	11,4647899
0:11:10	6,2511728	4,8495885	4,1194838	11,5270986
0:11:15	6,2849630	4,8758025	4,1417513	11,5894072
0:11:39	6,3187531	4,9020165	4,1640188	11,6517159
0:11:46	6,3525432	4,9282305	4,1862862	11,7140245
0:11:50	6,3863333	4,9544445	4,2085537	11,7763331
0:12:08	6,4201235	4,9806584	4,2308212	11,8386418
0:12:10	6,4539136	5,0068724	4,2530887	11,9009504
0:12:17	6,4877037	5,0330864	4,2753562	11,9632591
0:12:40	6,5214938	5,0593004	4,2976236	12,0255677
0:12:44	6,5552840	5,0855144	4,3198911	12,0878764
0:12:51	6,5890741	5,1117284	4,3421586	12,1501850
0:13:23	6,6228642	5,1379424	4,3644261	12,2124936
0:13:31	6,6566543	5,1641564	4,3866936	12,2748023
0:13:56	6,6904445	5,1903704	4,4089610	12,3371109
0:14:04	6,7242346	5,2165844	4,4312285	12,3994196
0:14:08	6,7580247	5,2427984	4,4534960	12,4617282
0:14:45	6,7918148	5,2690124	4,4757635	12,5240368
0:14:51	6,8256049	5,2952263	4,4980310	12,5863455
0:14:58	6,8593951	5,3214403	4,5202984	12,6486541
0:15:26	6,8931852	5,3476543	4,5425659	12,7109628
0:15:30	6,9269753	5,3738683	4,5648334	12,7732714
0:15:41	6,9607654	5,4000823	4,5871009	12,8355800
0:15:56	6,9945556	5,4262963	4,6093684	12,8978887
0:16:04	7,0283457	5,4525103	4,6316358	12,9601973
0:16:36	7,0621358	5,4787243	4,6539033	13,0225060
0:17:05	7,0959259	5,5049383	4,6761708	13,0848146
0:17:12	7,1297161	5,5311523	4,6984383	13,1471233
0:18:12	7,1635062	5,5573663	4,7207058	13,2094319
0:18:39	7,1972963	5,5835803	4,7429732	13,2717405
0:18:51	7,2310864	5,6097942	4,7652407	13,3340492
0:20:07	7,2648766	5,6360082	4,7875082	13,3963578
0:20:24	7,2986667	5,6622222	4,8097757	13,4586665
0:20:41	7,3324568	5,6884362	4,8320432	13,5209751
0:22:09	7,3662469	5,7146502	4,8543106	13,5832837
0:22:22	7,4000370	5,7408642	4,8765781	13,6455924
0:22:47	7,4338272	5,7670782	4,8988456	13,7079010
0:24:45	7,4676173	5,7932922	4,9211131	13,7702097
0:25:14	7,5014074	5,8195062	4,9433806	13,8325183
0:26:35	7,5351975	5,8457202	4,9656480	13,8948269

0:28:19	7,5689877	5,8719342	4,9879155	13,9571356
0:28:41	7,6027778	5,8981482	5,0101830	14,0194442
0:30:51	7,6365679	5,9243621	5,0324505	14,0817529
0:31:14	7,6703580	5,9505761	5,0547180	14,1440615
0:31:28	7,7041482	5,9767901	5,0769854	14,2063701
0:33:54	7,7379383	6,0030041	5,0992529	14,2686788
0:34:21	7,7717284	6,0292181	5,1215204	14,3309874
0:34:52	7,8055185	6,0554321	5,1437879	14,3932961
0:37:22	7,8393087	6,0816461	5,1660554	14,4556047
0:38:01	7,8730988	6,1078601	5,1883228	14,5179134
0:38:56	7,9068889	6,1340741	5,2105903	14,5802220
0:42:14	7,9406790	6,1602881	5,2328578	14,6425306
0:42:46	7,9744691	6,1865021	5,2551253	14,7048393
0:44:57	8,0082593	6,2127161	5,2773928	14,7671479
0:49:57	8,0420494	6,2389300	5,2996602	14,8294566
0:51:22	8,0758395	6,2651440	5,3219277	14,8917652
0:52:43	8,1096296	6,2913580	5,3441952	14,9540738
0:57:43	8,1434198	6,3175720	5,3664627	15,0163825
1:02:43	8,1772099	6,3437860	5,3887302	15,0786911
1:05:58	8,1981087	6,3599990	5,4025023	15,1172282
1:07:57	8,2190075	6,3762120	5,4162745	15,1557653
1:12:57	8,2399064	6,3924250	5,4300467	15,1943024
1:17:57	8,2608052	6,4086380	5,4438188	15,2328396
1:22:57	8,2817040	6,4248511	5,4575910	15,2713767
1:27:57	8,3026028	6,4410641	5,4713632	15,3099138
1:31:32	8,3235017	6,4572771	5,4851354	15,3484509
1:36:32	8,3444005	6,4734901	5,4989075	15,3869880
1:41:32	8,3652993	6,4897031	5,5126797	15,4255251
1:46:33	8,3861982	6,5059161	5,5264519	15,4640622
1:51:33	8,4070970	6,5221291	5,5402240	15,5025993
1:56:33	8,4279958	6,5383421	5,5539962	15,5411364
2:01:33	8,4488946	6,5545551	5,5677684	15,5796735
2:04:39	8,4697935	6,5707681	5,5815405	15,6182106
2:09:39	8,4906923	6,5869811	5,5953127	15,6567478
2:14:39	8,5115911	6,6031941	5,6090849	15,6952849
2:19:39	8,5324899	6,6194071	5,6228571	15,7338220
2:24:39	8,5533888	6,6356202	5,6366292	15,7723591
2:29:39	8,5742876	6,6518332	5,6504014	15,8108962
2:34:39	8,5951864	6,6680462	5,6641736	15,8494333
2:39:39	8,6160852	6,6842592	5,6779457	15,8879704
2:44:39	8,6369841	6,7004722	5,6917179	15,9265075
2:49:39	8,6578829	6,7166852	5,7054901	15,9650446
2:54:39	8,6787817	6,7328982	5,7192622	16,0035817
2:59:39	8,6996805	6,7491112	5,7330344	16,0421188
3:04:39	8,7205794	6,7653242	5,7468066	16,0806560

3:09:39	8,7414782	6,7815372	5,7605788	16,1191931
3:14:39	8,7623770	6,7977502	5,7743509	16,1577302
3:19:39	8,7832759	6,8139632	5,7881231	16,1962673
3:24:39	8,8041747	6,8301763	5,8018953	16,2348044
3:29:39	8,8250735	6,8463893	5,8156674	16,2733415
3:34:39	8,8459723	6,8626023	5,8294396	16,3118786
3:39:39	8,8668712	6,8788153	5,8432118	16,3504157
3:44:40	8,8877700	6,8950283	5,8569839	16,3889528
3:49:40	8,9086688	6,9112413	5,8707561	16,4274899
3:54:40	8,9295676	6,9274543	5,8845283	16,4660270
3:59:40	8,9504665	6,9436673	5,8983005	16,5045642
4:04:40	8,9713653	6,9598803	5,9120726	16,5431013
4:09:40	8,9922641	6,9760933	5,9258448	16,5816384
4:14:40	9,0131629	6,9923063	5,9396170	16,6201755
4:19:40	9,0340618	7,0085193	5,9533891	16,6587126
4:24:40	9,0549606	7,0247323	5,9671613	16,6972497
4:29:40	9,0758594	7,0409454	5,9809335	16,7357868
4:34:40	9,0967583	7,0571584	5,9947056	16,7743239
4:39:40	9,1176571	7,0733714	6,0084778	16,8128610
4:44:40	9,1385559	7,0895844	6,0222500	16,8513981
4:49:40	9,1594547	7,1057974	6,0360222	16,8899352
4:54:40	9,1803536	7,1220104	6,0497943	16,9284724
4:59:40	9,2012524	7,1382234	6,0635665	16,9670095
5:04:40	9,2221512	7,1544364	6,0773387	17,0055466
5:09:40	9,2430500	7,1706494	6,0911108	17,0440837
5:14:40	9,2639489	7,1868624	6,1048830	17,0826208
5:19:40	9,2848477	7,2030754	6,1186552	17,1211579
5:24:40	9,3057465	7,2192884	6,1324273	17,1596950
5:29:40	9,3266453	7,2355015	6,1461995	17,1982321
5:34:40	9,3475442	7,2517145	6,1599717	17,2367692
5:39:40	9,3684430	7,2679275	6,1737439	17,2753063
5:44:40	9,3893418	7,2841405	6,1875160	17,3138434
5:49:40	9,4102407	7,3003535	6,2012882	17,3523806
5:54:40	9,4311395	7,3165665	6,2150604	17,3909177
5:59:40	9,4520383	7,3327795	6,2288325	17,4294548
6:04:40	9,4729371	7,3489925	6,2426047	17,4679919
6:09:40	9,4938360	7,3652055	6,2563769	17,5065290
6:14:40	9,5147348	7,3814185	6,2701490	17,5450661
6:19:41	9,5356336	7,3976315	6,2839212	17,5836032
6:24:41	9,5565324	7,4138445	6,2976934	17,6221403
6:29:41	9,5774313	7,4300575	6,3114656	17,6606774
6:34:41	9,5983301	7,4462706	6,3252377	17,6992145
6:39:41	9,6192289	7,4624836	6,3390099	17,7377516
6:44:41	9,6401277	7,4786966	6,3527821	17,7762888
6:49:41	9,6610266	7,4949096	6,3665542	17,8148259

6:54:41	9,6819254	7,5111226	6,3803264	17,8533630
6:59:41	9,7028242	7,5273356	6,3940986	17,8919001
7:04:41	9,7237230	7,5435486	6,4078707	17,9304372
7:09:41	9,7446219	7,5597616	6,4216429	17,9689743
7:14:41	9,7655207	7,5759746	6,4354151	18,0075114
7:19:41	9,7864195	7,5921876	6,4491873	18,0460485
7:24:41	9,8073184	7,6084006	6,4629594	18,0845856
7:29:41	9,8282172	7,6246136	6,4767316	18,1231227
7:34:41	9,8491160	7,6408266	6,4905038	18,1616598
7:39:41	9,8700148	7,6570397	6,5042759	18,2001970
7:44:41	9,8909137	7,6732527	6,5180481	18,2387341
7:49:41	9,9118125	7,6894657	6,5318203	18,2772712
7:54:41	9,9327113	7,7056787	6,5455924	18,3158083
7:59:41	9,9536101	7,7218917	6,5593646	18,3543454
8:04:42	9,9745090	7,7381047	6,5731368	18,3928825
8:09:42	9,9954078	7,7543177	6,5869090	18,4314196
8:14:42	10,0163066	7,7705307	6,6006811	18,4699567
8:19:42	10,0372054	7,7867437	6,6144533	18,5084938
8:24:42	10,0581043	7,8029567	6,6282255	18,5470309
8:29:42	10,0790031	7,8191697	6,6419976	18,5855680
8:34:42	10,0999019	7,8353827	6,6557698	18,6241052
8:39:42	10,1208008	7,8515958	6,6695420	18,6626423
8:44:42	10,1416996	7,8678088	6,6833141	18,7011794
8:49:42	10,1625984	7,8840218	6,6970863	18,7397165
8:54:42	10,1834972	7,9002348	6,7108585	18,7782536
8:59:42	10,2043961	7,9164478	6,7246307	18,8167907
9:04:42	10,2252949	7,9326608	6,7384028	18,8553278
9:09:42	10,2461937	7,9488738	6,7521750	18,8938649
9:14:42	10,2670925	7,9650868	6,7659472	18,9324020
9:19:42	10,2879914	7,9812998	6,7797193	18,9709391
9:24:42	10,3088902	7,9975128	6,7934915	19,0094762
9:29:42	10,3297890	8,0137258	6,8072637	19,0480133
9:34:42	10,3506878	8,0299388	6,8210358	19,0865505
9:39:42	10,3715867	8,0461518	6,8348080	19,1250876
9:44:42	10,3924855	8,0623649	6,8485802	19,1636247
9:49:42	10,4133843	8,0785779	6,8623524	19,2021618
9:54:42	10,4342831	8,0947909	6,8761245	19,2406989
9:59:42	10,4551820	8,1110039	6,8898967	19,2792360
10:04:42	10,4760808	8,1272169	6,9036689	19,3177731
10:09:43	10,4969796	8,1434299	6,9174410	19,3563102
10:14:43	10,5178785	8,1596429	6,9312132	19,3948473
10:19:43	10,5387773	8,1758559	6,9449854	19,4333844
10:24:43	10,5596761	8,1920689	6,9587575	19,4719215
10:29:43	10,5805749	8,2082819	6,9725297	19,5104587
10:34:43	10,6014738	8,2244949	6,9863019	19,5489958

