



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA EN PETRÓLEO**

TEMA:

**“DISEÑO DE LA VENTANA OPERATIVA PARA ASENTAMIENTO
DE TUBERÍA DE REVESTIMIENTO (TR’S) EN EL POZO EPD DEL
ORIENTE ECUATORIANO”**

**PROYECTO PRÁCTICO DEL EXAMEN COMPLEXIVO
“CASO PRÁCTICO”**

AUTOR:

ERNESTO GEOVANNY PANCHANA DE LA O

TUTOR:

ING. ROMEL ÁNGEL ERAZO BONE, MS.c.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2022

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEO

TEMA:

**“DISEÑO DE LA VENTANA OPERATIVA PARA
ASENTAMIENTO DE TUBERÍA DE REVESTIMIENTO (TR’S) EN
EL POZO EPD DEL ORIENTE ECUATORIANO”**

**PROYECTO PRÁCTICO DEL EXAMEN COMPLEXIVO
“CASO PRÁCTICO”**

AUTOR:

ERNESTO GEOVANNY PANCHANA DE LA O

TUTOR:

ING. ROMEL ÁNGEL ERAZO BONE, MS.c.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2022

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Marllelis Gutiérrez Hinestroza,
PhD.

**DIRECTORA DE LA CARRERA
DE PETRÓLEOS**



Ing. Romel Erazo Bone, MSc.

DOCENTE TUTOR



Lcda. Erica Lorenzo García, PhD.

DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Carlos Portilla Lazo, MSc.

**DOCENTE GUÍA DE LA UIC
DELEGADO**



Ing. David Vega González

SECRETARIO

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía y brindarme sabiduría, a mi familia por todo su apoyo e infinita motivación.

CARTA DE ORIGINALIDAD

Ing. Marllelis Gutiérrez Hinestroza, PhD
Director/a de la Carrera de Petróleos
Universidad Estatal Península de Santa Elena

Cumpliendo con los requisitos exigidos, envío a Uds. La Tesina Titulada “**DISEÑO DE LA VENTANA OPERATIVA PARA ASENTAMIENTO DE TUBERÍA DE REVESTIMIENTO (TR’S) EN EL POZO EPD DEL ORIENTE ECUATORIANO**”, para que se considere la Sustentación, señalando lo siguiente:

1. La investigación es original.
2. No existen compromisos ni obligaciones financieras con organismos estatales ni privados que puedan afectar el contenido, resultados o conclusiones de la presente Investigación.
3. Constatamos que la persona designada como autor es el responsable de generar la versión final de la investigación.
4. El Tutor certifica la originalidad de la investigación y el desarrollo de la misma cumpliendo con los principios éticos.

Autor: Ernesto Geovanny Panchana De La O

Firma: 

N° de cedula 2450060427

Correo: ernesto.panchanadelao@upse.edu.ec

Tutor: Ing. Romel Ángel Erazo Bone MSC.

Firma 

N° de Cedula 0802990838

Correo: raerazo@upse.edu.ec

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente durante toda la vida.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, por ser mi alma mater, gracias por brindarme los elementos necesarios para realizar mi desarrollo profesional.

A la carrera de Ingeniería en Petróleo, por los conocimientos que recibí a través de los catedráticos, en el camino de mi formación como ingeniero.

A mis profesores, por transmitirme sus conocimientos y prepararme para incursionar en el ámbito laboral.

A mi tutor Ingeniero Romel Erazo Bone, por apoyarme y enseñarme sobre mi tema de selección para titularme y seguirme motivando a crecer como profesional.

CONTENIDO

Pág.

