

APÉNDICE A

PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS FLUIDOS<sup>1</sup>

Sea el siguiente sistema, figura A-1, en donde se bombea un fluido a un gasto constante Q de densidad ρ a través de un tubo horizontal:

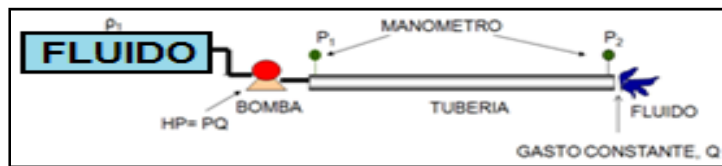


Figura A-1. Sistema de circulación.

La diferencia entre las presiones de entrada, P<sub>1</sub>, y de salida, P<sub>2</sub>, se le conoce como pérdida de presión por fricción o caída de presión, ΔP. Es decir:

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

Ec. A.1

Uno de los factores de los que dependen las caídas de presión son las propiedades reológicas de los fluidos. Por tal motivo, las caídas de presión de un sistema no son constantes. Tal y como se muestra en la figura A-2.

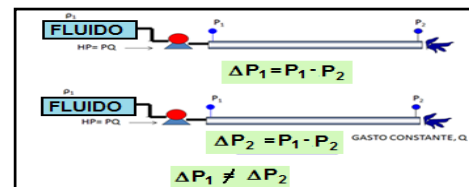


Figura A-2. Caídas de presión de un sistema de circulación.

Las caídas de presión ΔP<sub>1</sub> y ΔP<sub>2</sub> son diferentes, entre otras cosas, porque su reología es distinta, “viscosidad, punto de cendencia, constantes K y n”, en otras palabras la reología del fluido influye en su comportamiento.

**Reología.** Es la disciplina que estudia la deformación y flujo de la materia, las propiedades reológicas fundamentales del lodo de perforación son:

- Viscosidad plástica.
- Punto de cedencia.
- Resistencia al gel.

La reología de un fluido de perforación la podemos utilizar para:

- Calcular las pérdidas de presión por fricción.
- Analizar la contaminación del fluido de perforación.
- Determinar los cambios de presión en el interior del pozo durante un viaje.

**Esfuerzo de corte,  $\tau$  [lb / 100 pies<sup>2</sup>].** Es la fuerza por unidad de superficie requerida para mover un fluido a una velocidad de corte dada. Es decir, la fuerza mínima necesaria para mover un fluido.

**Índice de consistencia, K [cP].** Es el factor de consistencia del flujo laminar. Podemos describirla de forma idéntica al concepto de viscosidad plástica dado que un aumento de K indica un aumento en la concentración de sólidos o disminución del tamaño de las partículas.

Indica la consistencia del fluido; es decir, si el valor de K es alto, el fluido es más "viscoso" y viceversa.

**Índice de flujo, n [Adimensional].** Es la relación numérica entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte.

Es una medida de la no-newtonianidad del fluido, entre más alejado de la unidad sea el valor de n, más no-Newtoniano es el comportamiento del fluido.

**Resistencia al gel.** Es la fuerza de atracción que se da a condiciones estáticas, debido a la presencia de partículas cargadas eléctricamente. Depende principalmente de la cantidad y tipo de sólidos en suspensión, el tiempo de reposos, la temperatura y el tratamiento químico.

**Punto de cedencia, PC [lb / 100 pies<sup>2</sup>].** Es el esfuerzo mínimo de corte que debe aplicarse a un fluido para que comience a desplazarse, figura A-3.

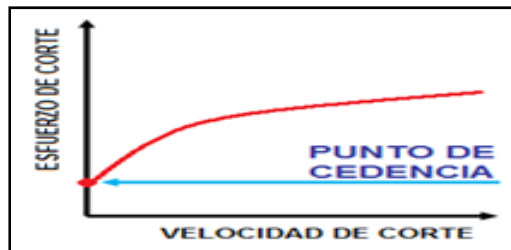


Figura A-3. Punto de cedencia.

**Velocidad de corte,  $\gamma$  [seg<sup>-1</sup>].** Es la velocidad relativa de una lámina moviéndose junto a otra, dividida por la distancia entre ellas.

**Viscosidad,  $\mu$  [cP].** Propiedad de los fluidos que tiende a oponerse al flujo cuando se le aplica una fuerza, entre más alta sea la viscosidad de un fluido mayor resistencia interna al flujo opondrá, figura A-4.

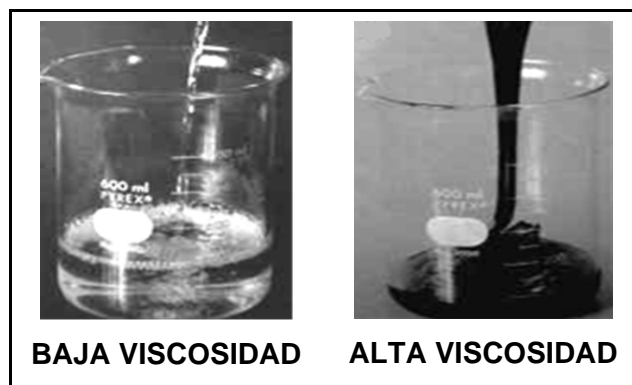


Figura A-4. Viscosidad de los fluidos.

**Viscosidad aparente,  $\mu_A$  [cP].** La viscosidad aparente es la viscosidad real o viscosidad verdadera observada.

**Viscosidad efectiva,  $\mu_E$  [cP].** Describe la resistencia del fluido a fluir a través de una geometría particular. El fluido fluyendo a través del espacio anular tendrá una viscosidad efectiva diferente a la que tiene cuando fluye dentro de la tubería de perforación.

También la podemos definir como la Viscosidad verdadera en cualquiera de los puntos obtenidos por lecturas del viscosímetro.

**Viscosidad plástica,  $\mu_p$  [cP].** Es la parte de la resistencia al flujo causada por la fricción, afectada principalmente por la concentración de sólidos, tamaño y forma de las partículas sólidas y la viscosidad de la fase fluida.

**CLASIFICACIÓN REOLÓGICA DE LOS FLUIDOS**

En la siguiente figura se muestra en forma general como se clasifican los fluidos según su reología, figura A-5.

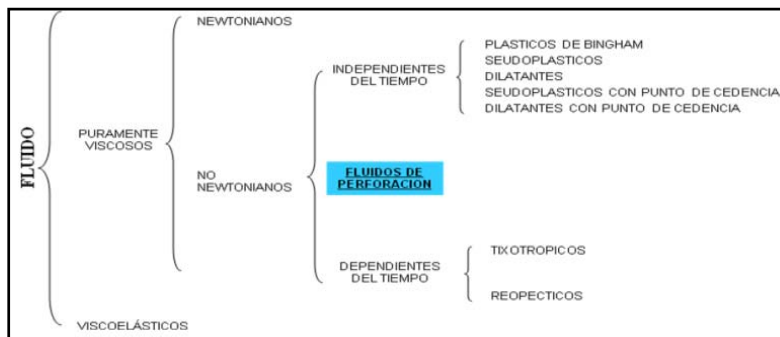


Figura A-5. Clasificación reológica de los fluidos.

**Fluido.** Toda sustancia que fluye y que no opone resistencia a una fuerza que tienda a modificar su forma. El término incluye tanto a los líquidos como a los gases.

**Fluido Newtoniano.** Son aquellos fluidos que exhiben una proporcionalidad directa entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte. Por ejemplo; diesel y agua, figura A-6.

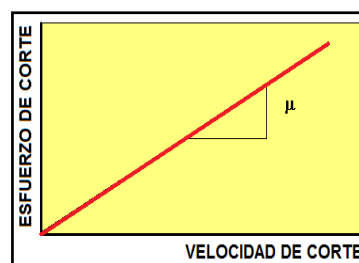


Figura A-6. Comportamiento del fluido Newtoniano.

**Fluido no-newtoniano.** Son todos aquellos fluidos que no exhiben una relación directa entre el esfuerzo y la velocidad de corte. Por ejemplo; la mayoría de los fluidos de perforación y el cemento.

Los fluidos no-newtonianos se dividen en dos principales grupos:

- Fluidos independientes del tiempo
- Fluidos dependientes del tiempo

**Fluidos independientes del tiempo.** Son así llamados debido a que sus propiedades reológicas no cambian con el tiempo. Entre estos se encuentran los siguientes:

**Fluidos plásticos de Bingham.** Estos fluidos, para iniciar su movimiento requieren vencer un esfuerzo inicial finito o punto de cedencia y al graficar en escala lineal exhibiendo una relación lineal entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte, figura A-7.

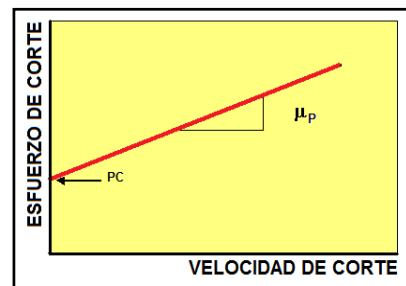


Figura A-7. Comportamiento del fluido plástico de Bingham.

**Fluidos seudoplásticos.** Son aquellos fluidos que con un esfuerzo cortante infinitesimal iniciará su movimiento y posteriormente la velocidad de corte se incrementará en forma no lineal; lo que nos indica que la viscosidad del fluido disminuye al incrementarse la velocidad de corte, figura A-8.

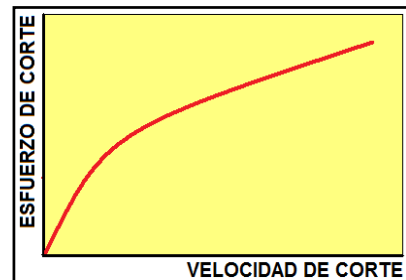


Figura A-8. Comportamiento de los fluidos seudoplásticos.