10:39:43	10,6223726	8,2407079	7,0000741	19,5875329
10:44:43	10,6432714	8,2569209	7,0138462	19,6260700
10:49:43	10,6641702	8,2731340	7,0276184	19,6646071
10:54:43	10,6850691	8,2893470	7,0413906	19,7031442
10:59:43	10,7059679	8,3055600	7,0551627	19,7416813
11:04:43	10,7268667	8,3217730	7,0689349	19,7802184
11:09:43	10,7477655	8,3379860	7,0827071	19,8187555
11:14:43	10,7686644	8,3541990	7,0964792	19,8572926
11:19:43	10,7895632	8,3704120	7,1102514	19,8958297
11:24:43	10,8104620	8,3866250	7,1240236	19,9343669
11:29:43	10,8313609	8,4028380	7,1377958	19,9729040
11:34:43	10,8522597	8,4190510	7,1515679	20,0114411
11:39:43	10,8731585	8,4352640	7,1653401	20,0499782
11:44:43	10,8940573	8,4514770	7,1791123	20,0885153
11:49:43	10,9149562	8,4676901	7,1928844	20,1270524
11:54:43	10,9358550	8,4839031	7,2066566	20,1655895
11:59:43	10,9567538	8,5001161	7,2204288	20,2041266
12:04:43	10,9776526	8,5163291	7,2342009	20,2426637
12:09:43	10,9985515	8,5325421	7,2479731	20,2812008
12:14:43	11,0194503	8,5487551	7,2617453	20,3197379
12:19:43	11,0403491	8,5649681	7,2755175	20,3582751
12:24:43	11,0612479	8,5811811	7,2892896	20,3968122
12:29:44	11,0821468	8,5973941	7,3030618	20,4353493
12:34:44	11,1030456	8,6136071	7,3168340	20,4738864
12:39:44	11,1239444	8,6298201	7,3306061	20,5124235
12:44:44	11,1448433	8,6460331	7,3443783	20,5509606
12:49:44	11,1657421	8,6622461	7,3581505	20,5894977
12:54:44	11,1866409	8,6784592	7,3719226	20,6280348
12:59:44	11,2075397	8,6946722	7,3856948	20,6665719
13:04:44	11,2284386	8,7108852	7,3994670	20,7051090
13:09:44	11,2493374	8,7270982	7,4132392	20,7436461
13:14:44	11,2702362	8,7433112	7,4270113	20,7821833
13:19:44	11,2911350	8,7595242	7,4407835	20,8207204
13:24:44	11,3120339	8,7757372	7,4545557	20,8592575
13:29:44	11,3329327	8,7919502	7,4683278	20,8977946
13:34:44	11,3538315	8,8081632	7,4821000	20,9363317
13:39:44	11,3747303	8,8243762	7,4958722	20,9748688
13:44:44	11,3956292	8,8405892	7,5096443	21,0134059
13:49:44	11,4165280	8,8568022	7,5234165	21,0519430
13:54:44	11,4374268	8,8730152	7,5371887	21,0904801
13:59:44	11,4583256	8,8892283	7,5509609	21,1290172
14:04:44	11,4792245	8,9054413	7,5647330	21,1675543
14:09:44	11,5001233	8,9216543	7,5785052	21,2060915
14:14:44	11,5210221	8,9378673	7,5922774	21,2446286
14:19:44	11,5419210	8,9540803	7,6060495	21,2831657

14:24:44	11,5628198	8,9702933	7,6198217	21,3217028
14:29:44	11,5837186	8,9865063	7,6335939	21,3602399
14:34:44	11,6046174	9,0027193	7,6473660	21,3987770
14:39:45	11,6255163	9,0189323	7,6611382	21,4373141
14:44:45	11,6464151	9,0351453	7,6749104	21,4758512
14:49:45	11,6673139	9,0513583	7,6886826	21,5143883
14:54:45	11,6882127	9,0675713	7,7024547	21,5529254
14:59:45	11,7091116	9,0837844	7,7162269	21,5914625
15:04:45	11,7187366	9,0999974	7,7299991	21,6299997
15:09:45	11,7247659	9,1008736	7,7306724	21,6299997
15:14:15	11,7341325	9,1442907	7,7334987	21,6323875

FUENTE: Q-Max.

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

**ANEXO 2**  
**PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA LA**  
**FORMACIÓN TIYUYACU**

TIEMPO	FORMULACIÓN 1	FORMULACIÓN 2	FORMULACIÓN 3	AGUA
0:00:00	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
0:00:37	0,0589383	0,0608971	0,0474156	0,0815802
0:00:40	0,1178765	0,1217942	0,0948313	0,1631605
0:00:41	0,1768148	0,1826914	0,1422469	0,2447407
0:00:42	0,2357531	0,2435885	0,1896626	0,3263210
0:00:46	0,2946914	0,3044856	0,2370782	0,4079012
0:00:47	0,3536296	0,3653827	0,2844938	0,4894815
0:00:48	0,4125679	0,4262798	0,3319095	0,5710617
0:00:51	0,4715062	0,4871770	0,3793251	0,6526420
0:00:51	0,5304444	0,5480741	0,4267407	0,7342222
0:00:56	0,5893827	0,6089712	0,4741564	0,8158025
0:00:57	0,6483210	0,6698683	0,5215720	0,8973827
0:00:57	0,7072593	0,7307654	0,5689877	0,9789630
0:01:00	0,7661975	0,7916626	0,6164033	1,0605432
0:01:01	0,8251358	0,8525597	0,6638189	1,1421235
0:01:04	0,8840741	0,9134568	0,7112346	1,2237037
0:01:07	0,9430123	0,9743539	0,7586502	1,3052840
0:01:07	1,0019506	1,0352510	0,8060658	1,3868642
0:01:10	1,0608889	1,0961481	0,8534815	1,4684444
0:01:11	1,1198272	1,1570453	0,9008971	1,5500247
0:01:11	1,1787654	1,2179424	0,9483128	1,6316049
0:01:15	1,2377037	1,2788395	0,9957284	1,7131852
0:01:16	1,2966420	1,3397366	1,0431440	1,7947654
0:01:17	1,3555802	1,4006337	1,0905597	1,8763457
0:01:26	1,4145185	1,4615309	1,1379753	1,9579259
0:01:28	1,4734568	1,5224280	1,1853909	2,0395062
0:01:31	1,5323951	1,5833251	1,2328066	2,1210864
0:01:37	1,5913333	1,6442222	1,2802222	2,2026667
0:01:37	1,6502716	1,7051193	1,3276379	2,2842469
0:01:39	1,7092099	1,7660165	1,3750535	2,3658272
0:01:41	1,7681481	1,8269136	1,4224691	2,4474074
0:01:41	1,8270864	1,8878107	1,4698848	2,5289877
0:01:46	1,8860247	1,9487078	1,5173004	2,6105679
0:01:46	1,9449630	2,0096049	1,5647160	2,6921481
0:01:48	2,0039012	2,0705021	1,6121317	2,7737284
0:01:52	2,0628395	2,1313992	1,6595473	2,8553086
0:01:52	2,1217778	2,1922963	1,7069630	2,9368889
0:01:54	2,1807160	2,2531934	1,7543786	3,0184691
0:01:57	2,2396543	2,3140905	1,8017942	3,1000494
0:01:58	2,2985926	2,3749877	1,8492099	3,1816296
0:02:02	2,3575309	2,4358848	1,8966255	3,2632099
0:02:03	2,4164691	2,4967819	1,9440412	3,3447901

0:02:05	2,4754074	2,5576790	1,9914568	3,4263704
0:02:09	2,5343457	2,6185761	2,0388724	3,5079506
0:02:09	2,5932840	2,6794733	2,0862881	3,5895309
0:02:12	2,6522222	2,7403704	2,1337037	3,6711111
0:02:13	2,7111605	2,8012675	2,1811193	3,7526914
0:02:14	2,7700988	2,8621646	2,2285350	3,8342716
0:02:18	2,8290370	2,9230617	2,2759506	3,9158519
0:02:19	2,8879753	2,9839588	2,3233663	3,9974321
0:02:21	2,9469136	3,0448560	2,3707819	4,0790123
0:02:28	3,0058519	3,1057531	2,4181975	4,1605926
0:02:29	3,0647901	3,1666502	2,4656132	4,2421728
0:02:31	3,1237284	3,2275473	2,5130288	4,3237531
0:02:33	3,1826667	3,2884444	2,5604444	4,4053333
0:02:34	3,2416049	3,3493416	2,6078601	4,4869136
0:02:38	3,3005432	3,4102387	2,6552757	4,5684938
0:02:39	3,3594815	3,4711358	2,7026914	4,6500741
0:02:40	3,4184198	3,5320329	2,7501070	4,7316543
0:02:46	3,4773580	3,5929300	2,7975226	4,8132346
0:02:47	3,5362963	3,6538272	2,8449383	4,8948148
0:02:53	3,5952346	3,7147243	2,8923539	4,9763951
0:03:01	3,6541728	3,7756214	2,9397695	5,0579753
0:03:02	3,7131111	3,8365185	2,9871852	5,1395556
0:03:08	3,7720494	3,8974156	3,0346008	5,2211358
0:03:11	3,8309877	3,9583128	3,0820165	5,3027160
0:03:13	3,8899259	4,0192099	3,1294321	5,3842963
0:03:18	3,9488642	4,0801070	3,1768477	5,4658765
0:03:18	4,0078025	4,1410041	3,2242634	5,5474568
0:03:20	4,0667407	4,2019012	3,2716790	5,6290370
0:03:24	4,1256790	4,2627984	3,3190947	5,7106173
0:03:24	4,1846173	4,3236955	3,3665103	5,7921975
0:03:29	4,2435556	4,3845926	3,4139259	5,8737778
0:03:30	4,3024938	4,4454897	3,4613416	5,9553580
0:03:31	4,3614321	4,5063868	3,5087572	6,0369383
0:03:36	4,4203704	4,5672840	3,5561728	6,1185185
0:03:37	4,4793086	4,6281811	3,6035885	6,2000988
0:03:40	4,5382469	4,6890782	3,6510041	6,2816790
0:03:45	4,5971852	4,7499753	3,6984198	6,3632593
0:03:45	4,6561235	4,8108724	3,7458354	6,4448395
0:03:50	4,7150617	4,8717695	3,7932510	6,5264198
0:03:51	4,7740000	4,9326667	3,8406667	6,6080000
0:03:51	4,8329383	4,9935638	3,8880823	6,6895802
0:03:58	4,8918765	5,0544609	3,9354979	6,7711605
0:03:59	4,9508148	5,1153580	3,9829136	6,8527407

0:04:00	5,0097531	5,1762551	4,0303292	6,9343210
0:04:04	5,0686914	5,2371523	4,0777449	7,0159012
0:04:05	5,1276296	5,2980494	4,1251605	7,0974815
0:04:08	5,1865679	5,3589465	4,1725761	7,1790617
0:04:14	5,2455062	5,4198436	4,2199918	7,2606420
0:04:16	5,3044444	5,4807407	4,2674074	7,3422222
0:04:23	5,3633827	5,5416379	4,3148230	7,4238025
0:04:25	5,4223210	5,6025350	4,3622387	7,5053827
0:04:26	5,4812593	5,6634321	4,4096543	7,5869630
0:04:34	5,5401975	5,7243292	4,4570700	7,6685432
0:04:35	5,5991358	5,7852263	4,5044856	7,7501235
0:04:36	5,6580741	5,8461235	4,5519012	7,8317037
0:04:42	5,7170123	5,9070206	4,5993169	7,9132839
0:04:43	5,7759506	5,9679177	4,6467325	7,9948642
0:04:47	5,8348889	6,0288148	4,6941481	8,0764444
0:04:54	5,8938272	6,0897119	4,7415638	8,1580247
0:04:55	5,9527654	6,1506091	4,7889794	8,2396049
0:05:01	6,0117037	6,2115062	4,8363951	8,3211852
0:05:02	6,0706420	6,2724033	4,8838107	8,4027654
0:05:03	6,1295802	6,3333004	4,9312263	8,4843457
0:05:08	6,1885185	6,3941975	4,9786420	8,5659259
0:05:08	6,2474568	6,4550947	5,0260576	8,6475062
0:05:12	6,3063951	6,5159918	5,0734733	8,7290864
0:05:16	6,3653333	6,5768889	5,1208889	8,8106667
0:05:17	6,4242716	6,6377860	5,1683045	8,8922469
0:05:27	6,4832099	6,6986831	5,2157202	8,9738272
0:05:28	6,5421481	6,7595802	5,2631358	9,0554074
0:05:29	6,6010864	6,8204774	5,3105514	9,1369877
0:05:35	6,6600247	6,8813745	5,3579671	9,2185679
0:05:36	6,7189630	6,9422716	5,4053827	9,3001481
0:05:38	6,7779012	7,0031687	5,4527984	9,3817284
0:05:46	6,8368395	7,0640658	5,5002140	9,4633086
0:05:47	6,8957778	7,1249630	5,5476296	9,5448889
0:05:49	6,9547160	7,1858601	5,5950453	9,6264691
0:05:50	7,0136543	7,2467572	5,6424609	9,7080494
0:05:51	7,0725926	7,3076543	5,6898765	9,7896296
0:05:56	7,1315309	7,3685514	5,7372922	9,8712099
0:05:58	7,1904691	7,4294486	5,7847078	9,9527901
0:05:59	7,2494074	7,4903457	5,8321235	10,0343704
0:06:05	7,3083457	7,5512428	5,8795391	10,1159506
0:06:06	7,3672840	7,6121399	5,9269547	10,1975309
0:06:08	7,4262222	7,6730370	5,9743704	10,2791111
0:06:10	7,4851605	7,7339342	6,0217860	10,3606914

0:06:10	7,5440988	7,7948313	6,0692016	10,4422716
0:06:13	7,6030370	7,8557284	6,1166173	10,5238519
0:06:14	7,6619753	7,9166255	6,1640329	10,6054321
0:06:14	7,7209136	7,9775226	6,2114486	10,6870123
0:06:18	7,7798519	8,0384198	6,2588642	10,7685926
0:06:19	7,8387901	8,0993169	6,3062798	10,8501728
0:06:20	7,8977284	8,1602140	6,3536955	10,9317531
0:06:24	7,9566667	8,2211111	6,4011111	11,0133333
0:06:25	8,0156049	8,2820082	6,4485267	11,0949136
0:06:26	8,0745432	8,3429053	6,4959424	11,1764938
0:06:27	8,1334815	8,4038025	6,5433580	11,2580741
0:06:28	8,1924198	8,4646996	6,5907737	11,3396543
0:06:33	8,2513580	8,5255967	6,6381893	11,4212346
0:06:36	8,3102963	8,5864938	6,6856049	11,5028148
0:06:38	8,3692346	8,6473909	6,7330206	11,5843951
0:06:43	8,4281728	8,7082881	6,7804362	11,6659753
0:06:44	8,4871111	8,7691852	6,8278519	11,7475556
0:06:54	8,5460494	8,8300823	6,8752675	11,8291358
0:07:08	8,6049877	8,8909794	6,9226831	11,9107160
0:07:11	8,6639259	8,9518765	6,9700988	11,9922963
0:07:24	8,7228642	9,0127737	7,0175144	12,0738765
0:07:27	8,7818025	9,0736708	7,0649300	12,1554568
0:07:29	8,8407407	9,1345679	7,1123457	12,2370370
0:07:40	8,8996790	9,1954650	7,1597613	12,3186173
0:07:45	8,9586173	9,2563621	7,2071770	12,4001975
0:07:46	9,0175556	9,3172593	7,2545926	12,4817778
0:08:05	9,0764938	9,3781564	7,3020082	12,5633580
0:08:07	9,1354321	9,4390535	7,3494239	12,6449383
0:08:10	9,1943704	9,4999506	7,3968395	12,7265185
0:08:19	9,2533086	9,5608477	7,4442551	12,8080988
0:08:21	9,3122469	9,6217449	7,4916708	12,8896790
0:08:34	9,3711852	9,6826420	7,5390864	12,9712593
0:08:37	9,4301235	9,7435391	7,5865021	13,0528395
0:08:39	9,4890617	9,8044362	7,6339177	13,1344198
0:08:49	9,5480000	9,8653333	7,6813333	13,2160000
0:08:51	9,6069383	9,9262305	7,7287490	13,2975802
0:08:54	9,6658765	9,9871276	7,7761646	13,3791605
0:09:01	9,7248148	10,0480247	7,8235802	13,4607407
0:09:03	9,7837531	10,1089218	7,8709959	13,5423210
0:09:06	9,8426914	10,1698189	7,9184115	13,6239012
0:09:11	9,9016296	10,2307160	7,9658272	13,7054815
0:09:12	9,9605679	10,2916132	8,0132428	13,7870617
0:09:21	10,0195062	10,3525103	8,0606584	13,8686420