DEDICATORIA	iii
CARTA DE ORIGINALIDAD	iv
AGRADECIMIENTOS	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPITULO I: EXPOSICIÓN DEL CASO PRÁCTICO	12
1.1 PROBLEMÁTICA DETECTADA	12
1.2 OBJETIVO	13
1.2.1 Objetivo General	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
1.3 ALCANCE.....	14
1.4 VARIABLES	14
1.4.1 Variables Dependientes	14
1.4.2 Variables Independientes	14
CAPITULO II: RESOLUCIÓN DEL CASO PRÁCTICO	15
2.1 METODOLOGÍA PROPUESTA PARA RESOLUCIÓN	15
2.1.1 Calcular la presión de sobrecarga.	15
2.1.2 Determinar los intervalos de lutitas limpias.	16
2.1.3 Calcular la presión de poro por Método de (Eaton, 1975).	16
2.1.1 Calcular la presión de fractura.	19
2.1.2 Asentamiento de tuberías de revestimiento.....	20
2.2 RESOLUCIÓN DEL CASO PRÁCTICO	21
2.2.1 Gradiente de sobrecarga	22

2.2.2	Gradiente de presión de poro	22
2.2.3	Gradiente de presión de fractura	23
2.2.4	Selección de profundidad de asentamiento	24
2.2.5	Selección de la geometría del pozo.....	26
CAPITULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS		29
3.1	ASENTAMIENTO DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	29
CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		34
4.1	CONCLUSIONES	34
4.2	RECOMENDACIONES.....	34
BIBLIOGRAFÍA		35

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Profundidades y densidades de formaciones atravesadas durante la perforación (Balderas & Cisnero, 2015).....	16
Figura 2. Unión de puntos de lutita en el pozo EPD.	17
Figura 3. Tendencia normal vs tendencia observada del pozo EPD.	18
Figura 4. Procedimiento de selección de puntos de asentamiento de revestidores (Pérez, 2013).....	21
Figura 5. Ventana operativa del pozo EPD.	26
Figura 6. Diagrama de selección de diámetros de TR'S y barrenas (Pemex, 2008)	27
Figura 7. Selección de diámetros de TR'S y barrenas.....	27
Figura 8. Esquema estado mecánico.....	28
Figura 9. Asentamiento de la tubería de explotación.	29
Figura 10. Asentamiento de la tubería intermedia 2.....	30
Figura 11. Asentamiento de la tubería intermedia 1.....	31
Figura 12. Asentamiento de la tubería superficial.	32
Figura 13. Ventana operativa con los asentamientos de las TR'S del pozo EPD.	33

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1: Margen de control para presión de poro (Pemex, 2008)	13
Tabla 2: Margen de control para la presión de fractura (Pemex, 2008)	13
Tabla 3: Valores de gradiente de sobrecarga del pozo EPD.....	22
Tabla 4. Valores de gradiente de presión de poro del pozo EPD.	23
Tabla 5: Valores de gradiente de presión de fractura del pozo EPD.....	24
Tabla 6: Densidades equivalentes de lodo del pozo EPD.	25

“DISEÑO DE LA VENTANA OPERATIVA PARA ASENTAMIENTO DE TUBERÍA DE REVESTIMIENTO (TR’S) EN EL POZO EPD DEL ORIENTE ECUATORIANO”

Autor: Panchana De La O Ernesto Geovanny

Tutor: Erazo Bone Romel Ángel

RESUMEN

El presente caso práctico se realizará con el objetivo de diseñar la ventana operativa para asentamiento de tubería de revestimiento en el pozo EPD del Oriente Ecuatoriano, con el fin de mantener la integridad del pozo estudiado durante la perforación, que generalmente presenta inconvenientes producidos por sobrepresiones.

En el desarrollo del proyecto para generar las curvas de presión de formación y fractura se utiliza datos de un pozo perteneciente a un campo del Oriente Ecuatoriano en donde se interpretan los datos de los registros gamma ray, sónico y densidad. Se muestran las gráficas de los registros obtenidos con los datos ingresados en una hoja de cálculo en formato Excel. Para esto se utiliza el método de Eaton para determinar la predicción de geopresiones.

Los resultados que se generan a partir del método de predicción de geopresiones permiten identificar las zonas donde existen influjos o sobrepresiones a nivel de la profundidad. Se concluyó que a la hora de diseñar los asentamientos de las TR’S debemos tener en cuenta una buena predicción de geopresiones, ya que un buen diseño de asentamiento proporciona el recubrimiento necesario para que la formación se encuentre protegida de condiciones tales como: pérdida de circulación, brotes y pegaduras de tubería de perforación.