**Fluidos dilatantes.** Estos fluidos presentan un comportamiento similar a los fluidos seudoplásticos, con la diferencia de que en los fluidos dilatantes el ritmo del incremento del esfuerzo cortante con la velocidad de corte se incrementa, figura A-9.

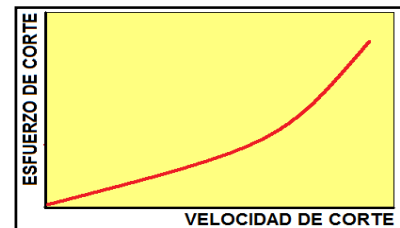


Figura A-9. Comportamiento de los fluidos dilatantes

**Fluidos seudoplásticos y dilatantes con punto de cedencia:** Son aquellos fluidos que exhiben un esfuerzo inicial finito o punto de cedencia. Una vez que el esfuerzo inicial ha sido rebasado, la relación entre el esfuerzo cortante, con la velocidad de corte resultante no es lineal, figura A-10.

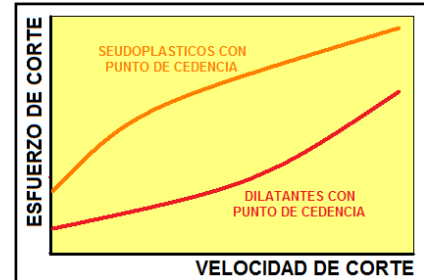


Figura A-10. Fluidos seudoplásticos y dilatantes con punto de cedencia.

**Fluidos dependientes del tiempo.** Estos fluidos se caracterizan porque sus propiedades reológicas varían con la duración del corte (esfuerzo cortante y velocidad de corte), bajo ciertas consideraciones. Los fluidos dependientes del tiempo se subdividen en:

**Fluidos tixotrópicos.** Son aquellos fluidos en los cuales el esfuerzo cortante decrece con la duración del corte, figura A-11.

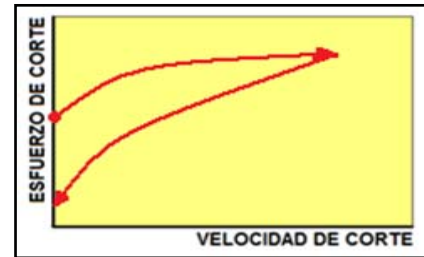


Figura A-11. Comportamiento de los fluido tixotrópicos.

**Fluido reopéticos.** A diferencia de los fluidos tixotrópicos, el esfuerzo cortante se incrementa conforme se incrementa la duración del corte, figura A-12.

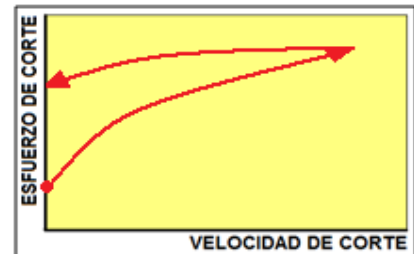


Figura A-12. Comportamiento de los fluido reopéticos.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. López Valdez Israel, *Apuntes de Ingeniería de Pozos*, 2008-2

## APÉNDICE B

### RÉGIMEN DE FLUJO<sup>1, 2</sup>

Como ya se menciona, la reología se encarga del estudiar de la deformación y flujo de la materia.

**Flujo.** Es una deformación de los fluidos de tipo permanente.

**Régimen de flujo.** Es la configuración de estructura de fases en la tubería. Cuando un fluido fluye a través de un conducto, este puede fluir ya sea en régimen laminar, transicional o turbulento, figura B-1.

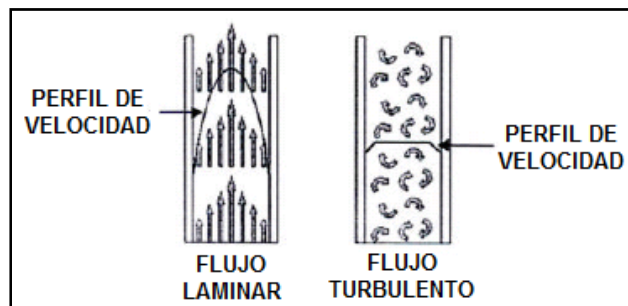


Figura B-1. Regímenes de flujo.

Existen tres tipos básicos de regímenes de flujo, que son:

- Flujo laminar.
- Flujo turbulento.
- Flujo transicional.

**Flujo transicional.** El flujo transicional tiene lugar cuando el flujo cambia de laminar a turbulento y viceversa.

**Flujo laminar.** El flujo laminar tiene lugar entre bajas y moderadas velocidades de corte en que las capas de fluido pasan unas junto a otras en forma ordenada. Este movimiento es paralelo a las paredes del agujero a través del cual fluye y la fricción generada entre el fluido y las paredes es baja, figura B-2.

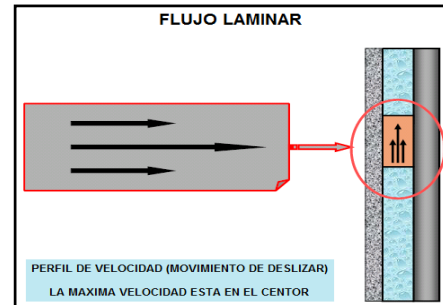


Figura B-2. Flujo laminar.

**Flujo turbulento.** El flujo turbulento se produce a altos índices de cizallamiento, cuando el fluido se mueve en forma caótica. En un flujo turbulento las partículas son arrastradas por giros al azar y remolinos de corriente, la fricción en este flujo es mayor, figura B-3.

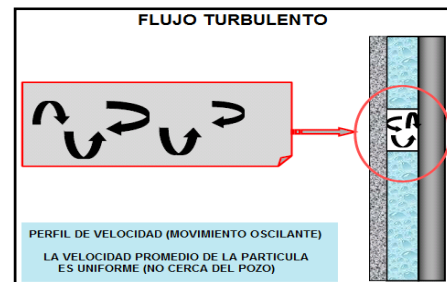


Figura B-3. Flujo turbulento.

**Velocidad crítica.** La velocidad crítica de un fluido es la velocidad a la cual el flujo cambia de régimen, figura B-4.

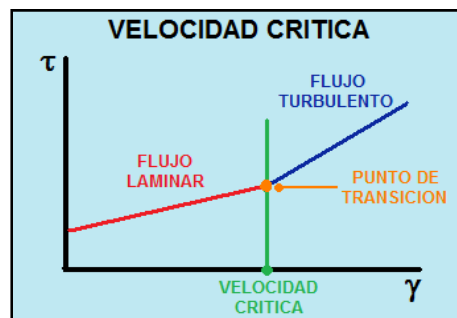


Figura B-4. Velocidad crítica.

## NÚMERO DE REYNOLDS

Reynolds mostro que el criterio para romper el movimiento laminar del fluido y la transición al flujo turbulento depende de una cantidad adimensional denominada número de Reynolds, este es de gran importancia en la solución de problemas de flujo y



relacionan las fuerzas de inercia a las fuerzas viscosas que son desarrolladas por el fluido en movimiento.

El número de Reynolds considera factores básicos del flujo en tuberías los cuales son: diámetro de la tubería, velocidad promedio, densidad y viscosidad del fluido.

$$N_{Re} = \frac{\text{Fuerzas de Inercia}}{\text{Fuerzas viscosas}} \quad \text{Ec. B.1}$$

$$N_{Re} = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad \text{Ec. B.2}$$

Donde:

- $N_{Re}$ : Número de Reynolds, [Adimensional]
- $\rho$ : Densidad
- $v$ : Velocidad
- $D_i$ : Diámetro interno
- $\mu$ : Viscosidad

La clasificación del régimen de flujo con respecto al número de Reynolds es de la siguiente manera:

- Si  $N_{Re} < 2300$ , el flujo es laminar
- Si  $2300 < N_{Re} < 3100$ , el flujo es transicional
- Si  $N_{Re} > 3100$ , el flujo es turbulento

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Grace Robert D. with contributions by: Bob Cudd, Richards S. Carden and Jerald L. Shursen. **Blowout and Well Control Handbook**. Gulf Professional Publishing Company. 2003.
2. Villegas Javier María Isabel, **Apuntes de Flujo Multifásico**, 2009-1.

## APÉNDICE C

### SNUBBING

El proceso con el snubbing, consiste en correr o jalar tubería, tubería de perforación u otras tuberías en presencia de presión en superficie, tal que esta sea suficiente para que la tubería se vea forzada a salir del agujero, esto es, con el snubbing la fuerza generada por la presión de formación es tal que puede eyectar la tubería.



Figura C-1. Equipo Snubbing.

En la figura C-2 se muestra que la fuerza en el pozo  $F_p$ , es mayor que el peso de la tubería. La fuerza en el pozo es la combinación de la fuerza de presión, fuerzas de fricción y fuerzas de empuje.

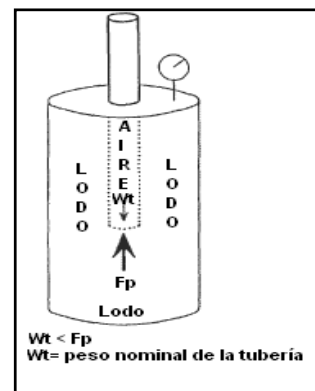


Figura C-2. Fuerzas en el snubbing.

El stripping es similar al snubbing si la tubería se está corriendo o jalando fuera del agujero bajo presión. En las operaciones de stripping la fuerza resultante de la presión de formación es insuficiente para sacar la tubería del agujero. Se muestra en la figura C-3.

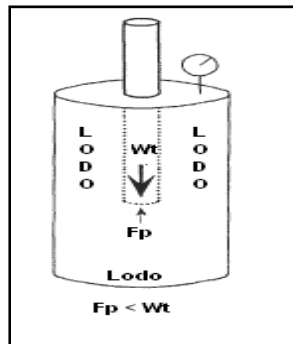


Figura C-3. Fuerzas en el Stripping.