0:09:25	10,0784444	10,4134074	8,1080741	13,9502222
0:09:27	10,1373827	10,4743045	8,1554897	14,0318025
0:09:35	10,1963210	10,5352016	8,2029053	14,1133827
0:09:38	10,2552593	10,5960988	8,2503210	14,1949630
0:09:40	10,3141975	10,6569959	8,2977366	14,2765432
0:09:54	10,3731358	10,7178930	8,3451523	14,3581235
0:09:57	10,4320741	10,7787901	8,3925679	14,4397037
0:10:04	10,4910123	10,8396872	8,4399835	14,5212839
0:10:14	10,5499506	10,9005844	8,4873992	14,6028642
0:10:16	10,6088889	10,9614815	8,5348148	14,6844444
0:10:22	10,6678272	11,0223786	8,5822305	14,7660247
0:10:38	10,7267654	11,0832757	8,6296461	14,8476049
0:10:41	10,7857037	11,1441728	8,6770617	14,9291852
0:11:00	10,8446420	11,2050700	8,7244774	15,0107654
0:11:10	10,9035802	11,2659671	8,7718930	15,0923457
0:11:15	10,9625185	11,3268642	8,8193086	15,1739259
0:11:39	11,0214568	11,3877613	8,8667243	15,2555062
0:11:46	11,0803951	11,4486584	8,9141399	15,3370864
0:11:50	11,1393333	11,5095556	8,9615556	15,4186667
0:12:08	11,1982716	11,5704527	9,0089712	15,5002469
0:12:10	11,2572099	11,6313498	9,0563868	15,5818272
0:12:17	11,3161481	11,6922469	9,1038025	15,6634074
0:12:40	11,3750864	11,7531440	9,1512181	15,7449877
0:12:44	11,4340247	11,8140412	9,1986337	15,8265679
0:12:51	11,4929630	11,8749383	9,2460494	15,9081481
0:13:23	11,5519012	11,9358354	9,2934650	15,9897284
0:13:31	11,6108395	11,9967325	9,3408807	16,0713086
0:13:56	11,6697778	12,0576296	9,3882963	16,1528889
0:14:04	11,7287160	12,1185267	9,4357119	16,2344691
0:14:08	11,7876543	12,1794239	9,4831276	16,3160494
0:14:45	11,8465926	12,2403210	9,5305432	16,3976296
0:14:51	11,9055309	12,3012181	9,5779588	16,4792099
0:14:58	11,9644691	12,3621152	9,6253745	16,5607901
0:15:26	12,0234074	12,4230123	9,6727901	16,6423704
0:15:30	12,0823457	12,4839095	9,7202058	16,7239506
0:15:41	12,1412839	12,5448066	9,7676214	16,8055309
0:15:56	12,2002222	12,6057037	9,8150370	16,8871111
0:16:04	12,2591605	12,6666008	9,8624527	16,9686914
0:16:36	12,3180988	12,7274979	9,9098683	17,0502716
0:17:05	12,3770370	12,7883951	9,9572840	17,1318518
0:17:12	12,4359753	12,8492922	10,0046996	17,2134321
0:18:12	12,4949136	12,9101893	10,0521152	17,2950123
0:18:39	12,5538519	12,9710864	10,0995309	17,3765926

0:18:51	12,6127901	13,0319835	10,1469465	17,4581728
0:20:07	12,6717284	13,0928807	10,1943621	17,5397531
0:20:24	12,7306667	13,1537778	10,2417778	17,6213333
0:20:41	12,7896049	13,2146749	10,2891934	17,7029136
0:22:09	12,8485432	13,2755720	10,3366091	17,7844938
0:22:22	12,9074815	13,3364691	10,3840247	17,8660741
0:22:47	12,9664198	13,3973663	10,4314403	17,9476543
0:24:45	13,0253580	13,4582634	10,4788560	18,0292346
0:25:14	13,0842963	13,5191605	10,5262716	18,1108148
0:26:35	13,1432346	13,5800576	10,5736872	18,1923951
0:28:19	13,2021728	13,6409547	10,6211029	18,2739753
0:28:41	13,2611111	13,7018519	10,6685185	18,3555556
0:30:51	13,3200494	13,7627490	10,7159342	18,4371358
0:31:14	13,3789877	13,8236461	10,7633498	18,5187160
0:31:28	13,4379259	13,8845432	10,8107654	18,6002963
0:33:54	13,4968642	13,9454403	10,8581811	18,6818765
0:34:21	13,5558025	14,0063374	10,9055967	18,7634568
0:34:52	13,6147407	14,0672346	10,9530123	18,8450370
0:37:22	13,6736790	14,1281317	11,0004280	18,9266173
0:38:01	13,7326173	14,1890288	11,0478436	19,0081975
0:38:56	13,7915556	14,2499259	11,0952593	19,0897778
0:42:14	13,8504938	14,3108230	11,1426749	19,1713580
0:42:46	13,9094321	14,3717202	11,1900905	19,2529383
0:44:57	13,9683704	14,4326173	11,2375062	19,3345185
0:49:57	14,0273086	14,4935144	11,2849218	19,4160988
0:51:22	14,0862469	14,5544115	11,3323374	19,4976790
0:52:43	14,1451852	14,6153086	11,3797531	19,5792593
0:57:43	14,2041235	14,6762058	11,4271687	19,6608395
1:02:43	14,2630617	14,7371029	11,4745844	19,7424197
1:05:58	14,2995143	14,7747670	11,5037389	19,7904564
1:07:57	14,3359668	14,8124311	11,5328934	19,8384930
1:12:57	14,3724194	14,8500952	11,5620479	19,8865296
1:17:57	14,4088719	14,8877594	11,5912024	19,9345662
1:22:57	14,4453245	14,9254235	11,6203569	19,9826028
1:27:57	14,4817770	14,9630876	11,6495115	20,0306394
1:31:32	14,5182296	15,0007517	11,6786660	20,0786760
1:36:32	14,5546821	15,0384158	11,7078205	20,1267126
1:41:32	14,5911347	15,0760800	11,7369750	20,1747492
1:46:33	14,6275872	15,1137441	11,7661295	20,2227858
1:51:33	14,6640398	15,1514082	11,7952840	20,2708224
1:56:33	14,7004923	15,1890723	11,8244385	20,3188590
2:01:33	14,7369449	15,2267364	11,8535931	20,3668956
2:04:39	14,7733974	15,2644006	11,8827476	20,4149322

2:09:39	14,8098500	15,3020647	11,9119021	20,4629688
2:14:39	14,8463025	15,3397288	11,9410566	20,5110054
2:19:39	14,8827551	15,3773929	11,9702111	20,5590420
2:24:39	14,9192076	15,4150570	11,9993656	20,6070786
2:29:39	14,9556602	15,4527212	12,0285201	20,6551152
2:34:39	14,9921127	15,4903853	12,0576747	20,7031518
2:39:39	15,0285653	15,5280494	12,0868292	20,7511884
2:44:39	15,0650178	15,5657135	12,1159837	20,7992251
2:49:39	15,1014704	15,6033776	12,1451382	20,8472617
2:54:39	15,1379230	15,6410418	12,1742927	20,8952983
2:59:39	15,1743755	15,6787059	12,2034472	20,9433349
3:04:39	15,2108281	15,7163700	12,2326018	20,9913715
3:09:39	15,2472806	15,7540341	12,2617563	21,0394081
3:14:39	15,2837332	15,7916982	12,2909108	21,0874447
3:19:39	15,3201857	15,8293624	12,3200653	21,1354813
3:24:39	15,3566383	15,8670265	12,3492198	21,1835179
3:29:39	15,3930908	15,9046906	12,3783743	21,2315545
3:34:39	15,4295434	15,9423547	12,4075288	21,2795911
3:39:39	15,4659959	15,9800188	12,4366834	21,3276277
3:44:40	15,5024485	16,0176830	12,4658379	21,3756643
3:49:40	15,5389010	16,0553471	12,4949924	21,4237009
3:54:40	15,5753536	16,0930112	12,5241469	21,4717375
3:59:40	15,6118061	16,1306753	12,5533014	21,5197741
4:04:40	15,6482587	16,1683394	12,5824559	21,5678107
4:09:40	15,6847112	16,2060036	12,6116104	21,6158473
4:14:40	15,7211638	16,2436677	12,6407650	21,6638839
4:19:40	15,7576163	16,2813318	12,6699195	21,7119205
4:24:40	15,7940689	16,3189959	12,6990740	21,7599571
4:29:40	15,8305214	16,3566600	12,7282285	21,8079937
4:34:40	15,8669740	16,3943242	12,7573830	21,8560304
4:39:40	15,9034265	16,4319883	12,7865375	21,9040670
4:44:40	15,9398791	16,4696524	12,8156921	21,9521036
4:49:40	15,9763316	16,5073165	12,8448466	22,0001402
4:54:40	16,0127842	16,5449807	12,8740011	22,0481768
4:59:40	16,0492367	16,5826448	12,9031556	22,0962134
5:04:40	16,0856893	16,6203089	12,9323101	22,1442500
5:09:40	16,1221418	16,6579730	12,9614646	22,1922866
5:14:40	16,1585944	16,6956371	12,9906191	22,2403232
5:19:40	16,1950469	16,7333013	13,0197737	22,2883598
5:24:40	16,2314995	16,7709654	13,0489282	22,3363964
5:29:40	16,2679520	16,8086295	13,0780827	22,3844330
5:34:40	16,3044046	16,8462936	13,1072372	22,4324696
5:39:40	16,3408571	16,8839577	13,1363917	22,4805062

5:44:40	16,3773097	16,9216219	13,1655462	22,5285428
5:49:40	16,4137622	16,9592860	13,1947007	22,5765794
5:54:40	16,4502148	16,9969501	13,2238553	22,6246160
5:59:40	16,4866673	17,0346142	13,2530098	22,6726526
6:04:40	16,5231199	17,0722783	13,2821643	22,7206892
6:09:40	16,5595724	17,1099425	13,3113188	22,7687258
6:14:40	16,5960250	17,1476066	13,3404733	22,8167624
6:19:41	16,6324775	17,1852707	13,3696278	22,8647990
6:24:41	16,6689301	17,2229348	13,3987824	22,9128357
6:29:41	16,7053826	17,2605989	13,4279369	22,9608723
6:34:41	16,7418352	17,2982631	13,4570914	23,0089089
6:39:41	16,7782877	17,3359272	13,4862459	23,0569455
6:44:41	16,8147403	17,3735913	13,5154004	23,1049821
6:49:41	16,8511928	17,4112554	13,5445549	23,1530187
6:54:41	16,8876454	17,4489195	13,5737094	23,2010553
6:59:41	16,9240980	17,4865837	13,6028640	23,2490919
7:04:41	16,9605505	17,5242478	13,6320185	23,2971285
7:09:41	16,9970031	17,5619119	13,6611730	23,3451651
7:14:41	17,0334556	17,5995760	13,6903275	23,3932017
7:19:41	17,0699082	17,6372401	13,7194820	23,4412383
7:24:41	17,1063607	17,6749043	13,7486365	23,4892749
7:29:41	17,1428133	17,7125684	13,7777910	23,5373115
7:34:41	17,1792658	17,7502325	13,8069456	23,5853481
7:39:41	17,2157184	17,7878966	13,8361001	23,6333847
7:44:41	17,2521709	17,8255607	13,8652546	23,6814213
7:49:41	17,2886235	17,8632249	13,8944091	23,7294579
7:54:41	17,3250760	17,9008890	13,9235636	23,7774945
7:59:41	17,3615286	17,9385531	13,9527181	23,8255311
8:04:42	17,3979811	17,9762172	13,9818727	23,8735677
8:09:42	17,4344337	18,0138813	14,0110272	23,9216044
8:14:42	17,4708862	18,0515455	14,0401817	23,9696410
8:19:42	17,5073388	18,0892096	14,0693362	24,0176776
8:24:42	17,5437913	18,1268737	14,0984907	24,0657142
8:29:42	17,5802439	18,1645378	14,1276452	24,1137508
8:34:42	17,6166964	18,2022019	14,1567997	24,1617874
8:39:42	17,6531490	18,2398661	14,1859543	24,2098240
8:44:42	17,6896015	18,2775302	14,2151088	24,2578606
8:49:42	17,7260541	18,3151943	14,2442633	24,3058972
8:54:42	17,7625066	18,3528584	14,2734178	24,3539338
8:59:42	17,7989592	18,3905225	14,3025723	24,4019704
9:04:42	17,8354117	18,4281867	14,3317268	24,4500070
9:09:42	17,8718643	18,4658508	14,3608813	24,4980436
9:14:42	17,9083168	18,5035149	14,3900359	24,5460802