PALABRAS CLAVE: *Tubería de revestimiento – Presión de Poro – Presión de Fractura – Ventana operativa - Registro de densidad, Registro sónico y Registro gama ray.*

“DESIGN OF THE OPERATING WINDOW FOR SETTING THE (TR’S) CASING IN THE EPD WELL IN EASTERN ECUADOR”

Autor: Panchana De La O Ernesto Geovanny

Tutor: Erazo Bone Romel Ángel

ABSTRACT

The present practical case will the objective of designing the operative window for the casing settlement in the EPD well of the Ecuadorian East, in order to maintain the integrity of the studied well during drilling, which generally has drawbacks caused by overpressures.

In the development of the project to generate the formation and fracture pressure curves, data of a well from a field in the Ecuadorian East is used, where the data from the gamma ray, sonic and density logs are interpreted. The graphics of the records obtained are shown with the entered data in a spreadsheet in excel format. For this, the Eaton method is used to determine the prediction of geopressures.

The results generated from the geopressure prediction method allow to identify the zones where there are inflows or overpressures at the depth level. It was concluded that when designing the settlements of the TR’S we must take into account a good prediction of geopressures, since a good settlement design provides the necessary cover, so that the formation is protected from conditions such as: loss of circulation, breakouts and drill pipeline sticking.

KEYWORDS: *Coating pipeline – Pore pressure – Fracture pressure – Operative window - Density log – Sonic log – Gamma ray log.*

CAPITULO I: EXPOSICIÓN DEL CASO PRÁCTICO

1.1 PROBLEMÁTICA DETECTADA

En la Cuenca Oriente se encuentra grandes reservas de hidrocarburo bajo el subsuelo, pero al ser pozos en su mayoría de más de 8000 pies de profundidad se requiere una eficiente planificación de pozos petroleros, porque es fundamental determinar la profundidad de asentamiento de tuberías de revestimiento; ya que estas proporcionan el recubrimiento necesario para que la formación se encuentre protegida de condiciones tales como: pérdida de circulación, brotes y pegaduras de tuberías de perforación.

El pozo EPD que se encuentra ubicado en el Oriente Ecuatoriano se corrieron los siguientes registros geofísicos: gamma ray (Gr), neutrónico (NPHI), densidad (RHOB) y sónico (DT). La selección adecuada de los asentamientos de tubería de revestimiento es un aspecto fundamental para asegurar el éxito en los proyectos de perforación. Al no existir una selección de asentamientos de las TR'S adecuada, la producción del pozo se puede ver afectada en el futuro.

De acuerdo con los datos del pozo EPD:

- El pozo tiene una profundidad de 10115 ft.
- Al generar las curvas de presión de poro y fractura se establecen los márgenes de control Tabla 1 y Tabla 2:
- Selección de los tamaños de la broca y de la tubería de revestimiento para cada sección. Utilice una tubería de revestimiento de producción de 4 in OD.

Tabla 1: Margen de control para presión de poro (Pemex, 2008)

Margen de presión de poro	Valor (gr/cc)	Gradiente recomendado (gr/cc)
Viaje succión y empuje	0.024 – 0.060	0.030
Seguridad	0.024 – 0.060	0.025
	Total	0.055

Tabla 2: Margen de control para la presión de fractura (Pemex, 2008)

Margen de presión de fractura	Valor (gr/cc)	Gradiente recomendado (gr/cc)
Viaje succión y empuje	0.024 – 0.060	0.030
	Total	0.030

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo General

Diseñar una ventana operativa para asentamiento de tuberías de revestimiento mediante el uso de registros de pozo para determinar con mayor precisión las curvas de presión de poro y presión de fractura en un campo del Oriente Ecuatoriano.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Interpretar los registros de pozo para evaluar las formaciones.
- Calcular la presión de sobrecarga, presión de poro y presión de fractura a partir del modelo de Eaton.
- Diseñar la ventana operativa para los asentamientos de tubería de revestimiento.
- Selección de la geometría del pozo.