Las operaciones de snubbing y stripping pueden desarrollarse a cualquier presión. Por lo regular estas operaciones están limitadas a presiones menores de 2000 [psi].

Algunas de las aplicaciones del Snubbing más comunes son las siguientes:

- Viajar tubería bajo presión.
- Control de pozos bajo presión.
- Pesca, fresado y perforación bajo presión.
- Operaciones de terminación de pozos bajo presión.

El snubbing podría ser la única opción para las operaciones críticas del control de pozos. En general las operaciones de alta presión se realizan con mayor seguridad. Para las operaciones de terminación de pozos, los procedimientos se pueden desarrollar sin fluidos de control, esto gracias a que se elimina potencialmente el daño a la formación.

Existen, como en todo, algunas desventajas asociadas con las operaciones con el snubbing, usualmente estas operaciones son bastante complejas. Las operaciones con el snubbing son más lentas que el stripping.

Para el control de pozos con el equipo snubbing existen algunas técnicas que pueden utilizarse para mantener las presiones de los pozos dentro de los niveles seguros durante las operaciones, cuando la tubería esta fuera del pozo o está viajando.

Los pozos donde se realizan operaciones con snubbing tienen presión en superficie y capacidad de fluir. El mantener el control del pozo significa que las presiones, a cualquier profundidad, se mantienen por debajo de la capacidad del equipo utilizado. Dependiendo de las condiciones del pozo, las presiones excesivas dan como resultado fallas en el equipo superficial, fallas en la tubería o fracturas de cualquier formación expuesta.

El control del pozo se logra mediante los preventores, y mediante el empleo de operaciones de desfogue o bombeo, para mantener las presiones del pozo en niveles aceptables.

El control primario del pozo se logra mediante el fluido del pozo que proporciona presión hidrostática para prevenir que el pozo fluya. Los preventores se instalan como elementos de respaldo. Cuando se realizan operaciones con snubbing se emplea una combinación de presión superficial más la presión hidrostática para controlar el pozo, figura C-4.

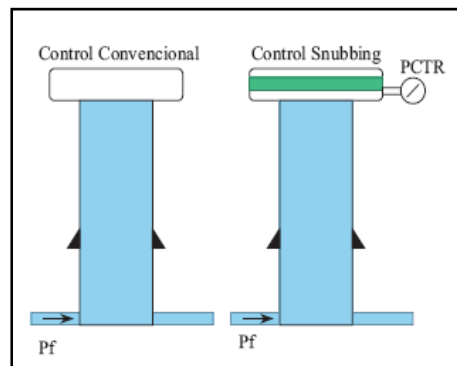


Figura C-4. Control de pozos convencional contra control de pozos con snubbing.

Para prevenir la entrada de fluido de formación en operaciones normales, tenemos:

$$P_{\text{formación}} \leq P_{\text{prof}} \times \frac{\text{Densidad del lodo}}{10} \tag{Ec. C.1}$$

Cuando se realizan operaciones con Snubbing esto se convierte en:

$$P_{\text{formación}} \leq \text{Profundidad} \times \frac{\text{Densidad del lodo}}{10 + P_s} \quad \text{Ec. C.2}$$

Los factores que previenen la entrada del fluido de formación en las operaciones normales son presión de formación, profundidad de formación y la densidad del fluido en el pozo. Un factor adicional para el snubbing es la presión superficial.

A continuación se muestra comparativo de presiones, en relación a una operación convencional y una operación snubbing, figura C-5. Note que la presión en todos los puntos por arriba de la profundidad total, en el caso del snubbing, es mayor que la presión en operaciones convencionales.

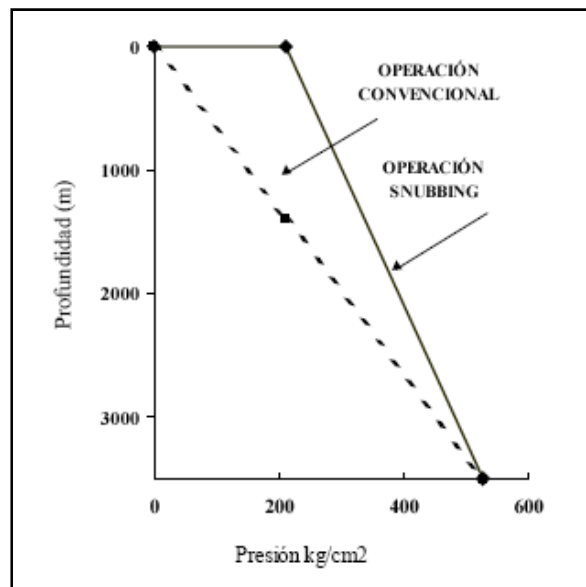


Figura. C-5. Comparativo de presiones según la operación.

REFERENCIAS

1. Grace Robert D. with contributions by: Bob Cudd, Richards S. Carden and Jerald L. Shursen. **Advanced Blowout and Well Control**. Gulf Publishing Company. 1994.
2. Petróleos Mexicanos. Pemex Exploración y Producción. **Un Siglo de la Perforación en México. Tomo 13 - Control de Brotes**.

APÉNDICE D  
GRAFICAS

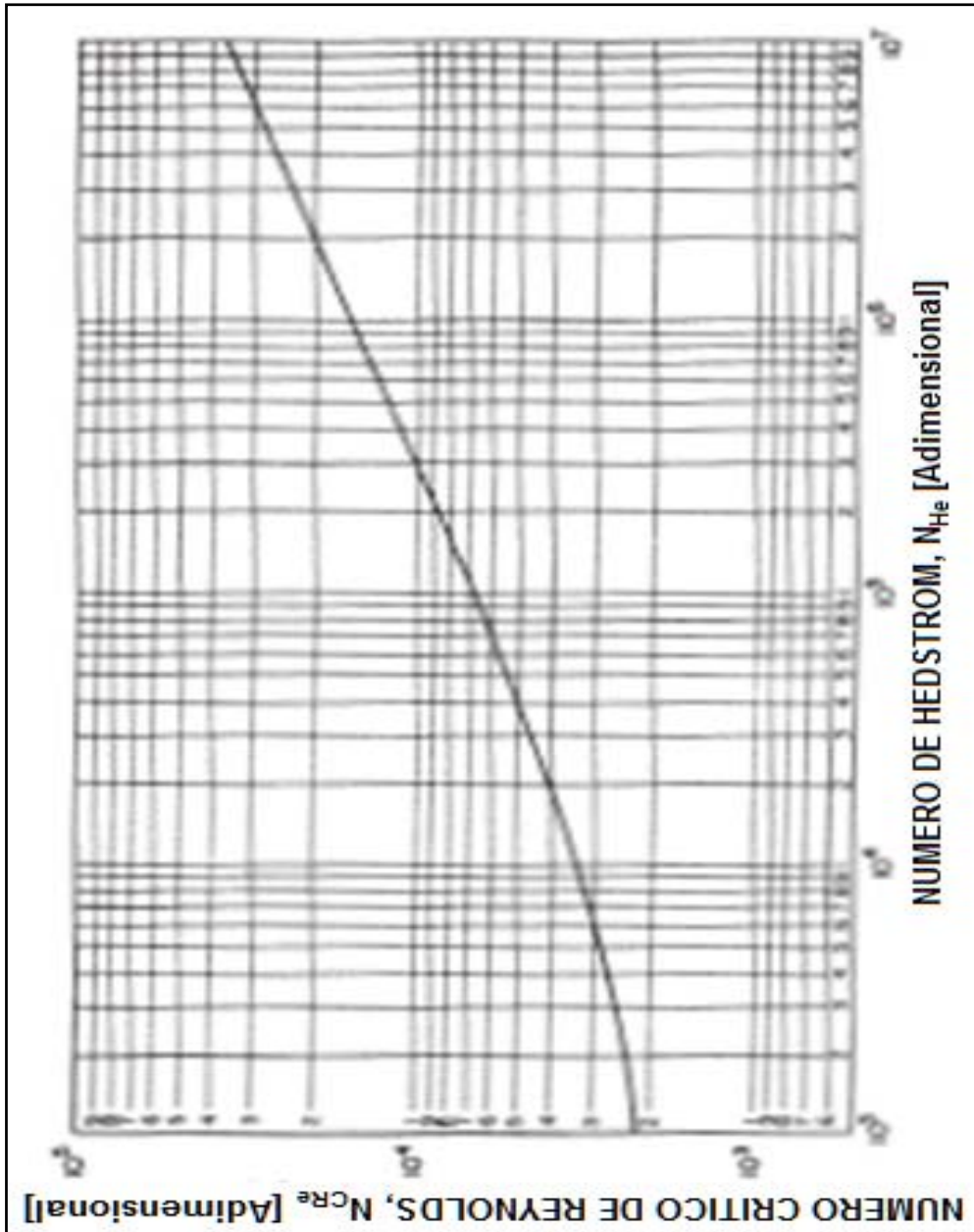
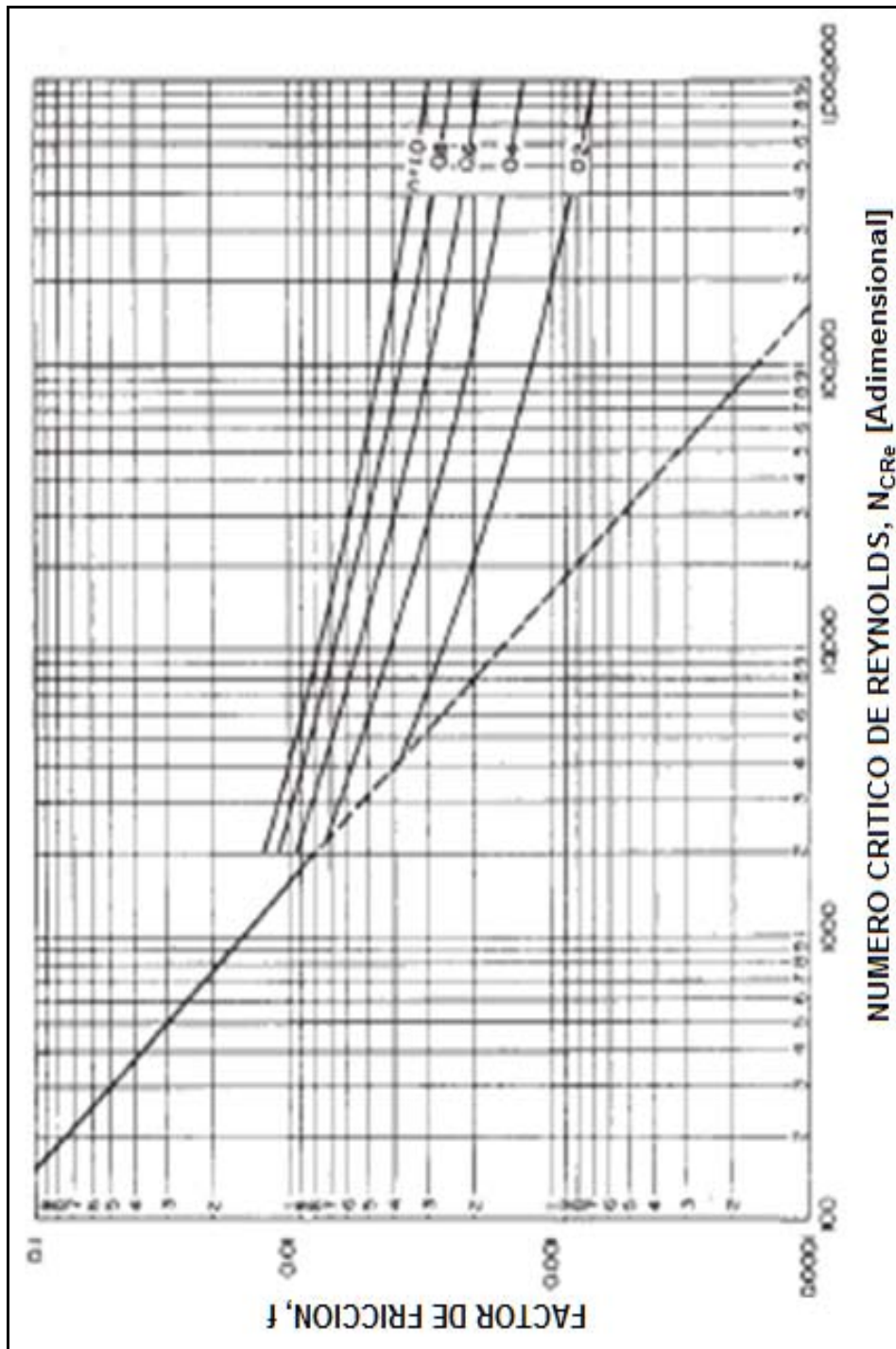