9:19:42	17,9447694	18,5411790	14,4191904	24,5941168
9:24:42	17,9812219	18,5788431	14,4483449	24,6421534
9:29:42	18,0176745	18,6165073	14,4774994	24,6901900
9:34:42	18,0541270	18,6541714	14,5066539	24,7382266
9:39:42	18,0905796	18,6918355	14,5358084	24,7862632
9:44:42	18,1270321	18,7294996	14,5649630	24,8342998
9:49:42	18,1634847	18,7671637	14,5941175	24,8823364
9:54:42	18,1999372	18,8048279	14,6232720	24,9303730
9:59:42	18,2363898	18,8424920	14,6524265	24,9784097
10:04:42	18,2728423	18,8801561	14,6815810	25,0264463
10:09:43	18,3092949	18,9178202	14,7107355	25,0744829
10:14:43	18,3457474	18,9554843	14,7398900	25,1225195
10:19:43	18,3822000	18,9931485	14,7690446	25,1705561
10:24:43	18,4186525	19,0308126	14,7981991	25,2185927
10:29:43	18,4551051	19,0684767	14,8273536	25,2666293
10:34:43	18,4915576	19,1061408	14,8565081	25,3146659
10:39:43	18,5280102	19,1438049	14,8856626	25,3627025
10:44:43	18,5644627	19,1814691	14,9148171	25,4107391
10:49:43	18,6009153	19,2191332	14,9439716	25,4587757
10:54:43	18,6373678	19,2567973	14,9731262	25,5068123
10:59:43	18,6738204	19,2944614	15,0022807	25,5548489
11:04:43	18,7102729	19,3321255	15,0314352	25,6028855
11:09:43	18,7467255	19,3697897	15,0605897	25,6509221
11:14:43	18,7831781	19,4074538	15,0897442	25,6989587
11:19:43	18,8196306	19,4451179	15,1188987	25,7469953
11:24:43	18,8560832	19,4827820	15,1480532	25,7950319
11:29:43	18,8925357	19,5204461	15,1772078	25,8430685
11:34:43	18,9289883	19,5581103	15,2063623	25,8911051
11:39:43	18,9654408	19,5957744	15,2355168	25,9391417
11:44:43	19,0018934	19,6334385	15,2646713	25,9871783
11:49:43	19,0383459	19,6711026	15,2938258	26,0352150
11:54:43	19,0747985	19,7087667	15,3229803	26,0832516
11:59:43	19,1112510	19,7464309	15,3521349	26,1312882
12:04:43	19,1477036	19,7840950	15,3812894	26,1793248
12:09:43	19,1841561	19,8217591	15,4104439	26,2273614
12:14:43	19,2206087	19,8594232	15,4395984	26,2753980
12:19:43	19,2570612	19,8970874	15,4687529	26,3234346
12:24:43	19,2935138	19,9347515	15,4979074	26,3714712
12:29:44	19,3299663	19,9724156	15,5270619	26,4195078
12:34:44	19,3664189	20,0100797	15,5562165	26,4675444
12:39:44	19,4028714	20,0477438	15,5853710	26,5155810
12:44:44	19,4393240	20,0854080	15,6145255	26,5636176
12:49:44	19,4757765	20,1230721	15,6436800	26,6116542

12:54:44	19,5122291	20,1607362	15,6728345	26,6596908
12:59:44	19,5486816	20,1984003	15,7019890	26,7077274
13:04:44	19,5851342	20,2360644	15,7311435	26,7557640
13:09:44	19,6215867	20,2737286	15,7602981	26,8038006
13:14:44	19,6580393	20,3113927	15,7894526	26,8518372
13:19:44	19,6944918	20,3490568	15,8186071	26,8998738
13:24:44	19,7309444	20,3867209	15,8477616	26,9479104
13:29:44	19,7673969	20,4243850	15,8769161	26,9959470
13:34:44	19,8038495	20,4620492	15,9060706	27,0439836
13:39:44	19,8403020	20,4997133	15,9352252	27,0920203
13:44:44	19,8767546	20,5373774	15,9643797	27,1400569
13:49:44	19,9132071	20,5750415	15,9935342	27,1880935
13:54:44	19,9496597	20,6127056	16,0226887	27,2361301
13:59:44	19,9861122	20,6503698	16,0518432	27,2841667
14:04:44	20,0225648	20,6880339	16,0809977	27,3322033
14:09:44	20,0590173	20,7256980	16,1101522	27,3802399
14:14:44	20,0954699	20,7633621	16,1393068	27,4282765
14:19:44	20,1319224	20,8010262	16,1684613	27,4763131
14:24:44	20,1683750	20,8386904	16,1976158	27,5243497
14:29:44	20,2048275	20,8763545	16,2267703	27,5723863
14:34:44	20,2412801	20,9140186	16,2559248	27,6204229
14:39:45	20,2777326	20,9516827	16,2850793	27,6684595
14:44:45	20,3141852	20,9893468	16,3142338	27,7298476
14:49:45	20,3506377	21,0270110	16,3433884	27,8000000
14:54:45	20,3870903	21,0646751	16,3725429	27,9317568
14:59:45	20,4235428	21,1023392	16,4016974	28,0000000
15:04:45	20,4599954	21,1184735	16,4308519	28,1871893
15:09:45	20,4599954	21,1313490	16,4600064	28,2000000
15:14:15	20,4613215	21,1434390	16,4623456	28,3239858

FUENTE: Q-Max.

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

**ANEXO 3**  
**PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA LA**  
**FORMACIÓN TENA**

TIEMPO	FORMULACIÓN 1	FORMULACIÓN 2	FORMULACIÓN 3	AGUA
0:00:00	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
0:00:37	0,0445062	0,0501235	0,0391193	0,0685021
0:00:40	0,0890123	0,1002469	0,0782387	0,1370041
0:00:41	0,1335185	0,1503704	0,1173580	0,2055062
0:00:42	0,1780247	0,2004938	0,1564774	0,2740082
0:00:46	0,2225309	0,2506173	0,1955967	0,3425103
0:00:47	0,2670370	0,3007407	0,2347160	0,4110123
0:00:48	0,3115432	0,3508642	0,2738354	0,4795144
0:00:51	0,3560494	0,4009877	0,3129547	0,5480165
0:00:51	0,4005556	0,4511111	0,3520741	0,6165185
0:00:56	0,4450617	0,5012346	0,3911934	0,6850206
0:00:57	0,4895679	0,5513580	0,4303128	0,7535226
0:00:57	0,5340741	0,6014815	0,4694321	0,8220247
0:01:00	0,5785802	0,6516049	0,5085514	0,8905267
0:01:01	0,6230864	0,7017284	0,5476708	0,9590288
0:01:04	0,6675926	0,7518519	0,5867901	1,0275309
0:01:07	0,7120988	0,8019753	0,6259095	1,0960329
0:01:07	0,7566049	0,8520988	0,6650288	1,1645350
0:01:10	0,8011111	0,9022222	0,7041481	1,2330370
0:01:11	0,8456173	0,9523457	0,7432675	1,3015391
0:01:11	0,8901235	1,0024691	0,7823868	1,3700412
0:01:15	0,9346296	1,0525926	0,8215062	1,4385432
0:01:16	0,9791358	1,1027160	0,8606255	1,5070453
0:01:17	1,0236420	1,1528395	0,8997449	1,5755473
0:01:26	1,0681481	1,2029630	0,9388642	1,6440494
0:01:28	1,1126543	1,2530864	0,9779835	1,7125514
0:01:31	1,1571605	1,3032099	1,0171029	1,7810535
0:01:37	1,2016667	1,3533333	1,0562222	1,8495556
0:01:37	1,2461728	1,4034568	1,0953416	1,9180576
0:01:39	1,2906790	1,4535802	1,1344609	1,9865597
0:01:41	1,3351852	1,5037037	1,1735802	2,0550617
0:01:41	1,3796914	1,5538272	1,2126996	2,1235638
0:01:46	1,4241975	1,6039506	1,2518189	2,1920658
0:01:46	1,4687037	1,6540741	1,2909383	2,2605679
0:01:48	1,5132099	1,7041975	1,3300576	2,3290700
0:01:52	1,5577160	1,7543210	1,3691770	2,3975720
0:01:52	1,6022222	1,8044444	1,4082963	2,4660741
0:01:54	1,6467284	1,8545679	1,4474156	2,5345761
0:01:57	1,6912346	1,9046914	1,4865350	2,6030782
0:01:58	1,7357407	1,9548148	1,5256543	2,6715802
0:02:02	1,7802469	2,0049383	1,5647737	2,7400823
0:02:03	1,8247531	2,0550617	1,6038930	2,8085844

0:02:05	1,8692593	2,1051852	1,6430123	2,8770864
0:02:09	1,9137654	2,1553086	1,6821317	2,9455885
0:02:09	1,9582716	2,2054321	1,7212510	3,0140905
0:02:12	2,0027778	2,2555556	1,7603704	3,0825926
0:02:13	2,0472840	2,3056790	1,7994897	3,1510947
0:02:14	2,0917901	2,3558025	1,8386091	3,2195967
0:02:18	2,1362963	2,4059259	1,8777284	3,2880988
0:02:19	2,1808025	2,4560494	1,9168477	3,3566008
0:02:21	2,2253086	2,5061728	1,9559671	3,4251029
0:02:28	2,2698148	2,5562963	1,9950864	3,4936049
0:02:29	2,3143210	2,6064197	2,0342058	3,5621070
0:02:31	2,3588272	2,6565432	2,0733251	3,6306091
0:02:33	2,4033333	2,7066667	2,1124444	3,6991111
0:02:34	2,4478395	2,7567901	2,1515638	3,7676132
0:02:38	2,4923457	2,8069136	2,1906831	3,8361152
0:02:39	2,5368519	2,8570370	2,2298025	3,9046173
0:02:40	2,5813580	2,9071605	2,2689218	3,9731193
0:02:46	2,6258642	2,9572839	2,3080412	4,0416214
0:02:47	2,6703704	3,0074074	2,3471605	4,1101235
0:02:53	2,7148765	3,0575309	2,3862798	4,1786255
0:03:01	2,7593827	3,1076543	2,4253992	4,2471276
0:03:02	2,8038889	3,1577778	2,4645185	4,3156296
0:03:08	2,8483951	3,2079012	2,5036379	4,3841317
0:03:11	2,8929012	3,2580247	2,5427572	4,4526337
0:03:13	2,9374074	3,3081481	2,5818765	4,5211358
0:03:18	2,9819136	3,3582716	2,6209959	4,5896379
0:03:18	3,0264198	3,4083951	2,6601152	4,6581399
0:03:20	3,0709259	3,4585185	2,6992346	4,7266420
0:03:24	3,1154321	3,5086420	2,7383539	4,7951440
0:03:24	3,1599383	3,5587654	2,7774733	4,8636461
0:03:29	3,2044444	3,6088889	2,8165926	4,9321481
0:03:30	3,2489506	3,6590123	2,8557119	5,0006502
0:03:31	3,2934568	3,7091358	2,8948313	5,0691523
0:03:36	3,3379630	3,7592593	2,9339506	5,1376543
0:03:37	3,3824691	3,8093827	2,9730700	5,2061564
0:03:40	3,4269753	3,8595062	3,0121893	5,2746584
0:03:45	3,4714815	3,9096296	3,0513086	5,3431605
0:03:45	3,5159877	3,9597531	3,0904280	5,4116626
0:03:50	3,5604938	4,0098765	3,1295473	5,4801646
0:03:51	3,6050000	4,0600000	3,1686667	5,5486667
0:03:51	3,6495062	4,1101234	3,2077860	5,6171687
0:03:58	3,6940123	4,1602469	3,2469053	5,6856708
0:03:59	3,7385185	4,2103704	3,2860247	5,7541728

0:04:00	3,7830247	4,2604938	3,3251440	5,8226749
0:04:04	3,8275309	4,3106173	3,3642634	5,8911770
0:04:05	3,8720370	4,3607407	3,4033827	5,9596790
0:04:08	3,9165432	4,4108642	3,4425021	6,0281811
0:04:14	3,9610494	4,4609876	3,4816214	6,0966831
0:04:16	4,0055556	4,5111111	3,5207407	6,1651852
0:04:23	4,0500617	4,5612346	3,5598601	6,2336872
0:04:25	4,0945679	4,6113580	3,5989794	6,3021893
0:04:26	4,1390741	4,6614815	3,6380988	6,3706914
0:04:34	4,1835802	4,7116049	3,6772181	6,4391934
0:04:35	4,2280864	4,7617284	3,7163374	6,5076955
0:04:36	4,2725926	4,8118518	3,7554568	6,5761975
0:04:42	4,3170988	4,8619753	3,7945761	6,6446996
0:04:43	4,3616049	4,9120988	3,8336955	6,7132016
0:04:47	4,4061111	4,9622222	3,8728148	6,7817037
0:04:54	4,4506173	5,0123457	3,9119342	6,8502058
0:04:55	4,4951235	5,0624691	3,9510535	6,9187078
0:05:01	4,5396296	5,1125926	3,9901728	6,9872099
0:05:02	4,5841358	5,1627160	4,0292922	7,0557119
0:05:03	4,6286420	5,2128395	4,0684115	7,1242140
0:05:08	4,6731481	5,2629630	4,1075309	7,1927160
0:05:08	4,7176543	5,3130864	4,1466502	7,2612181
0:05:12	4,7621605	5,3632099	4,1857695	7,3297202
0:05:16	4,8066667	5,4133333	4,2248889	7,3982222
0:05:17	4,8511728	5,4634568	4,2640082	7,4667243
0:05:27	4,8956790	5,5135802	4,3031276	7,5352263
0:05:28	4,9401852	5,5637037	4,3422469	7,6037284
0:05:29	4,9846914	5,6138272	4,3813663	7,6722305
0:05:35	5,0291975	5,6639506	4,4204856	7,7407325
0:05:36	5,0737037	5,7140741	4,4596049	7,8092346
0:05:38	5,1182099	5,7641975	4,4987243	7,8777366
0:05:46	5,1627160	5,8143210	4,5378436	7,9462387
0:05:47	5,2072222	5,8644444	4,5769630	8,0147407
0:05:49	5,2517284	5,9145679	4,6160823	8,0832428
0:05:50	5,2962346	5,9646913	4,6552016	8,1517449
0:05:51	5,3407407	6,0148148	4,6943210	8,2202469
0:05:56	5,3852469	6,0649383	4,7334403	8,2887490
0:05:58	5,4297531	6,1150617	4,7725597	8,3572510
0:05:59	5,4742593	6,1651852	4,8116790	8,4257531
0:06:05	5,5187654	6,2153086	4,8507984	8,4942551
0:06:06	5,5632716	6,2654321	4,8899177	8,5627572
0:06:08	5,6077778	6,3155555	4,9290370	8,6312593
0:06:10	5,6522839	6,3656790	4,9681564	8,6997613