1.3 ALCANCE

En este trabajo se realizará un diseño de la ventana operativa para asentamientos de tuberías de revestimiento en el pozo EPD del oriente ecuatoriano, para prevenir problemas durante la perforación. Contamos con los datos de registros de pozo (Gamma ray, densidad y sónico), usando el método de Eaton con el fin de determinar la presión de sobrecarga, presión de poro y presión de fractura.

1.4 VARIABLES

1.4.1 Variables Dependientes

- Presión de sobrecarga.
- Presión de poro.
- Presión de fractura.
- Asentamiento de tubería de revestimiento.

1.4.2 Variables Independientes

- Datos de perfil de gama ray.
- Datos de perfil de densidad.
- Datos de perfil sónico.
- Margen de seguridad para la presión de poro.
- Margen de seguridad para la presión de fractura.
- Profundidad total del pozo.
- Tubería de revestimiento de producción.

CAPITULO II: RESOLUCIÓN DEL CASO PRÁCTICO

2.1 METODOLOGÍA PROPUESTA PARA RESOLUCIÓN.

2.1.1 Calcular la presión de sobrecarga.

El cálculo de la presión de sobrecarga se realizó en función de la densidad de la formación leída directamente del registro de densidad (RHOB), se procedió a calcular la presión de sobrecarga para cada pie de profundidad en el pozo EPD, es decir el peso total de la columna de roca más los fluidos contenidos en el espacio poroso (Balderas & Cisnero, 2015) .

Para calcular la presión de sobrecarga utilizaremos la siguiente ecuación:

$$SD = \frac{\sum_{n=1}^n \rho_l \cdot (D_i - D_{i-1})}{10} \quad (1)$$

Dónde:

SD = Presión de sobrecarga $\left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$

ρ_l = Densidad promedio leído del registro $\left(\frac{gr}{cm^3}\right)$

D_{i-1} = Intervalo de la formación a la que se calcula la sobrecarga (m)

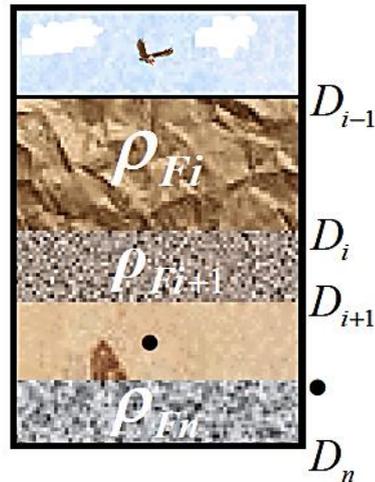


Figura 1. Profundidades y densidades de formaciones atravesadas durante la perforación (Balderas & Cisnero, 2015)

2.1.2 Determinar los intervalos de lutitas limpias.

Para determinar la tendencia normal de compactación todos los métodos que calculan la presión de poro necesitan los valores de tiempo de tránsito con el registro sísmico (DT). Para esto, es fundamental seleccionar los intervalos de lutitas limpias (Peñañiel, 2019).

Se toman los registros de gamma ray, se traza la línea en donde se encuentra los valores máximos del registro, mientras en el registro sísmico se selecciona los valores mínimos para trazar la línea. Se seleccionan los puntos de lutitas, que ayudan para el análisis de tendencia normal de compactación. Estos puntos se encuentran entre las diferentes profundidades donde topan las líneas base de lutitas. Con los puntos seleccionados, se procede a unirlos para determinar el comportamiento de la porosidad en los registros que se utilizan. Después, la línea que une a los puntos de lutitas servirá para trazar la tendencia normal de compactación para finalmente calcular la presión de poro.

2.1.3 Calcular la presión de poro por Método de (Eaton, 1975).

El método de (Eaton, 1975), se basa en el principio que establece que la tendencia normal de compactación se altera en la zona de presiones anormales. Eaton usó gran cantidad de datos de registros geofísicos y mediciones de presiones de poro de diferentes regiones geológicas para desarrollar una serie de ecuaciones, mediante las

cuales se relacionan directamente la presión de poro con la magnitud de los valores observados y los obtenidos de la tendencia normal extrapolada.