Figura D-1. Número crítico de Reynolds,  $N_{Re}^{CR}$ , para el modelo plástico de Bingham.<sup>1</sup>



NUMERO CRITICO DE REYNOLDS,  $N_{Re}$  [Adimensional]

Figura D-2. Número crítico de Reynolds,  $N_{Re}$ , para el modelo de Ley de Potencias.<sup>2</sup>

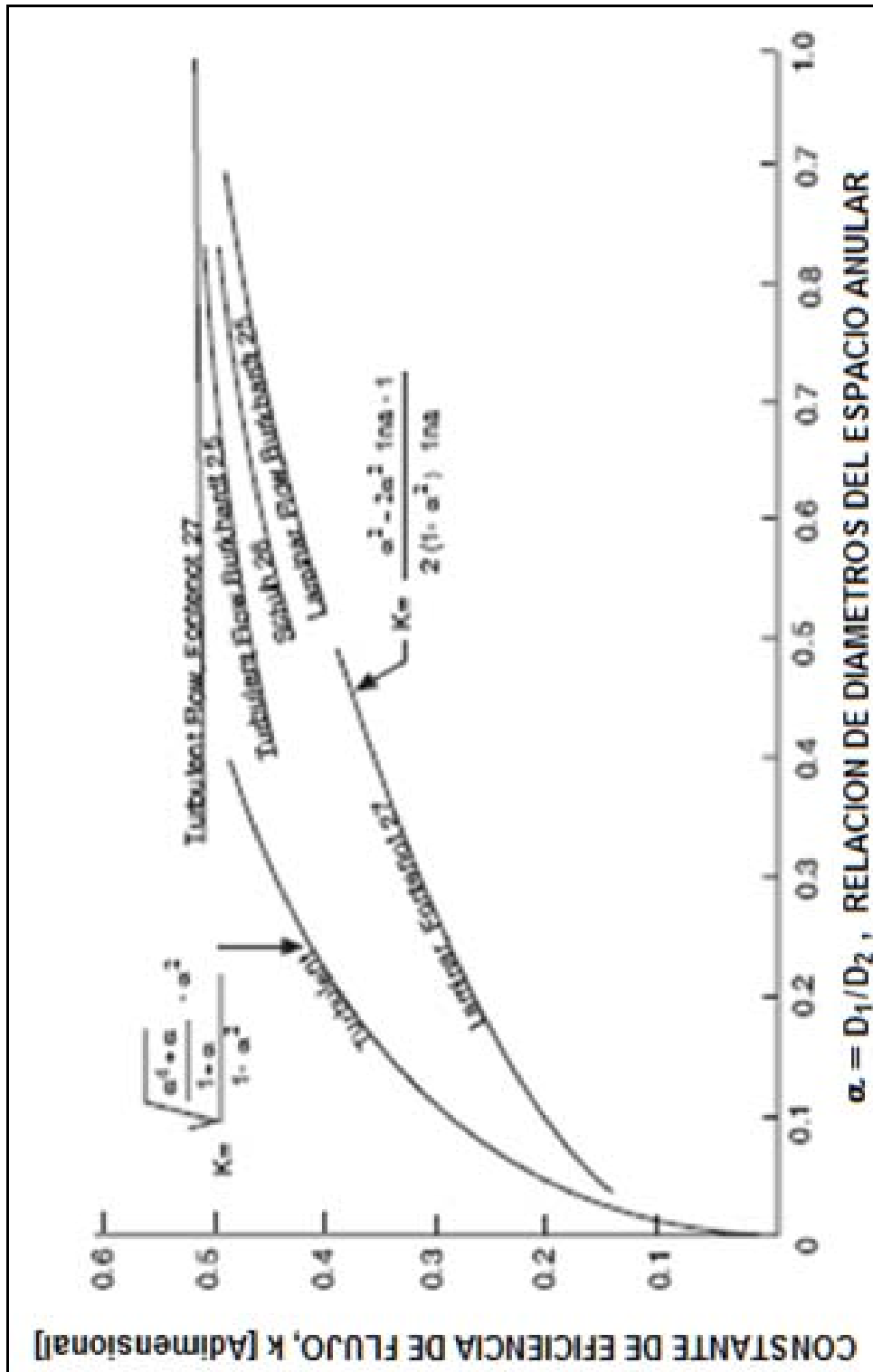


Figura D-3. Constante de eficiencia de flujo, k [Adimensional].<sup>3</sup>



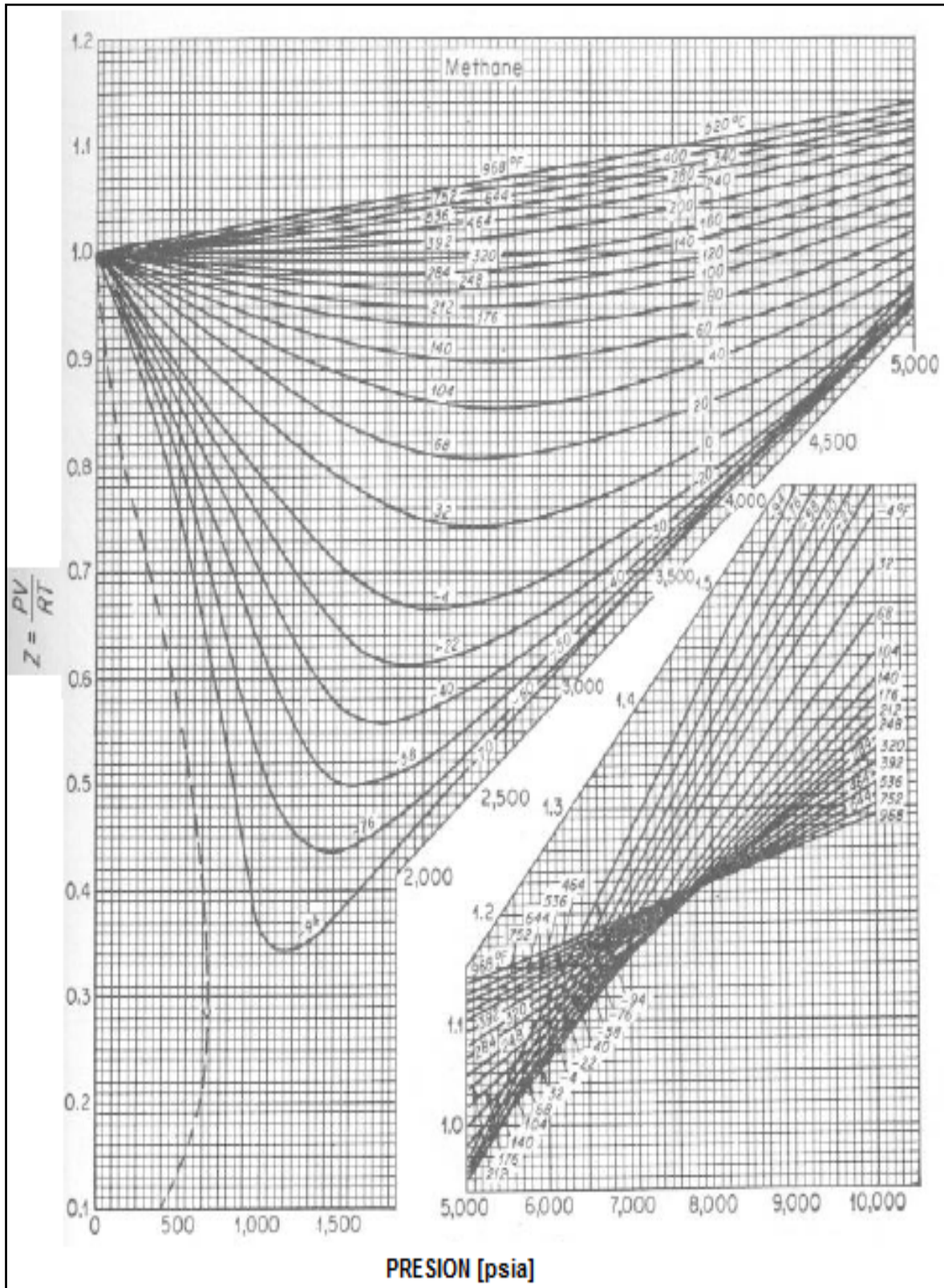


Figura D-4. Factor de compresibilidad, Z, para el metano.<sup>5</sup>

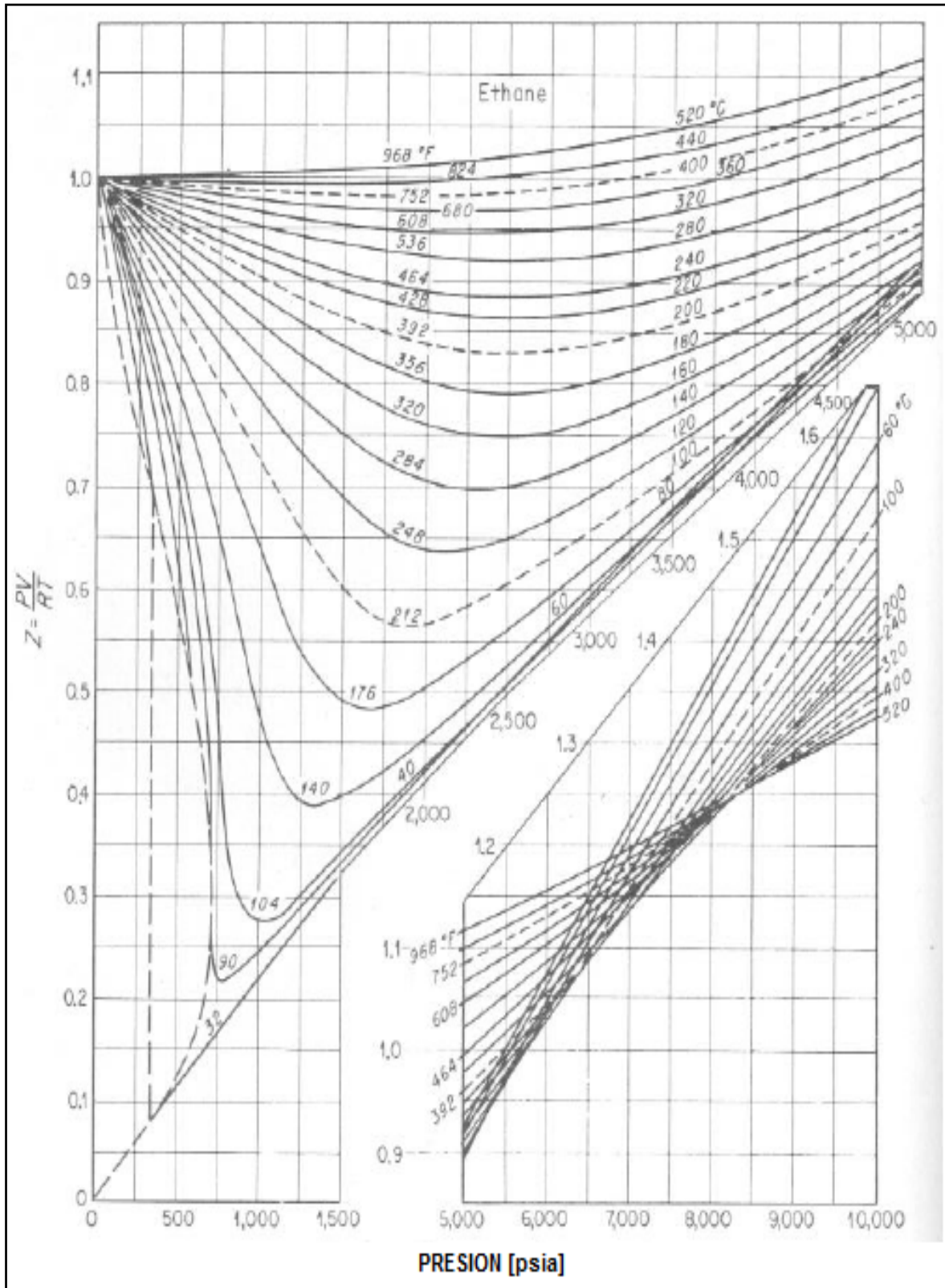


Figura D-5. Factor de compresibilidad, Z, para el etano.<sup>6</sup>

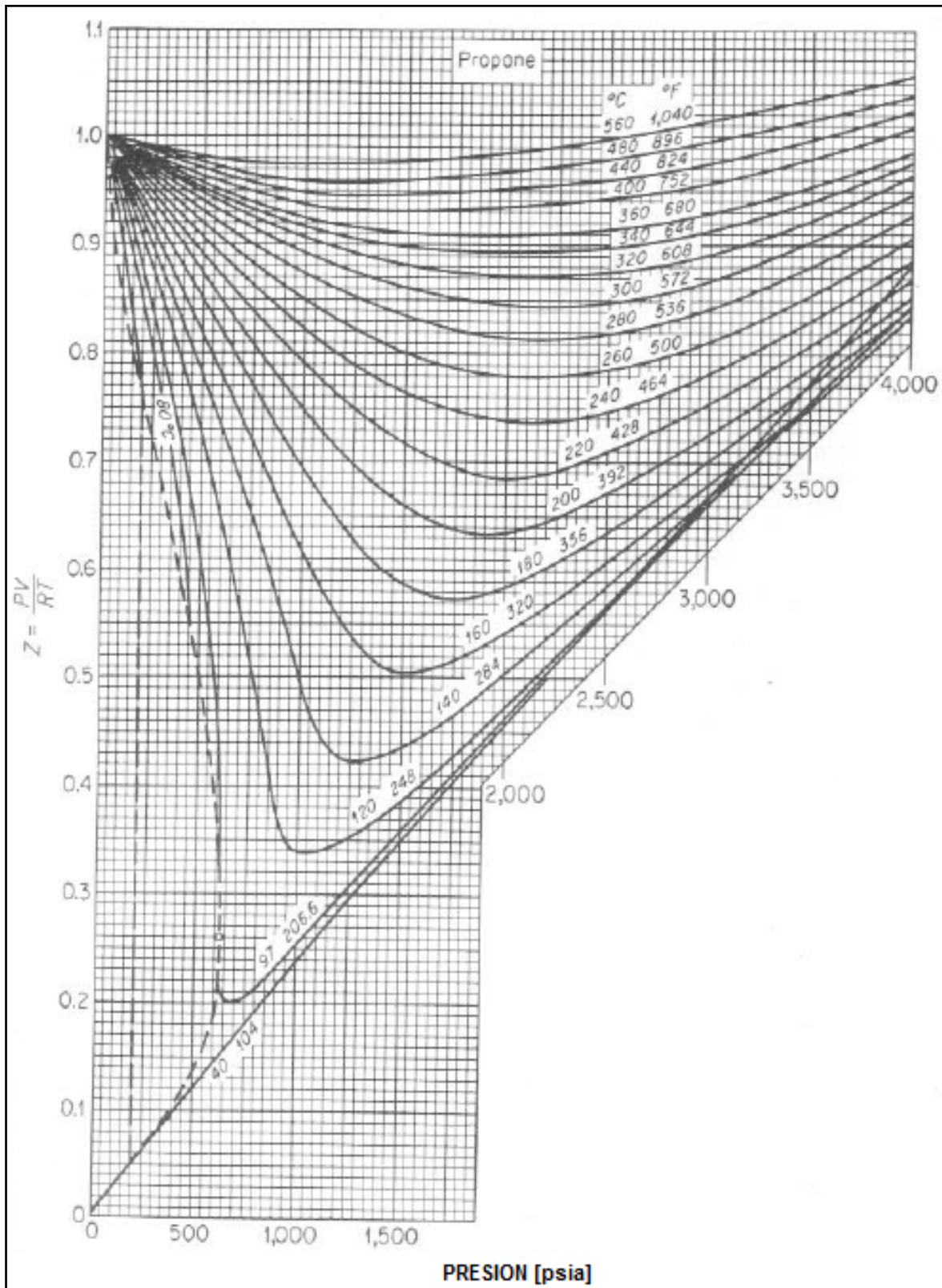


Figura D-6. Factor de compresibilidad, Z, para el propano.<sup>7</sup>

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Bourgoyne Jr. Adam T., Millheim Keith K., Chenevert Martin E., Young Jr F. S. **Applied Drilling Engineering**. Society of Petroleum Engineers.
  2. Bourgoyne Jr. Adam T., Millheim Keith K., Chenevert Martin E., Young Jr F. S. **Applied Drilling Engineering**. Society of Petroleum Engineers.
  3. Bourgoyne Jr. Adam T., Millheim Keith K., Chenevert Martin E., Young Jr F. S. **Applied Drilling Engineering**. Society of Petroleum Engineers.
  4. Bobok Ph. D. Elemér, **Fluid Mechanics for Petroleum Engineers**, Elsevier.
  5. Bobok Ph. D. Elemér, **Fluid Mechanics for Petroleum Engineers**, Elsevier.
  6. Bobok Ph. D. Elemér, **Fluid Mechanics for Petroleum Engineers**, Elsevier.
-