0:06:10	5,6967901	6,4158025	5,0072757	8,7682634
0:06:13	5,7412963	6,4659259	5,0463951	8,8367654
0:06:14	5,7858025	6,5160494	5,0855144	8,9052675
0:06:14	5,8303086	6,5661728	5,1246337	8,9737695
0:06:18	5,8748148	6,6162963	5,1637531	9,0422716
0:06:19	5,9193210	6,6664197	5,2028724	9,1107737
0:06:20	5,9638272	6,7165432	5,2419918	9,1792757
0:06:24	6,0083333	6,7666667	5,2811111	9,2477778
0:06:25	6,0528395	6,8167901	5,3202305	9,3162798
0:06:26	6,0973457	6,8669136	5,3593498	9,3847819
0:06:27	6,1418519	6,9170370	5,3984691	9,4532840
0:06:28	6,1863580	6,9671605	5,4375885	9,5217860
0:06:33	6,2308642	7,0172839	5,4767078	9,5902881
0:06:36	6,2753704	7,0674074	5,5158272	9,6587901
0:06:38	6,3198765	7,1175309	5,5549465	9,7272922
0:06:43	6,3643827	7,1676543	5,5940658	9,7957942
0:06:44	6,4088889	7,2177778	5,6331852	9,8642963
0:06:54	6,4533951	7,2679012	5,6723045	9,9327984
0:07:08	6,4979012	7,3180247	5,7114239	10,0013004
0:07:11	6,5424074	7,3681481	5,7505432	10,0698025
0:07:24	6,5869136	7,4182716	5,7896626	10,1383045
0:07:27	6,6314198	7,4683950	5,8287819	10,2068066
0:07:29	6,6759259	7,5185185	5,8679012	10,2753086
0:07:40	6,7204321	7,5686420	5,9070206	10,3438107
0:07:45	6,7649383	7,6187654	5,9461399	10,4123128
0:07:46	6,8094444	7,6688889	5,9852593	10,4808148
0:08:05	6,8539506	7,7190123	6,0243786	10,5493169
0:08:07	6,8984568	7,7691358	6,0634979	10,6178189
0:08:10	6,9429630	7,8192592	6,1026173	10,6863210
0:08:19	6,9874691	7,8693827	6,1417366	10,7548230
0:08:21	7,0319753	7,9195062	6,1808560	10,8233251
0:08:34	7,0764815	7,9696296	6,2199753	10,8918272
0:08:37	7,1209877	8,0197531	6,2590946	10,9603292
0:08:39	7,1654938	8,0698765	6,2982140	11,0288313
0:08:49	7,2100000	8,1200000	6,3373333	11,0973333
0:08:51	7,2545062	8,1701234	6,3764527	11,1658354
0:08:54	7,2990123	8,2202469	6,4155720	11,2343374
0:09:01	7,3435185	8,2703704	6,4546914	11,3028395
0:09:03	7,3880247	8,3204938	6,4938107	11,3713416
0:09:06	7,4325309	8,3706173	6,5329300	11,4398436
0:09:11	7,4770370	8,4207407	6,5720494	11,5083457
0:09:12	7,5215432	8,4708642	6,6111687	11,5768477
0:09:21	7,5660494	8,5209876	6,6502881	11,6453498

0:09:25	7,6105556	8,5711111	6,6894074	11,7138519
0:09:27	7,6550617	8,6212346	6,7285267	11,7823539
0:09:35	7,6995679	8,6713580	6,7676461	11,8508560
0:09:38	7,7440741	8,7214815	6,8067654	11,9193580
0:09:40	7,7885802	8,7716049	6,8458848	11,9878601
0:09:54	7,8330864	8,8217284	6,8850041	12,0563621
0:09:57	7,8775926	8,8718518	6,9241235	12,1248642
0:10:04	7,9220988	8,9219753	6,9632428	12,1933663
0:10:14	7,9666049	8,9720987	7,0023621	12,2618683
0:10:16	8,0111111	9,0222222	7,0414815	12,3303704
0:10:22	8,0556173	9,0723457	7,0806008	12,3988724
0:10:38	8,1001235	9,1224691	7,1197202	12,4673745
0:10:41	8,1446296	9,1725926	7,1588395	12,5358765
0:11:00	8,1891358	9,2227160	7,1979588	12,6043786
0:11:10	8,2336420	9,2728395	7,2370782	12,6728807
0:11:15	8,2781481	9,3229629	7,2761975	12,7413827
0:11:39	8,3226543	9,3730864	7,3153169	12,8098848
0:11:46	8,3671605	9,4232099	7,3544362	12,8783868
0:11:50	8,4116667	9,4733333	7,3935556	12,9468889
0:12:08	8,4561728	9,5234568	7,4326749	13,0153909
0:12:10	8,5006790	9,5735802	7,4717942	13,0838930
0:12:17	8,5451852	9,6237037	7,5109136	13,1523951
0:12:40	8,5896914	9,6738271	7,5500329	13,2208971
0:12:44	8,6341975	9,7239506	7,5891523	13,2893992
0:12:51	8,6787037	9,7740741	7,6282716	13,3579012
0:13:23	8,7232099	9,8241975	7,6673909	13,4264033
0:13:31	8,7677160	9,8743210	7,7065103	13,4949053
0:13:56	8,8122222	9,9244444	7,7456296	13,5634074
0:14:04	8,8567284	9,9745679	7,7847490	13,6319095
0:14:08	8,9012346	10,0246913	7,8238683	13,7004115
0:14:45	8,9457407	10,0748148	7,8629877	13,7689136
0:14:51	8,9902469	10,1249383	7,9021070	13,8374156
0:14:58	9,0347531	10,1750617	7,9412263	13,9059177
0:15:26	9,0792593	10,2251852	7,9803457	13,9744198
0:15:30	9,1237654	10,2753086	8,0194650	14,0429218
0:15:41	9,1682716	10,3254321	8,0585844	14,1114239
0:15:56	9,2127778	10,3755555	8,0977037	14,1799259
0:16:04	9,2572839	10,4256790	8,1368230	14,2484280
0:16:36	9,3017901	10,4758025	8,1759424	14,3169300
0:17:05	9,3462963	10,5259259	8,2150617	14,3854321
0:17:12	9,3908025	10,5760494	8,2541811	14,4539342
0:18:12	9,4353086	10,6261728	8,2933004	14,5224362
0:18:39	9,4798148	10,6762963	8,3324198	14,5909383

0:18:51	9,5243210	10,7264197	8,3715391	14,6594403
0:20:07	9,5688272	10,7765432	8,4106584	14,7279424
0:20:24	9,6133333	10,8266666	8,4497778	14,7964444
0:20:41	9,6578395	10,8767901	8,4888971	14,8649465
0:22:09	9,7023457	10,9269136	8,5280165	14,9334486
0:22:22	9,7468518	10,9770370	8,5671358	15,0019506
0:22:47	9,7913580	11,0271605	8,6062551	15,0704527
0:24:45	9,8358642	11,0772839	8,6453745	15,1389547
0:25:14	9,8803704	11,1274074	8,6844938	15,2074568
0:26:35	9,9248765	11,1775308	8,7236132	15,2759588
0:28:19	9,9693827	11,2276543	8,7627325	15,3444609
0:28:41	10,0138889	11,2777778	8,8018519	15,4129630
0:30:51	10,0583951	11,3279012	8,8409712	15,4814650
0:31:14	10,1029012	11,3780247	8,8800905	15,5499671
0:31:28	10,1474074	11,4281481	8,9192099	15,6184691
0:33:54	10,1919136	11,4782716	8,9583292	15,6869712
0:34:21	10,2364198	11,5283950	8,9974486	15,7554733
0:34:52	10,2809259	11,5785185	9,0365679	15,8239753
0:37:22	10,3254321	11,6286420	9,0756872	15,8924774
0:38:01	10,3699383	11,6787654	9,1148066	15,9609794
0:38:56	10,4144444	11,7288889	9,1539259	16,0294815
0:42:14	10,4589506	11,7790123	9,1930453	16,0979835
0:42:46	10,5034568	11,8291358	9,2321646	16,1664856
0:44:57	10,5479630	11,8792592	9,2712839	16,2349877
0:49:57	10,5924691	11,9293827	9,3104033	16,3034897
0:51:22	10,6369753	11,9795062	9,3495226	16,3719918
0:52:43	10,6814815	12,0296296	9,3886420	16,4404938
0:57:43	10,7259877	12,0797531	9,4277613	16,5089959
1:02:43	10,7704938	12,1298765	9,4668807	16,5774979
1:05:58	10,7980203	12,1606959	9,4909340	16,6196178
1:07:57	10,8255468	12,1915153	9,5149873	16,6617377
1:12:57	10,8530733	12,2223348	9,5390407	16,7038576
1:17:57	10,8805998	12,2531542	9,5630940	16,7459775
1:22:57	10,9081262	12,2839736	9,5871473	16,7880974
1:27:57	10,9356527	12,3147930	9,6112006	16,8302173
1:31:32	10,9631792	12,3456124	9,6352540	16,8723372
1:36:32	10,9907057	12,3764318	9,6593073	16,9144571
1:41:32	11,0182322	12,4072512	9,6833606	16,9565770
1:46:33	11,0457586	12,4380707	9,7074140	16,9986969
1:51:33	11,0732851	12,4688901	9,7314673	17,0408168
1:56:33	11,1008116	12,4997095	9,7555206	17,0829367
2:01:33	11,1283381	12,5305289	9,7795740	17,1250566
2:04:39	11,1558646	12,5613483	9,8036273	17,1671764

2:09:39	11,1833911	12,5921677	9,8276806	17,2092963
2:14:39	11,2109175	12,6229871	9,8517340	17,2514162
2:19:39	11,2384440	12,6538066	9,8757873	17,2935361
2:24:39	11,2659705	12,6846260	9,8998406	17,3356560
2:29:39	11,2934970	12,7154454	9,9238940	17,3777759
2:34:39	11,3210235	12,7462648	9,9479473	17,4198958
2:39:39	11,3485499	12,7770842	9,9720006	17,4620157
2:44:39	11,3760764	12,8079036	9,9960540	17,5041356
2:49:39	11,4036029	12,8387230	10,0201073	17,5462555
2:54:39	11,4311294	12,8695425	10,0441606	17,5883754
2:59:39	11,4586559	12,9003619	10,0682140	17,6304953
3:04:39	11,4861824	12,9311813	10,0922673	17,6726152
3:09:39	11,5137088	12,9620007	10,1163206	17,7147351
3:14:39	11,5412353	12,9928201	10,1403740	17,7568550
3:19:39	11,5687618	13,0236395	10,1644273	17,7989748
3:24:39	11,5962883	13,0544589	10,1884806	17,8410947
3:29:39	11,6238148	13,0852784	10,2125339	17,8832146
3:34:39	11,6513413	13,1160978	10,2365873	17,9253345
3:39:39	11,6788677	13,1469172	10,2606406	17,9674544
3:44:40	11,7063942	13,1777366	10,2846939	18,0095743
3:49:40	11,7339207	13,2085560	10,3087473	18,0516942
3:54:40	11,7614472	13,2393754	10,3328006	18,0938141
3:59:40	11,7889737	13,2701948	10,3568539	18,1359340
4:04:40	11,8165001	13,3010143	10,3809073	18,1780539
4:09:40	11,8440266	13,3318337	10,4049606	18,2201738
4:14:40	11,8715531	13,3626531	10,4290139	18,2622937
4:19:40	11,8990796	13,3934725	10,4530673	18,3044136
4:24:40	11,9266061	13,4242919	10,4771206	18,3465335
4:29:40	11,9541326	13,4551113	10,5011739	18,3886534
4:34:40	11,9816590	13,4859307	10,5252273	18,4307733
4:39:40	12,0091855	13,5167502	10,5492806	18,4728931
4:44:40	12,0367120	13,5475696	10,5733339	18,5150130
4:49:40	12,0642385	13,5783890	10,5973873	18,5571329
4:54:40	12,0917650	13,6092084	10,6214406	18,5992528
4:59:40	12,1192914	13,6400278	10,6454939	18,6413727
5:04:40	12,1468179	13,6708472	10,6695473	18,6834926
5:09:40	12,1743444	13,7016666	10,6936006	18,7256125
5:14:40	12,2018709	13,7324861	10,7176539	18,7677324
5:19:40	12,2293974	13,7633055	10,7417073	18,8098523
5:24:40	12,2569239	13,7941249	10,7657606	18,8519722
5:29:40	12,2844503	13,8249443	10,7898139	18,8940921
5:34:40	12,3119768	13,8557637	10,8138672	18,9362120
5:39:40	12,3395033	13,8865831	10,8379206	18,9783319