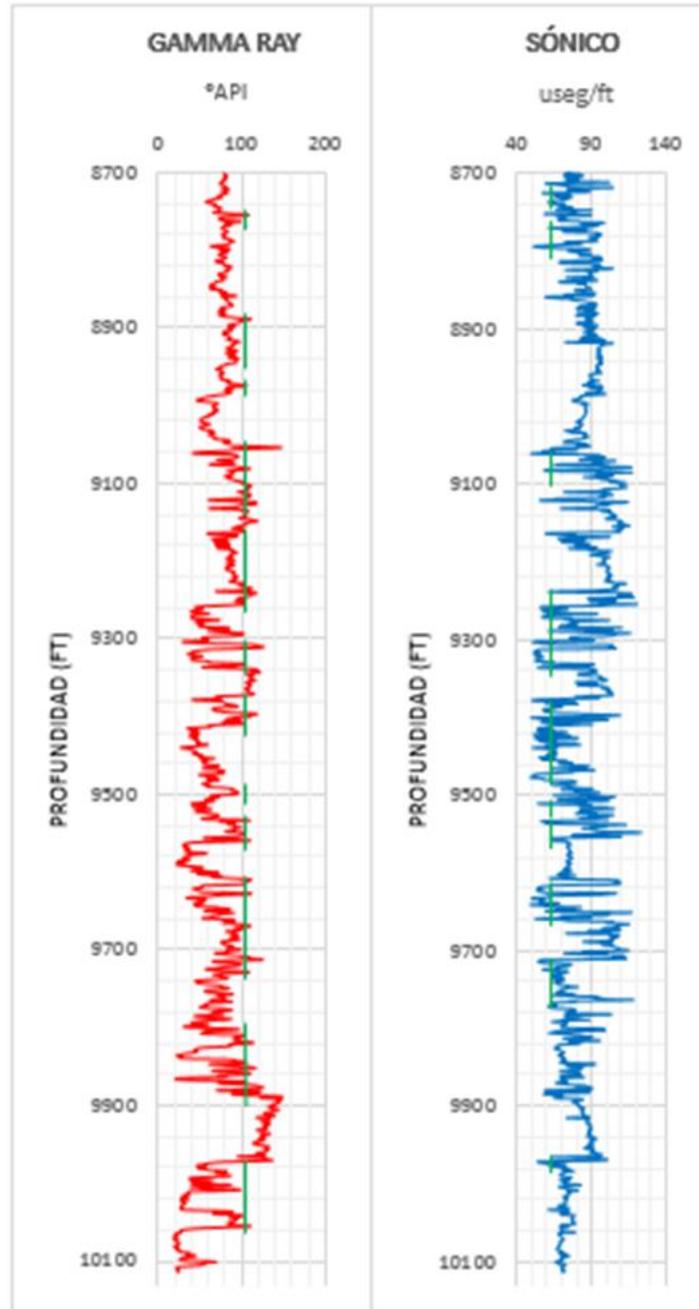


Figura 2. Unión de puntos de lutita en el pozo EPD.

Luego de la unión de los puntos de lutitas limpias, se grafica profundidad vs tiempo de tránsito. Se traza una línea de tendencia normal y se extrapola a la profundidad total. En la profundidad de interés, lea los valores de tiempo de tránsito de la tendencia normal

(T_{lun}) y de la tendencia observada (T_{lu}) y también la profundidad equivalente al mismo valor de tiempo de tránsito observado (D_n).