# APÉNDICE E

## HOJA DE CONTROL

<p><b>1.- INFORMACION PREVIA</b></p> <p><b>PRESIÓN REDUCIDA DE CIRCULACIÓN</b></p> <p>Nº 1 _____ @ _____ [kg/cm<sup>2</sup>] [EPM]</p> <p>Nº2 _____ @ _____ [kg/cm<sup>2</sup>] [EPM]</p>		<p><b>PRESIÓN POR FRICCIÓN EN LINEA DE ESTRANGULAR</b></p> <p>Nº 1 _____ @ _____ [kg/cm<sup>2</sup>] EPM</p> <p>Nº2 _____ @ _____ [kg/cm<sup>2</sup>] EPM</p>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>GASTO REAL DE LA BOMBA</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">100% gal/emb</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">x _____</td> <td style="text-align: center;">EFICIENCIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">= _____</td> <td style="text-align: center;">Qreal [gal/emb] x 3.785</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">= _____</td> <td style="text-align: center;">Qreal [lt/emb]</td> </tr> </table>		<b>GASTO REAL DE LA BOMBA</b>		_____	100% gal/emb	x _____	EFICIENCIA	= _____	Qreal [gal/emb] x 3.785	= _____	Qreal [lt/emb]						
<b>GASTO REAL DE LA BOMBA</b>																					
_____	100% gal/emb																				
x _____	EFICIENCIA																				
= _____	Qreal [gal/emb] x 3.785																				
= _____	Qreal [lt/emb]																				
<p><b>CAPACIDAD INTERIOR EN T.P.</b></p> <p>TP _____ [pg] _____ [lb/pie] _____ Cap [lt/m] X _____ long [m] = _____ TP [ft]</p> <p>TP _____ [pg] _____ [lb/pie] _____ Cap [lt/m] X _____ long [m] = _____ TP [ft]</p> <p>HW _____ [pg] _____ [lb/pie] _____ Cap [lt/m] X _____ long [m] = _____ TP [ft]</p> <p>DC _____ [pg] _____ D.I. [pg] _____ Cap [lt/m] X _____ long [m] = _____ TP [ft]</p>		<p><b>CAPACIDAD ANULAR</b></p> <p>VOL. ENTRE TR Y TP _____ [lt/m] X _____ Prof. Zapata [m] = _____ [ft]</p> <p>VOL. ENTRE Ag. Y TP _____ [lt/m] X _____ Long TP agujero descubierto [m] = _____ [ft]</p> <p>VOL. ENTRE Ag. T DC _____ [lt/m] X _____ Long Dc [m] = _____ [ft]</p>		<p>_____ [ft]</p> <p>Qreal [lt/emb] = Emboladas en la bna.</p> <p>_____ [ft]</p> <p>Qreal [lt/emb] = Emb. p/desplazar espacio anular</p>																	
<p><b>INFORMACION DE TR</b></p> <p>Diam. TR _____ [pg] _____ [kg/m] _____ [m] @ MD / TVD Prueba Zapata _____ [gr/cm<sup>2</sup>] Peso Grado Profundidad (PM / PVV) DEL</p>																					
<p><b>2.- LECTURAS</b> PCTP _____ [Kg/cm<sup>2</sup>] PCTR _____ [Kg/cm<sup>2</sup>] Inc. Vol. De Presas _____ [ft]</p>																					
<p><b>3.- DENSIDAD DE CONTROL</b></p> <p>( _____ x 10 / _____ ) + _____ = _____ Densidad de Control (Dc) Prof. Vertical Do [gr/cm<sup>2</sup>]</p>																					
<p><b>4.- PRESIÓN INICIAL DE CIRCULACIÓN (PIC)</b></p> <p>_____ [Kg/cm<sup>2</sup>] + _____ [Kg/cm<sup>2</sup>] = _____ [Kg/cm<sup>2</sup>] x 14.22 = _____ [lb/pg<sup>2</sup>] PCTP Presión reducida de circ. PIC</p>																					
<p><b>5.- PRESIÓN FINAL DE CIRCULACIÓN (PFC)</b></p> <p>( _____ x _____ ) / _____ = _____ [Kg/cm<sup>2</sup>] x 14.22 = _____ [lb/pg<sup>2</sup>] P. reduc circ [Kg/cm<sup>2</sup>] Dc [gr/cm<sup>2</sup>] Do [gr/cm<sup>2</sup>] PIC</p>																					
<p><b>6.- MAXIMA PRESIÓN PERMISIBLE EN EL INTERIOR DE TR</b></p> <p>( _____ - _____ ) x _____ / 10 = _____ [Kg/cm<sup>2</sup>] x 14.22 = _____ [lb/pg<sup>2</sup>] Prueba Zapata [gr/cm<sup>2</sup>] Do [gr/cm<sup>2</sup>] Prof. Zapata MAX PRE. TR</p>																					
<p><b>7.- CEDULA DE CONTROL</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">EMB</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;">EMB</td> </tr> <tr> <td>PIC</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>PFC</td> </tr> </table>						EMB							EMB	PIC							PFC
EMB							EMB														
PIC							PFC														

Figura E-1. Hoja de control de brotes.<sup>1</sup>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Petróleos Mexicanos PEP-UPMP. **Programa de Acreditación en Control de Pozos**, Well Cap.

APÉNDICE F

TABLAS DE PROBLEMAS Y SOLUCIONES DEL CONTROL DE POZOS

PRESIÓN EN TP	PRESIÓN EN ESPACIO ANULAR	ACCIÓN POR TOMAR	RESULTADO	PROBLEMAS	SOLUCIÓN	
Incremento	Incremento igual o mayor al de la TP.	Verificar el gasto de la bomba.	La velocidad de la bomba es demasiado rápida.	La presión de circulación es demasiado alta y la velocidad de la bomba, superior a lo planeado.	Disminuya la velocidad de la bomba a lo planeado. Si la presión se abate a lo calculado, es indicio que todo está bien, si no, continúe con la guía.	
		Incremente el diámetro del estrangulador.	Las presiones en TP y TR se abatirán.	El diámetro del estrangulador es demasiado pequeño.	Si la presión disminuye cuando el estrangulador se abra todo, está bien, si no, continúe con la guía.	
		Abra el estrangulador a toda su capacidad.	Las presiones en TP y TR se abatirán.	El diámetro del estrangulador es demasiado pequeño o se está tapando.	Si las presiones disminuyen todo está bien, si no, continúe con la guía.	
		Para la bomba.	Las presiones en TP y TR se abatirán.	El árbol de estrangulación comenzó a taparse.	Desvíe a una línea de estrangulación alterna y limpie la sección del árbol tapada. Si la presión no disminuye, continúe con la guía.	
		Cierre el pozo.	Las presiones permanecen arriba.	El árbol de estrangulación está tapado.	Desvíe a una línea de estrangulación alterna, si las presiones disminuyen, regrese al control del pozo; si no, continúe la guía.	
		Revise el gasto de la bomba.	La velocidad de la bomba es alta.	El árbol de estrangulación está tapado en o antes de la T.	Cierre la válvula maestra de la línea de matar, libere la presión del árbol y proceda a limpiarlo.	
					La presión de circulación es demasiado alta y la velocidad de la bomba, superior a lo planeado.	Disminuya la velocidad de la bomba a lo planeado. Si la presión se abate a lo calculado, todo está bien; si no, continúe la guía.
					Las presiones en TP y TR se abatirán.	Si la presión disminuye cuando el estrangulador se abra todo, está bien; si no, continúe la guía.
					La presión en TR disminuye, pero la de la TP sigue igual.	Con cortes grandes se deberá permitir más tiempo. Si la presión no se abate, continúe con la guía.
						Espera y observe. Si en menos de 2 minutos no se abate la presión en TP, quizá la respuesta del estrangulador no llega a TP de inmediato.

Tabla F-1.

PRESION EN TP	PRESION EN ESPACIO ANULAR	ACCION POR TOMAR	RESULTADO	PROBLEMAS	SOLUCION
Incremento.	Incremento muy alto.	Incremento el diámetro del estrangulador.	La presión en TP no disminuye.	Se formo un anillo en la barrena o está cerca de empacamiento.  Toberas tapadas.	Levante o mueva la tubería. Si la presión en la TP disminuye, todo está bien; si no, continúe con la guía.  Restaura la presión en TR al valor que tenía antes que ocurriera el problema. Registre la presión de TP como la nueva presión de circulación o, pare el bombeo, cierre el pozo y purgue la presión en TP permitiendo que la presión en TR permanezca constante.
Incremento (cambio drástico).	No cambia.	Verifique el gasto de la bomba.	La velocidad de la bomba es demasiado rápida.	La presión de circulación es demasiado alta y la velocidad de la bomba, es superior a lo planeado.	Disminuya la velocidad de la bomba a lo planeado. Si la presión se abate a lo calculado, es indicio que todo está bien; si no, continúe con la guía.
		Incremento el diámetro del estrangulador.	La presión que se obtiene en la TR es muy baja antes que la presión en TP disminuya.	Se formo un anillo en la barrena o está cerca del empacamiento.  Barrena tapada.	Levante o mueva la tubería. Si la presión en la TP disminuye, todo está bien, si no, continúe con la guía.  Tome la nueva presión en TP como una presión de circulación constante o; pare el bombeo y cierre el pozo y purgue la presión en TP, permitiendo que la presión de circulación permanezca constante.
		Abra el estrangulador.	La presión en TP no disminuye.	Barrena tapada.	Pare el bombeo y cierre el pozo; dispare o desprendra la barrena.

Tabla F-2.