5:44:40	12,3670298	13,9174025	10,8619739	19,0204518
5:49:40	12,3945563	13,9482220	10,8860272	19,0625717
5:54:40	12,4220828	13,9790414	10,9100806	19,1046915
5:59:40	12,4496092	14,0098608	10,9341339	19,1468114
6:04:40	12,4771357	14,0406802	10,9581872	19,1889313
6:09:40	12,5046622	14,0714996	10,9822406	19,2310512
6:14:40	12,5321887	14,1023190	11,0062939	19,2731711
6:19:41	12,5597152	14,1331384	11,0303472	19,3152910
6:24:41	12,5872416	14,1639579	11,0544006	19,3574109
6:29:41	12,6147681	14,1947773	11,0784539	19,3995308
6:34:41	12,6422946	14,2255967	11,1025072	19,4416507
6:39:41	12,6698211	14,2564161	11,1265606	19,4837706
6:44:41	12,6973476	14,2872355	11,1506139	19,5258905
6:49:41	12,7248741	14,3180549	11,1746672	19,5680104
6:54:41	12,7524005	14,3488743	11,1987206	19,6101303
6:59:41	12,7799270	14,3796938	11,2227739	19,6522502
7:04:41	12,8074535	14,4105132	11,2468272	19,6943701
7:09:41	12,8349800	14,4413326	11,2708806	19,7364899
7:14:41	12,8625065	14,4721520	11,2949339	19,7786098
7:19:41	12,8900329	14,5029714	11,3189872	19,8207297
7:24:41	12,9175594	14,5337908	11,3430405	19,8628496
7:29:41	12,9450859	14,5646102	11,3670939	19,9049695
7:34:41	12,9726124	14,5954297	11,3911472	19,9470894
7:39:41	13,0001389	14,6262491	11,4152005	19,9892093
7:44:41	13,0276654	14,6570685	11,4392539	20,0313292
7:49:41	13,0551918	14,6878879	11,4633072	20,0734491
7:54:41	13,0827183	14,7187073	11,4873605	20,1155690
7:59:41	13,1102448	14,7495267	11,5114139	20,1576889
8:04:42	13,1377713	14,7803461	11,5354672	20,1998088
8:09:42	13,1652978	14,8111656	11,5595205	20,2419287
8:14:42	13,1928243	14,8419850	11,5835739	20,2840486
8:19:42	13,2203507	14,8728044	11,6076272	20,3261685
8:24:42	13,2478772	14,9036238	11,6316805	20,3682883
8:29:42	13,2754037	14,9344432	11,6557339	20,4104082
8:34:42	13,3029302	14,9652626	11,6797872	20,4525281
8:39:42	13,3304567	14,9960820	11,7038405	20,4946480
8:44:42	13,3579831	15,0269015	11,7278939	20,5367679
8:49:42	13,3855096	15,0577209	11,7519472	20,5788878
8:54:42	13,4130361	15,0885403	11,7760005	20,6210077
8:59:42	13,4405626	15,1193597	11,8000539	20,6631276
9:04:42	13,4680891	15,1501791	11,8241072	20,7052475
9:09:42	13,4956156	15,1809985	11,8481605	20,7473674
9:14:42	13,5231420	15,2118179	11,8722139	20,7894873

9:19:42	13,5506685	15,2426374	11,8962672	20,8316072
9:24:42	13,5781950	15,2734568	11,9203205	20,8737271
9:29:42	13,6057215	15,3042762	11,9443738	20,9158470
9:34:42	13,6332480	15,3350956	11,9684272	20,9579669
9:39:42	13,6607744	15,3659150	11,9924805	21,0000867
9:44:42	13,6883009	15,3967344	12,0165338	21,0422066
9:49:42	13,7158274	15,4275538	12,0405872	21,0843265
9:54:42	13,7433539	15,4583733	12,0646405	21,1264464
9:59:42	13,7708804	15,4891927	12,0886938	21,1685663
10:04:42	13,7984069	15,5200121	12,1127472	21,2106862
10:09:43	13,8259333	15,5508315	12,1368005	21,2528061
10:14:43	13,8534598	15,5816509	12,1608538	21,2949260
10:19:43	13,8809863	15,6124703	12,1849072	21,3370459
10:24:43	13,9085128	15,6432897	12,2089605	21,3791658
10:29:43	13,9360393	15,6741092	12,2330138	21,4212857
10:34:43	13,9635658	15,7049286	12,2570672	21,4634056
10:39:43	13,9910922	15,7357480	12,2811205	21,5055255
10:44:43	14,0186187	15,7665674	12,3051738	21,5476454
10:49:43	14,0461452	15,7973868	12,3292272	21,5897653
10:54:43	14,0736717	15,8282062	12,3532805	21,6318851
10:59:43	14,1011982	15,8590256	12,3773338	21,6740050
11:04:43	14,1287246	15,8898451	12,4013872	21,7161249
11:09:43	14,1562511	15,9206645	12,4254405	21,7582448
11:14:43	14,1837776	15,9514839	12,4494938	21,8003647
11:19:43	14,2113041	15,9823033	12,4735472	21,8424846
11:24:43	14,2388306	16,0131227	12,4976005	21,8846045
11:29:43	14,2663571	16,0439421	12,5216538	21,9267244
11:34:43	14,2938835	16,0747615	12,5457071	21,9688443
11:39:43	14,3214100	16,1055810	12,5697605	22,0109642
11:44:43	14,3489365	16,1364004	12,5938138	22,0530841
11:49:43	14,3764630	16,1672198	12,6178671	22,0952040
11:54:43	14,4039895	16,1980392	12,6419205	22,1373239
11:59:43	14,4315159	16,2288586	12,6659738	22,1794438
12:04:43	14,4590424	16,2596780	12,6900271	22,2215637
12:09:43	14,4865689	16,2904974	12,7140805	22,2636835
12:14:43	14,5140954	16,3213169	12,7381338	22,3058034
12:19:43	14,5416219	16,3521363	12,7621871	22,3479233
12:24:43	14,5691484	16,3829557	12,7862405	22,3900432
12:29:44	14,5966748	16,4137751	12,8102938	22,4321631
12:34:44	14,6242013	16,4445945	12,8343471	22,4742830
12:39:44	14,6517278	16,4754139	12,8584005	22,5164029
12:44:44	14,6792543	16,5062333	12,8824538	22,5585228
12:49:44	14,7067808	16,5370528	12,9065071	22,6006427

12:54:44	14,7343073	16,5678722	12,9305605	22,6427626
12:59:44	14,7618337	16,5986916	12,9546138	22,6848825
13:04:44	14,7893602	16,6295110	12,9786671	22,7270024
13:09:44	14,8168867	16,6603304	13,0027205	22,7691223
13:14:44	14,8444132	16,6911498	13,0267738	22,8112422
13:19:44	14,8719397	16,7219692	13,0508271	22,8533621
13:24:44	14,8994661	16,7527887	13,0748805	22,8954819
13:29:44	14,9269926	16,7836081	13,0989338	22,9376018
13:34:44	14,9545191	16,8144275	13,1229871	22,9797217
13:39:44	14,9820456	16,8452469	13,1470404	23,0218416
13:44:44	15,0095721	16,8760663	13,1710938	23,0639615
13:49:44	15,0370986	16,9068857	13,1951471	23,1060814
13:54:44	15,0646250	16,9377051	13,2192004	23,1482013
13:59:44	15,0921515	16,9685246	13,2432538	23,1903212
14:04:44	15,1196780	16,9993440	13,2673071	23,2324411
14:09:44	15,1472045	17,0301634	13,2913604	23,2745610
14:14:44	15,1747310	17,0609828	13,3154138	23,3166809
14:19:44	15,2022574	17,0918022	13,3394671	23,3588008
14:24:44	15,2297839	17,1226216	13,3635204	23,4009207
14:29:44	15,2573104	17,1534410	13,3875738	23,4430406
14:34:44	15,2848369	17,1842605	13,4116271	23,4851605
14:39:45	15,3123634	17,2150799	13,4356804	23,5272803
14:44:45	15,3398899	17,2458993	13,4597338	23,5694002
14:49:45	15,3674163	17,2767187	13,4837871	23,6115201
14:54:45	15,3949428	17,3075381	13,5078404	23,6536400
14:59:45	15,4224693	17,3383575	13,5318938	23,6957599
15:04:45	15,4297855	17,3691769	13,5559471	23,7378798
15:09:45	15,4432833	17,3999963	13,5800004	23,7799997
15:14:15	15,4523489	17,4423097	13,5812345	23,7802390

FUENTE: Q-Max.

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

**ANEXO 4**  
**PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL PARA LA**  
**FORMACIÓN NAPO**

<b>Tiempo</b>	<b>Formulación 1</b>	<b>Formulación 2</b>	<b>Formulación 3</b>	<b>Agua</b>
0:00:00	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
0:00:37	0,0226420	0,0195309	0,0091029	0,0456000
0:00:40	0,0452840	0,0390617	0,0182058	0,0912000
0:00:41	0,0679259	0,0585926	0,0273086	0,1368000
0:00:42	0,0905679	0,0781235	0,0364115	0,1824000
0:00:46	0,1132099	0,0976543	0,0455144	0,2280000
0:00:47	0,1358519	0,1171852	0,0546173	0,2736000
0:00:48	0,1584938	0,1367160	0,0637202	0,3192000
0:00:51	0,1811358	0,1562469	0,0728230	0,3648000
0:00:51	0,2037778	0,1757778	0,0819259	0,4104000
0:00:56	0,2264198	0,1953086	0,0910288	0,4560000
0:00:57	0,2490617	0,2148395	0,1001317	0,5016000
0:00:57	0,2717037	0,2343704	0,1092346	0,5472000
0:01:00	0,2943457	0,2539012	0,1183374	0,5928000
0:01:01	0,3169877	0,2734321	0,1274403	0,6384000
0:01:04	0,3396296	0,2929630	0,1365432	0,6840000
0:01:07	0,3622716	0,3124938	0,1456461	0,7296000
0:01:07	0,3849136	0,3320247	0,1547490	0,7752000
0:01:10	0,4075556	0,3515556	0,1638519	0,8208000
0:01:11	0,4301975	0,3710864	0,1729547	0,8664000
0:01:11	0,4528395	0,3906173	0,1820576	0,9120000
0:01:15	0,4754815	0,4101481	0,1911605	0,9576000
0:01:16	0,4981235	0,4296790	0,2002634	1,0032000
0:01:17	0,5207654	0,4492099	0,2093663	1,0488000
0:01:26	0,5434074	0,4687407	0,2184691	1,0944000
0:01:28	0,5660494	0,4882716	0,2275720	1,1400000
0:01:31	0,5886914	0,5078025	0,2366749	1,1856000
0:01:37	0,6113333	0,5273333	0,2457778	1,2312000
0:01:37	0,6339753	0,5468642	0,2548807	1,2768000
0:01:39	0,6566173	0,5663951	0,2639835	1,3224000
0:01:41	0,6792593	0,5859259	0,2730864	1,3680000
0:01:41	0,7019012	0,6054568	0,2821893	1,4136000
0:01:46	0,7245432	0,6249877	0,2912922	1,4592000
0:01:46	0,7471852	0,6445185	0,3003951	1,5048000
0:01:48	0,7698272	0,6640494	0,3094979	1,5504000
0:01:52	0,7924691	0,6835802	0,3186008	1,5960000
0:01:52	0,8151111	0,7031111	0,3277037	1,6416000
0:01:54	0,8377531	0,7226420	0,3368066	1,6872000
0:01:57	0,8603951	0,7421728	0,3459095	1,7328000
0:01:58	0,8830370	0,7617037	0,3550123	1,7784000
0:02:02	0,9056790	0,7812346	0,3641152	1,8240000

0:02:03	0,9283210	0,8007654	0,3732181	1,8696000
0:02:05	0,9509630	0,8202963	0,3823210	1,9152000
0:02:09	0,9736049	0,8398272	0,3914239	1,9608000
0:02:09	0,9962469	0,8593580	0,4005268	2,0064000
0:02:12	1,0188889	0,8788889	0,4096296	2,0520000
0:02:13	1,0415309	0,8984198	0,4187325	2,0976000
0:02:14	1,0641728	0,9179506	0,4278354	2,1432000
0:02:18	1,0868148	0,9374815	0,4369383	2,1888000
0:02:19	1,1094568	0,9570123	0,4460412	2,2344000
0:02:21	1,1320988	0,9765432	0,4551440	2,2800000
0:02:28	1,1547407	0,9960741	0,4642469	2,3256000
0:02:29	1,1773827	1,0156049	0,4733498	2,3712000
0:02:31	1,2000247	1,0351358	0,4824527	2,4168000
0:02:33	1,2226667	1,0546667	0,4915556	2,4624000
0:02:34	1,2453086	1,0741975	0,5006584	2,5080000
0:02:38	1,2679506	1,0937284	0,5097613	2,5536000
0:02:39	1,2905926	1,1132593	0,5188642	2,5992000
0:02:40	1,3132346	1,1327901	0,5279671	2,6448000
0:02:46	1,3358765	1,1523210	0,5370700	2,6904000
0:02:47	1,3585185	1,1718519	0,5461728	2,7360000
0:02:53	1,3811605	1,1913827	0,5552757	2,7816000
0:03:01	1,4038025	1,2109136	0,5643786	2,8272000
0:03:02	1,4264444	1,2304444	0,5734815	2,8728000
0:03:08	1,4490864	1,2499753	0,5825844	2,9184000
0:03:11	1,4717284	1,2695062	0,5916872	2,9640000
0:03:13	1,4943704	1,2890370	0,6007901	3,0096000
0:03:18	1,5170123	1,3085679	0,6098930	3,0552000
0:03:18	1,5396543	1,3280988	0,6189959	3,1008000
0:03:20	1,5622963	1,3476296	0,6280988	3,1464000
0:03:24	1,5849383	1,3671605	0,6372016	3,1920000
0:03:24	1,6075802	1,3866914	0,6463045	3,2376000
0:03:29	1,6302222	1,4062222	0,6554074	3,2832000
0:03:30	1,6528642	1,4257531	0,6645103	3,3288000
0:03:31	1,6755062	1,4452840	0,6736132	3,3744000
0:03:36	1,6981481	1,4648148	0,6827161	3,4200000
0:03:37	1,7207901	1,4843457	0,6918189	3,4656000
0:03:40	1,7434321	1,5038765	0,7009218	3,5112000
0:03:45	1,7660741	1,5234074	0,7100247	3,5568000
0:03:45	1,7887160	1,5429383	0,7191276	3,6024000
0:03:50	1,8113580	1,5624691	0,7282305	3,6480000
0:03:51	1,8340000	1,5820000	0,7373333	3,6936000
0:03:51	1,8566420	1,6015309	0,7464362	3,7392000
0:03:58	1,8792839	1,6210617	0,7555391	3,7848000