PRESION EN TP	PRESION EN ESPACIO ANULAR	ACCION POR TOMAR	RESULTADO	PROBLEMAS	SOLUCION
No cambia.	Se abate o no cambia.	Aumente o disminuya el diámetro del estrangulador.	Las presiones al parecer no responden al movimiento del estrangulador.	Pérdida de circulación, mala cementación o hay una rotura en la TR, Verifique el nivel de presas.	Seleccione un nuevo gasto de circulación menor; adicione el material obstruyente al todo; coloque un tapón de barita.
Se abate.	Se abate.	Verifique el gasto de la bomba.  Disminuya el diámetro del estrangulador.	El gasto de la bomba es demasiado bajo.  Las presiones en TP y TR se incrementan.  Las presiones en TP y TR se incrementan.	La presión de circulaciones demasiado alta por que la velocidad de la bomba está por debajo de lo planeado.  El diámetro del estrangulador es demasiado grande.  Pérdida de circulación, mala cementación o hay una rotura en la TR, Verifique el nivel de presas.	Incremento el gasto de la bomba al gasto planeado. Si las presiones se incrementan todo está bien; si no, continúe la guía.  Si las presiones aumentan al disminuir el diámetro del estrangulador todo está bien; si no, continúe con la guía.  Vea el caso de "presión en TP no cambia"
		Cheque el gasto de la bomba.  Disminuya el diámetro del estrangulador	El gasto de la bomba es demasiado bajo.  Las presiones se incrementan.	La presión de circulaciones demasiado alta por que la velocidad de la bomba está por debajo de lo planeado.  El diámetro del estrangulador es demasiado grande.	Incremento el gasto de la bomba al gasto planeado. Si las presiones se incrementan todo está bien; si no, continúe la guía.  Si las presiones aumentan al disminuir el diámetro del estrangulador todo está bien; si no, continúe la guía.
Se abate.	No cambia.	Continúe disminuyendo el diámetro del estrangulador.  Cheque el gasto de la bomba.	Las presiones se incrementan, pero la flecha brinca y la presión en TP oscila.  La presión en TP permanece igual y la presión en TR se incrementa.  Las presiones en TP y TR se incrementan.	Problemas con la bomba.  Hay un orificio o ruptura en la TP.  Se lavó alguna junta en la TP o en la barrena.	Cambie la bomba o repárela.  Pare la bomba, cierre el pozo, tendrá que sacar la TP a presión para sustituir la junta o tramo dañado.  Considere el caso anterior.

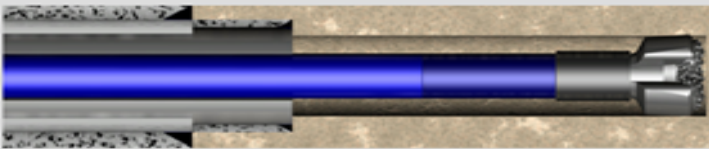
Tabla F-3.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Petróleos Mexicanos PEP-UPMP. Programa de Acreditación en Control de Pozos, Well Cap.

APÉNDICE G

EJERCICIOS RESUELTOS DE CONTROL DE POZOS

DATOS REGISTRADOS DIARIAMENTE DE LAS OPERACIONES		1 Completado Por: INGENIERO	
<b>Revestidor</b> DE (pulg) 13.375 DI (pulg) 12.415 Presión de Estallido (psi) 6,420 Factor Seg. (s) 70% P. Estallido (psi) 4,494 Revestidor 10,824 Prof. del Zapato PM (pie) 10,824 Revestidor 10,824 Prof. del Zapato PVV (pie)	<b>BOP</b> BOP 10,000 Presión Prueba (psi)	<b>VOLUMEN SUPERFICIE</b> Volumen Línea de Superficie (bbbl) 2.0 Volumen Tanque Activo (bbbl) 1,200	<b>BOMBAS</b> Bomba #1 Camisa (n.) 6.0 Carrera (n.) 12.0 Desplazamiento 0.0998 Bomba (bbbl/emb.) Presión 4175 Máxima de Bomba (psi) 4175 Velocidad de Bomba/Control (Bomba Reducida)
<b>Revestidor</b> DE (pulg) 13.375 DI (pulg) 12.415 Presión de Estallido (psi) 6,420 Factor Seg. (s) 70% P. Estallido (psi) 4,494 Revestidor 10,824 Prof. del Zapato PM (pie) 10,824 Revestidor 10,824 Prof. del Zapato PVV (pie)	<b>BOP</b> BOP 10,000 Presión Prueba (psi)	<b>PRUEBA DE FORMACION</b> Presión 2,200 De Goteo con Lodo de Prueba (MAASP) (psi) 11.0 Lodo de Prueba (ppg) 9.460 Profundidad del Revestidor o Liner (pie) 15.4 Máximo Peso de Lodo (ppg)	<b>BOMBAS</b> Bomba #2 Camisa (n.) 6.0 Carrera (n.) 12.0 Desplazamiento 0.0998 Bomba (bbbl/emb.) Presión 4175 Máxima de Bomba (psi) 4175 Velocidad de Bomba/Control (Bomba Reducida)
<b>LINER</b> DE (pulg) DI (pulg) Presión de Estallido (psi) Factor Seg. (s) P. Reventon (psi) Parte Superior de Liner (pie) Prof. del Liner (pie) Prof. del Zapato PM (pie) Prof. del Zapato PVV (pie)		<b>PESO LODO PRESENTE</b> Lodo (ppg) 12.0 <b>PREISION DE INTEGRIDAD</b> Presión 1,673 De Integridad con Lodo de Presente (MAASP)	<b>Tasa de Bomba</b> Tasa de Bomba (emb./min) Presión de Bomba (psi) Tasa de Circulación (bbbl/min) Bomba 1 Bomba 2
<b>TUBERÍA</b> DE (pulg) 5.000 DI (pulg) 4.276 Cap. (bbbl/pe) 0.01776 Long. PM (pie) 16,708	<b>TUBERÍA EXTRA PE SADA</b> DE (pulg) 5.000 DI (pulg) 3.000 Cap. (bbbl/pe) 0.0088 Long. PM (pie) 354.24	<b>CAPACIDADES ANULARES ENTRE (bbbl/pe)</b> Lastrabarena y Pozo Abierto 0.0837 Tub. Extra Pesadas y Pozo Abierto 0.1215 Tubería y Pozo Abierto 0.1215 Tubería y Liner 0.1255 Tubería y Revestidor	Notas del Turno A LAS 20:45 HORAS SE DETECTO INCREMENTO DE VOLUMEN EN LA PRESA DEL FLUIDO DE CONTROL.
<b>LASTRABARENA</b> DE (pulg) 8.000 DI (pulg) 3.000 Cap. (bbbl/pe) 0.0087 Long. (pie) 321.44	<b>TAMANO DEL POZO</b> Medida Barrena 12.250 (pulg)	<b>OPERACION DE CONTROL DE POZO</b> Determinación de las Presiones Estabilizadas de Tubería y Revestidor para Completar la Hoja Hora 8:50 PM Tiempo (Min.) PCIT 811 PCIR 885	Información Requerida Para Completar la Hoja y Asistir en las Operaciones de Control del Pozo Prof. del Kick/Presión de Barrera/Fondo Pozo (psi) 811 Cierre de Tubería (psi) del Kick PM (pie) 17,384 Presión de PVV (pie) 10,824 Cierre de Revestidor (psi) Presente
<b>LONGITUD TOTAL DE LA SARTA</b> Total Longitud PM (pie) 17,384	<b>Información Requerida Para Completar la Hoja y Asistir en las Operaciones de Control del Pozo</b> Presión y Velocidad de Bombeo del Pozo: Tamaño del Kick (psi) 811 Bomba # 3 Tasa de Bombeo (bbbl/min) 12.0 Presente (psi) 40 Presente (psi) 1,460	Determinación de las Presiones Estabilizadas de Tubería y Revestidor para Completar la Hoja Hora 8:50 PM Tiempo (Min.) PCIT 811 PCIR 885	Notas del Turno A LAS 20:45 HORAS SE DETECTO INCREMENTO DE VOLUMEN EN LA PRESA DEL FLUIDO DE CONTROL.