0:03:59	1,9019259	1,6405926	0,7646420	3,8304000
0:04:00	1,9245679	1,6601235	0,7737449	3,8760000
0:04:04	1,9472099	1,6796543	0,7828477	3,9216000
0:04:05	1,9698519	1,6991852	0,7919506	3,9672000
0:04:08	1,9924938	1,7187160	0,8010535	4,0128000
0:04:14	2,0151358	1,7382469	0,8101564	4,0584000
0:04:16	2,0377778	1,7577778	0,8192593	4,1040000
0:04:23	2,0604198	1,7773086	0,8283621	4,1496000
0:04:25	2,0830617	1,7968395	0,8374650	4,1952000
0:04:26	2,1057037	1,8163704	0,8465679	4,2408000
0:04:34	2,1283457	1,8359012	0,8556708	4,2864000
0:04:35	2,1509877	1,8554321	0,8647737	4,3320000
0:04:36	2,1736296	1,8749630	0,8738765	4,3776000
0:04:42	2,1962716	1,8944938	0,8829794	4,4232000
0:04:43	2,2189136	1,9140247	0,8920823	4,4688000
0:04:47	2,2415556	1,9335556	0,9011852	4,5144000
0:04:54	2,2641975	1,9530864	0,9102881	4,5600000
0:04:55	2,2868395	1,9726173	0,9193910	4,6056000
0:05:01	2,3094815	1,9921481	0,9284938	4,6512000
0:05:02	2,3321235	2,0116790	0,9375967	4,6968000
0:05:03	2,3547654	2,0312099	0,9466996	4,7424000
0:05:08	2,3774074	2,0507407	0,9558025	4,7880000
0:05:08	2,4000494	2,0702716	0,9649054	4,8336000
0:05:12	2,4226914	2,0898025	0,9740082	4,8792000
0:05:16	2,4453333	2,1093333	0,9831111	4,9248000
0:05:17	2,4679753	2,1288642	0,9922140	4,9704000
0:05:27	2,4906173	2,1483951	1,0013169	5,0160000
0:05:28	2,5132593	2,1679259	1,0104198	5,0616000
0:05:29	2,5359012	2,1874568	1,0195226	5,1072000
0:05:35	2,5585432	2,2069877	1,0286255	5,1528000
0:05:36	2,5811852	2,2265185	1,0377284	5,1984000
0:05:38	2,6038272	2,2460494	1,0468313	5,2440000
0:05:46	2,6264691	2,2655802	1,0559342	5,2896000
0:05:47	2,6491111	2,2851111	1,0650370	5,3352000
0:05:49	2,6717531	2,3046420	1,0741399	5,3808000
0:05:50	2,6943951	2,3241728	1,0832428	5,4264000
0:05:51	2,7170370	2,3437037	1,0923457	5,4720000
0:05:56	2,7396790	2,3632346	1,1014486	5,5176000
0:05:58	2,7623210	2,3827654	1,1105514	5,5632000
0:05:59	2,7849630	2,4022963	1,1196543	5,6088000
0:06:05	2,8076049	2,4218272	1,1287572	5,6544000
0:06:06	2,8302469	2,4413580	1,1378601	5,7000000
0:06:08	2,8528889	2,4608889	1,1469630	5,7456000

0:06:10	2,8755309	2,4804198	1,1560658	5,7912000
0:06:10	2,8981728	2,4999506	1,1651687	5,8368000
0:06:13	2,9208148	2,5194815	1,1742716	5,8824000
0:06:14	2,9434568	2,5390123	1,1833745	5,9280000
0:06:14	2,9660988	2,5585432	1,1924774	5,9736000
0:06:18	2,9887407	2,5780741	1,2015803	6,0192000
0:06:19	3,0113827	2,5976049	1,2106831	6,0648000
0:06:20	3,0340247	2,6171358	1,2197860	6,1104000
0:06:24	3,0566667	2,6366667	1,2288889	6,1560000
0:06:25	3,0793086	2,6561975	1,2379918	6,2016000
0:06:26	3,1019506	2,6757284	1,2470947	6,2472000
0:06:27	3,1245926	2,6952593	1,2561975	6,2928000
0:06:28	3,1472346	2,7147901	1,2653004	6,3384000
0:06:33	3,1698765	2,7343210	1,2744033	6,3840000
0:06:36	3,1925185	2,7538519	1,2835062	6,4296000
0:06:38	3,2151605	2,7733827	1,2926091	6,4752000
0:06:43	3,2378025	2,7929136	1,3017119	6,5208000
0:06:44	3,2604444	2,8124444	1,3108148	6,5664000
0:06:54	3,2830864	2,8319753	1,3199177	6,6120000
0:07:08	3,3057284	2,8515062	1,3290206	6,6576000
0:07:11	3,3283704	2,8710370	1,3381235	6,7032000
0:07:24	3,3510123	2,8905679	1,3472263	6,7488000
0:07:27	3,3736543	2,9100988	1,3563292	6,7944000
0:07:29	3,3962963	2,9296296	1,3654321	6,8400000
0:07:40	3,4189383	2,9491605	1,3745350	6,8856000
0:07:45	3,4415802	2,9686914	1,3836379	6,9312000
0:07:46	3,4642222	2,9882222	1,3927407	6,9768000
0:08:05	3,4868642	3,0077531	1,4018436	7,0224000
0:08:07	3,5095062	3,0272840	1,4109465	7,0680000
0:08:10	3,5321481	3,0468148	1,4200494	7,1136000
0:08:19	3,5547901	3,0663457	1,4291523	7,1592000
0:08:21	3,5774321	3,0858765	1,4382552	7,2048000
0:08:34	3,6000741	3,1054074	1,4473580	7,2504000
0:08:37	3,6227160	3,1249383	1,4564609	7,2960000
0:08:39	3,6453580	3,1444691	1,4655638	7,3416000
0:08:49	3,6680000	3,1640000	1,4746667	7,3872000
0:08:51	3,6906420	3,1835309	1,4837696	7,4328000
0:08:54	3,7132839	3,2030617	1,4928724	7,4784000
0:09:01	3,7359259	3,2225926	1,5019753	7,5240000
0:09:03	3,7585679	3,2421235	1,5110782	7,5696000
0:09:06	3,7812099	3,2616543	1,5201811	7,6152000
0:09:11	3,8038519	3,2811852	1,5292840	7,6608000
0:09:12	3,8264938	3,3007160	1,5383868	7,7064000

0:09:21	3,8491358	3,3202469	1,5474897	7,7520000
0:09:25	3,8717778	3,3397778	1,5565926	7,7976000
0:09:27	3,8944198	3,3593086	1,5656955	7,8432000
0:09:35	3,9170617	3,3788395	1,5747984	7,8888000
0:09:38	3,9397037	3,3983704	1,5839012	7,9344000
0:09:40	3,9623457	3,4179012	1,5930041	7,9800000
0:09:54	3,9849877	3,4374321	1,6021070	8,0256000
0:09:57	4,0076296	3,4569630	1,6112099	8,0712000
0:10:04	4,0302716	3,4764938	1,6203128	8,1168000
0:10:14	4,0529136	3,4960247	1,6294156	8,1624000
0:10:16	4,0755556	3,5155556	1,6385185	8,2080000
0:10:22	4,0981975	3,5350864	1,6476214	8,2536000
0:10:38	4,1208395	3,5546173	1,6567243	8,2992000
0:10:41	4,1434815	3,5741481	1,6658272	8,3448000
0:11:00	4,1661235	3,5936790	1,6749300	8,3904000
0:11:10	4,1887654	3,6132099	1,6840329	8,4360000
0:11:15	4,2114074	3,6327407	1,6931358	8,4816000
0:11:39	4,2340494	3,6522716	1,7022387	8,5272000
0:11:46	4,2566914	3,6718025	1,7113416	8,5728000
0:11:50	4,2793333	3,6913333	1,7204445	8,6184000
0:12:08	4,3019753	3,7108642	1,7295473	8,6640000
0:12:10	4,3246173	3,7303951	1,7386502	8,7096000
0:12:17	4,3472593	3,7499259	1,7477531	8,7552000
0:12:40	4,3699012	3,7694568	1,7568560	8,8008000
0:12:44	4,3925432	3,7889877	1,7659589	8,8464000
0:12:51	4,4151852	3,8085185	1,7750617	8,8920000
0:13:23	4,4378272	3,8280494	1,7841646	8,9376000
0:13:31	4,4604691	3,8475802	1,7932675	8,9832000
0:13:56	4,4831111	3,8671111	1,8023704	9,0288000
0:14:04	4,5057531	3,8866420	1,8114733	9,0744000
0:14:08	4,5283951	3,9061728	1,8205761	9,1200000
0:14:45	4,5510370	3,9257037	1,8296790	9,1656000
0:14:51	4,5736790	3,9452346	1,8387819	9,2112000
0:14:58	4,5963210	3,9647654	1,8478848	9,2568000
0:15:26	4,6189630	3,9842963	1,8569877	9,3024000
0:15:30	4,6416049	4,0038272	1,8660905	9,3480000
0:15:41	4,6642469	4,0233580	1,8751934	9,3936000
0:15:56	4,6868889	4,0428889	1,8842963	9,4392000
0:16:04	4,7095309	4,0624198	1,8933992	9,4848000
0:16:36	4,7321728	4,0819506	1,9025021	9,5304000
0:17:05	4,7548148	4,1014815	1,9116049	9,5760000
0:17:12	4,7774568	4,1210123	1,9207078	9,6216000
0:18:12	4,8000988	4,1405432	1,9298107	9,6672000

0:18:39	4,8227407	4,1600741	1,9389136	9,7128000
0:18:51	4,8453827	4,1796049	1,9480165	9,7584000
0:20:07	4,8680247	4,1991358	1,9571194	9,8040000
0:20:24	4,8906667	4,2186667	1,9662222	9,8496000
0:20:41	4,9133086	4,2381975	1,9753251	9,8952000
0:22:09	4,9359506	4,2577284	1,9844280	9,9408000
0:22:22	4,9585926	4,2772593	1,9935309	9,9864000
0:22:47	4,9812346	4,2967901	2,0026338	10,0320000
0:24:45	5,0038765	4,3163210	2,0117366	10,0776000
0:25:14	5,0265185	4,3358519	2,0208395	10,1232000
0:26:35	5,0491605	4,3553827	2,0299424	10,1688000
0:28:19	5,0718025	4,3749136	2,0390453	10,2144000
0:28:41	5,0944444	4,3944444	2,0481482	10,2600000
0:30:51	5,1170864	4,4139753	2,0572510	10,3056000
0:31:14	5,1397284	4,4335062	2,0663539	10,3512000
0:31:28	5,1623704	4,4530370	2,0754568	10,3968000
0:33:54	5,1850123	4,4725679	2,0845597	10,4424000
0:34:21	5,2076543	4,4920988	2,0936626	10,4880000
0:34:52	5,2302963	4,5116296	2,1027654	10,5336000
0:37:22	5,2529383	4,5311605	2,1118683	10,5792000
0:38:01	5,2755802	4,5506914	2,1209712	10,6248000
0:38:56	5,2982222	4,5702222	2,1300741	10,6704000
0:42:14	5,3208642	4,5897531	2,1391770	10,7160000
0:42:46	5,3435062	4,6092840	2,1482798	10,7616000
0:44:57	5,3661481	4,6288148	2,1573827	10,8072000
0:49:57	5,3887901	4,6483457	2,1664856	10,8528000
0:51:22	5,4114321	4,6678765	2,1755885	10,8984000
0:52:43	5,4340741	4,6874074	2,1846914	10,9440000
0:57:43	5,4567160	4,7069383	2,1937942	10,9896000
1:02:43	5,4793580	4,7264691	2,2028971	11,0352000
1:05:58	5,4933580	4,7385487	2,2085271	11,0586988
1:07:57	5,5073580	4,7506283	2,2141572	11,0821976
1:12:57	5,5213580	4,7627079	2,2197872	11,1056965
1:17:57	5,5353580	4,7747875	2,2254172	11,1291953
1:22:57	5,5493580	4,7868671	2,2310472	11,1526941
1:27:57	5,5633580	4,7989467	2,2366772	11,1761929
1:31:32	5,5773580	4,8110263	2,2423073	11,1996918
1:36:32	5,5913580	4,8231059	2,2479373	11,2231906
1:41:32	5,6053580	4,8351855	2,2535673	11,2466894
1:46:33	5,6193580	4,8472651	2,2591973	11,2701882
1:51:33	5,6333580	4,8593447	2,2648273	11,2936871
1:56:33	5,6473580	4,8714243	2,2704573	11,3171859
2:01:33	5,6613580	4,8835039	2,2760874	11,3406847

2:04:39	5,6753580	4,8955835	2,2817174	11,3641835
2:09:39	5,6893580	4,9076631	2,2873474	11,3876824
2:14:39	5,7033580	4,9197427	2,2929774	11,4111812
2:19:39	5,7173580	4,9318223	2,2986074	11,4346800
2:24:39	5,7313580	4,9439019	2,3042374	11,4581788
2:29:39	5,7453580	4,9559815	2,3098675	11,4816776
2:34:39	5,7593580	4,9680611	2,3154975	11,5051765
2:39:39	5,7733580	4,9801407	2,3211275	11,5286753
2:44:39	5,7873580	4,9922203	2,3267575	11,5521741
2:49:39	5,8013580	5,0042999	2,3323875	11,5756729
2:54:39	5,8153580	5,0163795	2,3380175	11,5991718
2:59:39	5,8293580	5,0284591	2,3436476	11,6226706
3:04:39	5,8433580	5,0405387	2,3492776	11,6461694
3:09:39	5,8573580	5,0526183	2,3549076	11,6696682
3:14:39	5,8713579	5,0646979	2,3605376	11,6931671
3:19:39	5,8853579	5,0767775	2,3661676	11,7166659
3:24:39	5,8993579	5,0888571	2,3717977	11,7401647
3:29:39	5,9133579	5,1009367	2,3774277	11,7636635
3:34:39	5,9273579	5,1130163	2,3830577	11,7871624
3:39:39	5,9413579	5,1250959	2,3886877	11,8106612
3:44:40	5,9553579	5,1371755	2,3943177	11,8341600
3:49:40	5,9693579	5,1492551	2,3999477	11,8576588
3:54:40	5,9833579	5,1613347	2,4055778	11,8811576
3:59:40	5,9973579	5,1734143	2,4112078	11,9046565
4:04:40	6,0113579	5,1854938	2,4168378	11,9281553
4:09:40	6,0253579	5,1975734	2,4224678	11,9516541
4:14:40	6,0393579	5,2096530	2,4280978	11,9751529
4:19:40	6,0533579	5,2217326	2,4337278	11,9986518
4:24:40	6,0673579	5,2338122	2,4393579	12,0221506
4:29:40	6,0813579	5,2458918	2,4449879	12,0456494
4:34:40	6,0953579	5,2579714	2,4506179	12,0691482
4:39:40	6,1093579	5,2700510	2,4562479	12,0926471
4:44:40	6,1233579	5,2821306	2,4618779	12,1161459
4:49:40	6,1373579	5,2942102	2,4675080	12,1396447
4:54:40	6,1513579	5,3062898	2,4731380	12,1631435
4:59:40	6,1653579	5,3183694	2,4787680	12,1866424
5:04:40	6,1793579	5,3304490	2,4843980	12,2101412
5:09:40	6,1933579	5,3425286	2,4900280	12,2336400
5:14:40	6,2073579	5,3546082	2,4956580	12,2571388
5:19:40	6,2213579	5,3666878	2,5012881	12,2806376
5:24:40	6,2353579	5,3787674	2,5069181	12,3041365
5:29:40	6,2493579	5,3908470	2,5125481	12,3276353
5:34:40	6,2633579	5,4029266	2,5181781	12,3511341

5:39:40	6,2773579	5,4150062	2,5238081	12,3746329
5:44:40	6,2913579	5,4270858	2,5294381	12,3981318
5:49:40	6,3053579	5,4391654	2,5350682	12,4216306
5:54:40	6,3193579	5,4512450	2,5406982	12,4451294
5:59:40	6,3333579	5,4633246	2,5463282	12,4686282
6:04:40	6,3473579	5,4754042	2,5519582	12,4921271
6:09:40	6,3613579	5,4874838	2,5575882	12,5156259
6:14:40	6,3753579	5,4995634	2,5632182	12,5391247
6:19:41	6,3893579	5,5116430	2,5688483	12,5626235
6:24:41	6,4033579	5,5237226	2,5744783	12,5861224
6:29:41	6,4173578	5,5358022	2,5801083	12,6096212
6:34:41	6,4313578	5,5478818	2,5857383	12,6331200
6:39:41	6,4453578	5,5599614	2,5913683	12,6566188
6:44:41	6,4593578	5,5720410	2,5969984	12,6801176
6:49:41	6,4733578	5,5841206	2,6026284	12,7036165
6:54:41	6,4873578	5,5962002	2,6082584	12,7271153
6:59:41	6,5013578	5,6082798	2,6138884	12,7506141
7:04:41	6,5153578	5,6203594	2,6195184	12,7741129
7:09:41	6,5293578	5,6324390	2,6251484	12,7976118
7:14:41	6,5433578	5,6445186	2,6307785	12,8211106
7:19:41	6,5573578	5,6565982	2,6364085	12,8446094
7:24:41	6,5713578	5,6686778	2,6420385	12,8681082
7:29:41	6,5853578	5,6807574	2,6476685	12,8916071
7:34:41	6,5993578	5,6928370	2,6532985	12,9151059
7:39:41	6,6133578	5,7049166	2,6589285	12,9386047
7:44:41	6,6273578	5,7169961	2,6645586	12,9621035
7:49:41	6,6413578	5,7290757	2,6701886	12,9856024
7:54:41	6,6553578	5,7411553	2,6758186	13,0091012
7:59:41	6,6693578	5,7532349	2,6814486	13,0326000
8:04:42	6,6833578	5,7653145	2,6870786	13,0560988
8:09:42	6,6973578	5,7773941	2,6927087	13,0795976
8:14:42	6,7113578	5,7894737	2,6983387	13,1030965
8:19:42	6,7253578	5,8015533	2,7039687	13,1265953
8:24:42	6,7393578	5,8136329	2,7095987	13,1500941
8:29:42	6,7533578	5,8257125	2,7152287	13,1735929
8:34:42	6,7673578	5,8377921	2,7208587	13,1970918
8:39:42	6,7813578	5,8498717	2,7264888	13,2205906
8:44:42	6,7953578	5,8619513	2,7321188	13,2440894
8:49:42	6,8093578	5,8740309	2,7377488	13,2675882
8:54:42	6,8233578	5,8861105	2,7433788	13,2910871
8:59:42	6,8373578	5,8981901	2,7490088	13,3145859
9:04:42	6,8513578	5,9102697	2,7546388	13,3380847
9:09:42	6,8653578	5,9223493	2,7602689	13,3615835

9:14:42	6,8793578	5,9344289	2,7658989	13,3850824
9:19:42	6,8933578	5,9465085	2,7715289	13,4085812
9:24:42	6,9073578	5,9585881	2,7771589	13,4320800
9:29:42	6,9213578	5,9706677	2,7827889	13,4555788
9:34:42	6,9353578	5,9827473	2,7884189	13,4790776
9:39:42	6,9493577	5,9948269	2,7940490	13,5025765
9:44:42	6,9633577	6,0069065	2,7996790	13,5260753
9:49:42	6,9773577	6,0189861	2,8053090	13,5495741
9:54:42	6,9913577	6,0310657	2,8109390	13,5730729
9:59:42	7,0053577	6,0431453	2,8165690	13,5965718
10:04:42	7,0193577	6,0552249	2,8221991	13,6200706
10:09:43	7,0333577	6,0673045	2,8278291	13,6435694
10:14:43	7,0473577	6,0793841	2,8334591	13,6670682
10:19:43	7,0613577	6,0914637	2,8390891	13,6905671
10:24:43	7,0753577	6,1035433	2,8447191	13,7140659
10:29:43	7,0893577	6,1156229	2,8503491	13,7375647
10:34:43	7,1033577	6,1277025	2,8559792	13,7610635
10:39:43	7,1173577	6,1397821	2,8616092	13,7845623
10:44:43	7,1313577	6,1518617	2,8672392	13,8080612
10:49:43	7,1453577	6,1639413	2,8728692	13,8315600
10:54:43	7,1593577	6,1760209	2,8784992	13,8550588
10:59:43	7,1733577	6,1881005	2,8841292	13,8785576
11:04:43	7,1873577	6,2001801	2,8897593	13,9020565
11:09:43	7,2013577	6,2122597	2,8953893	13,9255553
11:14:43	7,2153577	6,2243393	2,9010193	13,9490541
11:19:43	7,2293577	6,2364188	2,9066493	13,9725529
11:24:43	7,2433577	6,2484984	2,9122793	13,9960518
11:29:43	7,2573577	6,2605780	2,9179094	14,0195506
11:34:43	7,2713577	6,2726576	2,9235394	14,0430494
11:39:43	7,2853577	6,2847372	2,9291694	14,0665482
11:44:43	7,2993577	6,2968168	2,9347994	14,0900471
11:49:43	7,3133577	6,3088964	2,9404294	14,1135459
11:54:43	7,3273577	6,3209760	2,9460594	14,1370447
11:59:43	7,3413577	6,3330556	2,9516895	14,1605435
12:04:43	7,3553577	6,3451352	2,9573195	14,1840423
12:09:43	7,3693577	6,3572148	2,9629495	14,2075412
12:14:43	7,3833577	6,3692944	2,9685795	14,2310400
12:19:43	7,3973577	6,3813740	2,9742095	14,2545388
12:24:43	7,4113577	6,3934536	2,9798395	14,2780376
12:29:44	7,4253577	6,4055332	2,9854696	14,3015365
12:34:44	7,4393577	6,4176128	2,9910996	14,3250353
12:39:44	7,4533577	6,4296924	2,9967296	14,3485341
12:44:44	7,4673577	6,4417720	3,0023596	14,3720329

12:49:44	7,4813577	6,4538516	3,0079896	14,3955318
12:54:44	7,4953576	6,4659312	3,0136196	14,4190306
12:59:44	7,5093576	6,4780108	3,0192497	14,4425294
13:04:44	7,5233576	6,4900904	3,0248797	14,4660282
13:09:44	7,5373576	6,5021700	3,0305097	14,4895271
13:14:44	7,5513576	6,5142496	3,0361397	14,5130259
13:19:44	7,5653576	6,5263292	3,0417697	14,5365247
13:24:44	7,5793576	6,5384088	3,0473998	14,5600235
13:29:44	7,5933576	6,5504884	3,0530298	14,5835223
13:34:44	7,6073576	6,5625680	3,0586598	14,6070212
13:39:44	7,6213576	6,5746476	3,0642898	14,6305200
13:44:44	7,6353576	6,5867272	3,0699198	14,6540188
13:49:44	7,6493576	6,5988068	3,0755498	14,6775176
13:54:44	7,6633576	6,6108864	3,0811799	14,7010165
13:59:44	7,6773576	6,6229660	3,0868099	14,7245153
14:04:44	7,6913576	6,6350456	3,0924399	14,7480141
14:09:44	7,7053576	6,6471252	3,0980699	14,7715129
14:14:44	7,7193576	6,6592048	3,1036999	14,7950118
14:19:44	7,7333576	6,6712844	3,1093299	14,8185106
14:24:44	7,7473576	6,6833640	3,1149600	14,8420094
14:29:44	7,7613576	6,6954436	3,1205900	14,8655082
14:34:44	7,7753576	6,7075232	3,1262200	14,8890071
14:39:45	7,7893576	6,7196028	3,1318500	14,9125059
14:44:45	7,8033576	6,7316824	3,1374800	14,9360047
14:49:45	7,8173576	6,7437620	3,1431101	14,9595035
14:54:45	7,8313576	6,7558415	3,1487401	14,9830023
14:59:45	7,8453576	6,7679211	3,1543701	15,0065012
15:04:45	7,8561404	6,7800007	3,1557143	15,0195678
15:09:45	7,8580702	6,7803407	3,1578571	15,0300009
15:14:15	7,8608637	6,7842679	3,1600483	15,0344199

FUENTE: Q-Max.

ELABORADO POR: Andrés Lara Arias.

## **ANEXO 5**

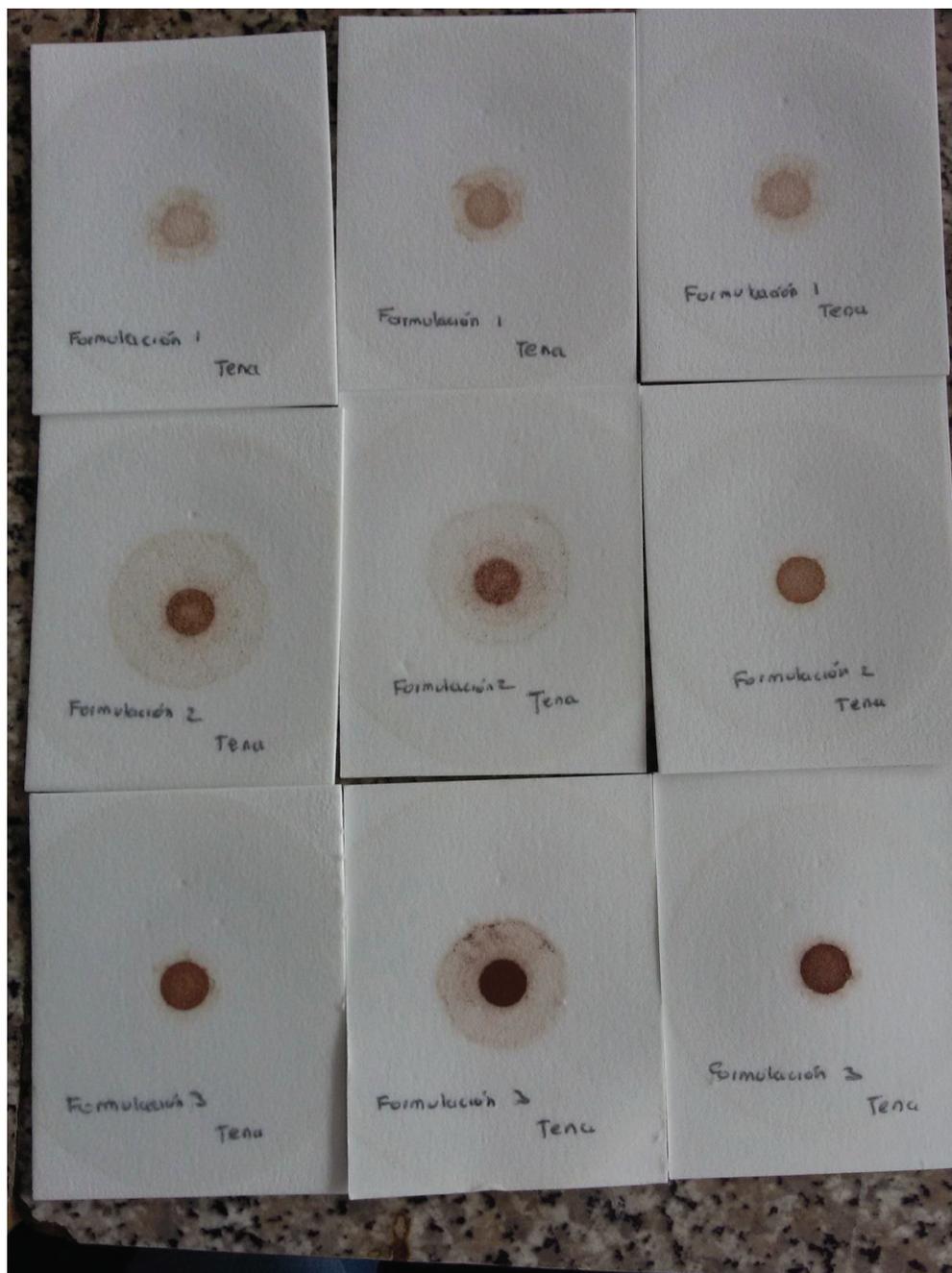
**PRUEBAS DE TIEMPO DE SUCCIÓN CAPILAR CST PARA  
LAS FORMACIONES ORTEGUAZA, TIYUYACU, TENA Y  
NAPO.**



Prueba de CST en Ortegaza  
Elaborado por: Andrés Lara A.



**Prueba de CST en Tiyuyacu**  
Elaborado por: Andrés Lara A.



Prueba de CST en Tena  
Elaborado por: Andrés Lara A.



Prueba de CST en Napo  
Elaborado por: Andrés Lara A.