CALCULOS DE CONTROL DE POZO										
<b>Datos de Control de Pozo:</b>					<b>Pozo Vertical Terrestre</b>					
Peso de Lodo de Control		Presión de Cierre de Tubería		+ 0.052		Prof. del Kick/Barrena/Fondc Pozo		+ Peso del Lodo Presente		
= 811		= 40		= 1460		= 10824		= 12.0		
(psi)		(psi)		(psi)		(ft)		(ppg)		
<b>Datos de la Circulación de Control del Pozo:</b>										
Bomba #	Velocidad de Tasa de Control	= Presión de Tasa de Control		+ Presión Inicial de Circulación - PIC		= Presión Final de Circulación PFC		= Tasa de Bomba		
1	40	= 811		= 1460		= 1643		= 0.0998		
	(Emb./min)	(psi)		(psi)		(psi)		(bbls/emb.)		
<b>Presión Inicial de Circulación - PIC</b>										
Presión de Cierre de Tubería	+ Presión de Tasa de Control		= Presión Inicial de Circulación - PIC							
811	+ 1460		= 2271							
(psi)	(psi)		(psi)							
<b>Presión Final de Circulación - PFC</b>										
Presión de Tasa de Control	+ Peso de Lodo de Control		= Presión Final de Circulación PFC							
1460	+ 13.5		= 12.0							
(psi)	(ppg)		(ppg)							
<b>DATOS DEL VOLUMEN, EMBOLADAS Y TIEMPO DE LA SARTA Y EL ANULAR</b>										
<b>Datos de Volumen de la Sarta:</b>		Capacidad (bbls/pie)		+ Volumen Desplaz. Bomba		= Volumen Emboladas		+ Tasa de Control		
Longitud PM (pie)	X	= (bbls/emb.)		= (emb.)		= (mins.)				
16,708	X	= 2.0		= 21		= 1				
Volumen Línea de Superficie		= 297.5		= 2981		= 40		= 75		
Tubería		= 3.2		= 33		= 40		= 1		
Tubería Extra Pesadas		= 2.8		= 29		= 40		= 1		
Lastra Barrena		= 305.5		= 3064		= 78		= 78		
		Total Superficie Barrena		Emboladas		Total Superficie Barrena		Minutos (aprox.) Superficie-Barrena		
<b>Datos de Volumen Anular: Entre</b>										
Longitud PM (pie)	X	= Volumen		+ Desplaz. Bomba		= Volumen Emboladas		+ Tasa de Control		
Capacidad (bbls/emb.)		= (bbls)		= (emb.)		= (mins.)				
321	X	= 27.0		= 271		= 40		= 7		
354	X	= 43.1		= 432		= 40		= 11		
5884	X	= 715.0		= 7165		= 40		= 180		
10824	X	= 1358.5		= 13613		= 40		= 341		
		Volumen Total Barrena a Superficie		Emboladas		Total Superficie Barrena		Minutos		
		= 2143.6		= 21481		= 539		Totales Barrena Superficie		
		Volumen Total Superficie a Superficie		Emboladas Totales Superficie a Superficie		Minutos Totales Superficie a Superficie		Barrena a Zapata del Revestidor		
		= 2449.1		= 24545		= 617		= 785.1		
		Volumen Total Superficie a Superficie		Emboladas Totales Superficie a Superficie		Minutos Totales Superficie a Superficie		= 7868		
		= 2449.1		= 24545		= 617		= 198		
		Volumen Total Superficie a Superficie		Emboladas Totales Superficie a Superficie		Minutos Totales Superficie a Superficie		(mins.)		
		= 2449.1		= 24545		= 617				
<b>DATOS TOTALES DEL POZO, CIRCULACIÓN DE CONTROL:</b>										
<b>Datos de la Resistencia de la Formación y Concideración de Presión:</b>										
Máximo Peso de Lodo Permitted	Presión de Integridad		+ Zap. Revestidor ó Liner PVV		= Peso de Lodo de Integridad		+ Peso de Lodo de Integridad		= Máximo de Lodo	
	(psi)		(pie)		(ppg)		(pie)		(ppg)	
	= 2,200		= 9,460		= 11.0		= 11.0		= 15.4	
Máxima Presión Anular Permitida en Superficie con Lodo Presente	Peso Máximo de Lodo		- Peso del Lodo Presente		= Máxima Presión Anular Permitida en Superficie con Lodo de Control		+ Zap. Revestidor ó Liner PVV		= Nueva Presión Integ. /Fractura MAASP	
	(ppg)		(ppg)		(pie)		(pie)		(psi)	
	= 15.4		= 12.0		= 9,460		= 9,460		= 1,673	
Máxima Presión Anular Permitida en Superficie con Lodo de Control	Peso Máximo de Lodo		- Peso de Lodo de Control		= Máxima Presión Anular Permitida en Superficie con Lodo de Control		+ Zap. Revestidor ó Liner PVV		= Nueva Presión Integ. /Fractura MAASP	
	(ppg)		(ppg)		(pie)		(pie)		(psi)	
	= 15.4		= 13.5		= 9,460		= 9,460		= 935	

Página 3 de 3

**LISTA DE INFORMACION PREVIA AL COMENZAR LA OPERACION DEL CONTROL DEL POZO**

**Datos del Kick:**

Profundidad del Kick PM (pie)	17,384	Profundidad del Kick PVV (pie)	10,824	Presión de Cierre de Tubería (psi)	811	Presión de Cierre Revestidor (psi)	885	Volumen del Kick (bbbls)	3.0
-------------------------------	--------	--------------------------------	--------	------------------------------------	-----	------------------------------------	-----	--------------------------	-----

**Concideración de los Datos del Fluido y Presión del Pozo:**

Presión de Estallido Concliderando el Factor de Seguridad(psi)	4,494	Máximo Peso de Lodo (ppg)	15.4	Peso de Lodo Presente (ppg)	12.0	Presión De Integridad con Lodo de Presente (MAASP)	1,673	Peso de Lodo de Control (ppg)	13.5	Presión De Integridad con Lodo de Control (MAASP)	935
--	-------	---------------------------	------	-----------------------------	------	--	-------	-------------------------------	------	---	-----

**Datos de la Tasa de Circulación y Presión:**

Bomba Seleccionada Para Control del Pozo (#)	1	Tasa De Control (Emb/min)	40	Tasa De Circulación (bbbls/min)	4.0	Presión Inicial de Circulación - PIC (psi)	2271	Presión Final de Circulación - PFC (psi)	1643
--	---	---------------------------	----	---------------------------------	-----	--	------	--	------

**Datos de la Circulación del Control del Pozo:**

Volumen (bbbls)		Emboladas (stks)		Minutos (mins.)	
Superficie a Barrena	305.5	3064	78		
Barrena a Zap. Liner ó Revestidor	785.1	7868	198		
Barrena a Superficie	2143.6	21481	539		
Superficie a Superficie	2449.1	24545	617		

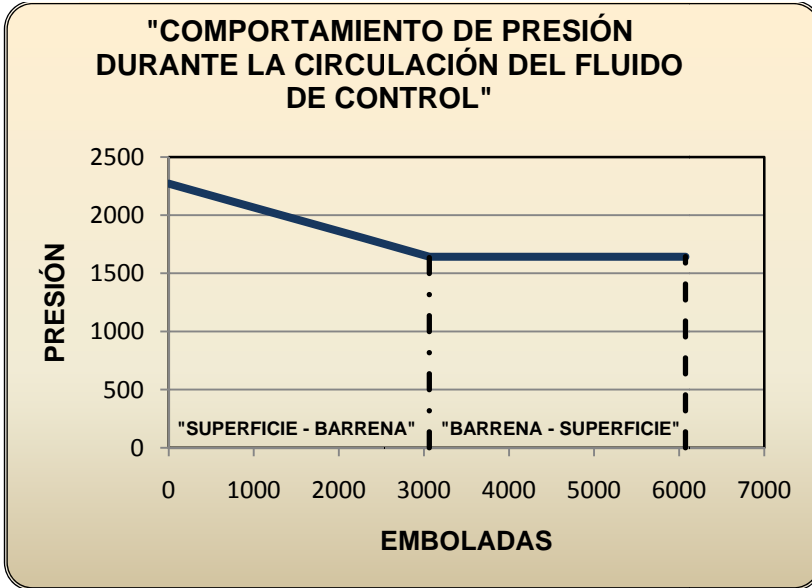
**Cuadro De Presiones**

Emboladas	PIC	Tiempo
0	2271	0
1	2208	8
2	2145	16
3	2083	24
4	2020	32
5	1957	40
6	1894	48
7	1831	56
8	1769	64
9	1706	72
10	1643	78
Barrena	PFC	Mins. a Barrena
Emb. a Barrena	(PIC - PFC)	Emb. a Barrena
Barrena →10 =	+ 10 = Psi	-Gasto de Control →10 =
Emb. Por Etapa	Calda por Etapa	Min por Etapa
307	63	8

**Notas del Control**

LLEVAR A CABO EL CONTROL DEL POZO CON EL METODO DE DENSIFICAR Y ESPERAR (METODO DEL INGENIERO).

La grafica que representa el comportamiento de las emboladas con respecto a la presión es la siguiente:

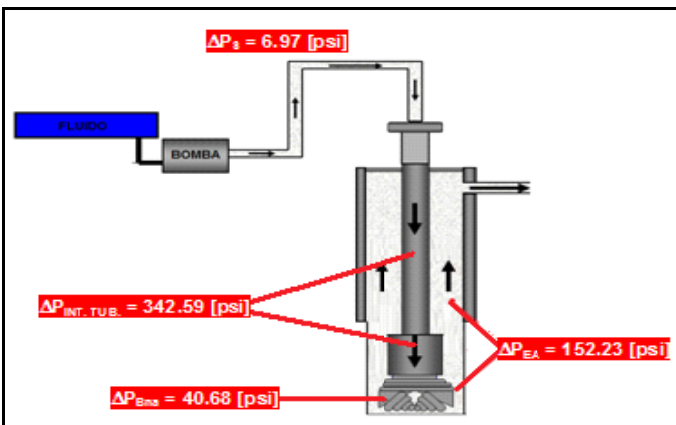


En la figura G-1 podemos observar el comportamiento de la presión durante la circulación del fluido de control.

Figura G-1.

En la primera etapa, el nivel máximo de presión corresponde a la presión inicial de circulación, esta presión disminuye a medida que es circulado el fluido de control, desde la superficie hasta la barrena por el interior de la tubería.

En la segunda etapa se debe mantener la presión en TP constante, desde la barrena hasta la superficie por el espacio anular.



Las caídas de presión en el sistema al circular el fluido de control son las siguientes:

- $\Delta P_s = 6.97$  [psi]
- $\Delta P_{INT. TUB.} = 342.59$  [psi]
- $\Delta P_{Bna} = 40.68$  [psi]
- $\Delta P_{EA} = 152.23$  [psi]

Figura G-2.

---

Con base a lo anterior, al calcular la densidad equivalente de circulación obtenemos lo siguiente:

$$\rho_{fc} = 13.5 \text{ [lb / gal]} \times 0.119826 = 1.617 \text{ [gr /cm}^3\text{]}$$

$$\text{Prof} = 17384 \text{ [ft]} \times 0.3048 = 5300 \text{ [m]}$$

$$DEC = \rho_{fc} + \frac{0.704 \times \Delta P_{EA}}{H} = 1.617 + \frac{0.704 \times 152.23}{5300} = 1.637 \left[ \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$\therefore DEC = 1.637 \text{ [gr /cm}^3\text{]}$$

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wild Well Control, **Well Control Killsheets Ver. 10.11.**