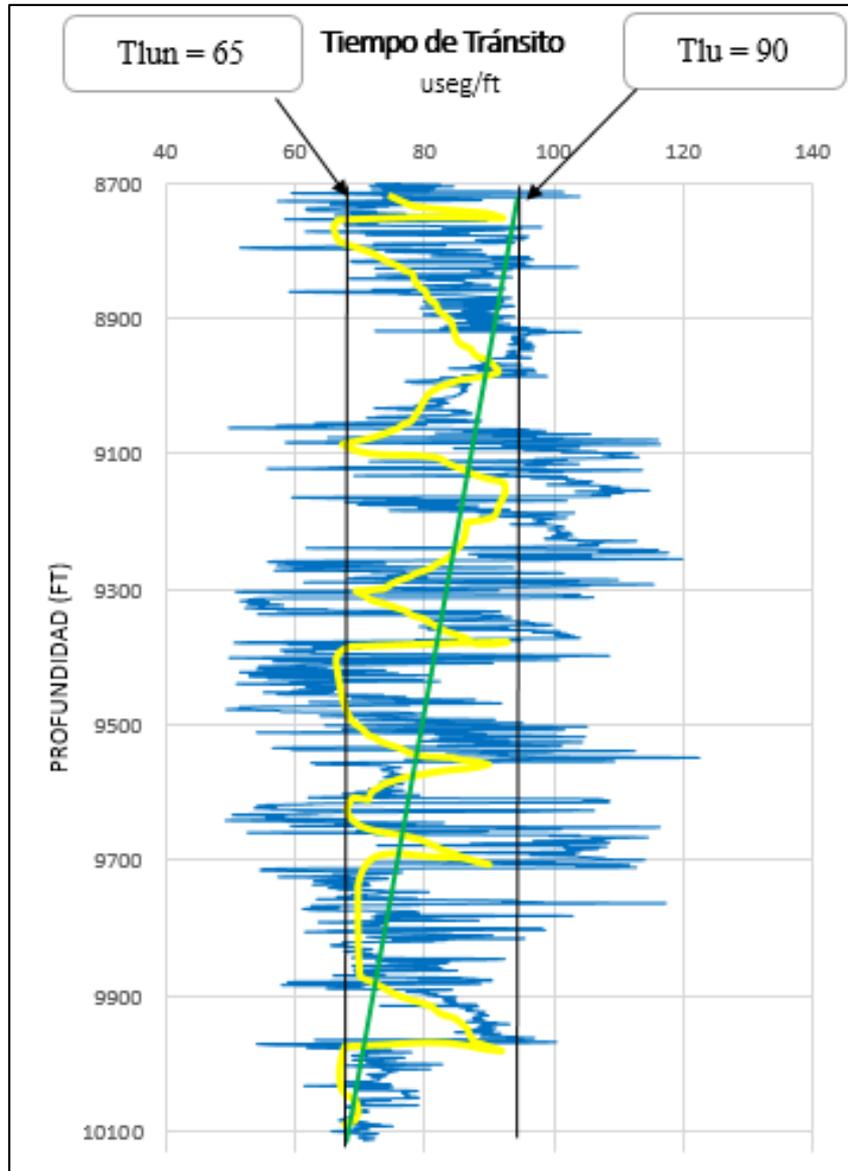


Figura 3. Tendencia normal vs tendencia observada del pozo EPD.

Dependiendo del registro, se utiliza varias ecuaciones para calcular la presión de poro a la profundidad de interés. En este caso se utiliza el registro sísmico y se aplica la siguiente ecuación.

$$PP_D = S_D - (S_D - PP_{DN}) \cdot \left(\frac{T_{lun}}{T_{lu}} \right)^{3.0} \quad (2)$$

Dónde:

PPD = Presión de poro a cada profundidad $\left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$

SD = Presión de sobrecarga a cada profundidad $\left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$

PPDN = Presión de poro normal $\left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$

Tlun = Tiempo de tránsito de la tendencia normal $\left(\frac{usec}{ft}\right)$

Tlu = Tiempo de tránsito de la tendencia observada $\left(\frac{usec}{ft}\right)$

2.1.1 Calcular la presión de fractura.

Se realiza el cálculo de la relación de Poisson (ν) el cual se define como una propiedad mecánica de la formación que está directamente relacionada con la deformación axial respecto a la deformación que está directamente relacionada con la deformación lateral de la roca, siempre y cuando esta esté sometida a un esfuerzo. La ecuación para realizar este cálculo se describe a partir del nomograma de Eaton (Escobar et al., 2019):

$$\nu = 0,0645 * \ln(D) - 0,0673 \quad (3)$$

Dónde:

ν = Relación de Poisson

D = Profundidad (m)

Finalmente, la presión de fractura (P_{FR}) se calcula a partir de datos que están en función de la presión de poro (P_{PD}), de la sobrecarga (SD) y de la relación de Poisson (ν) ya conocida. Para obtener la presión de fractura se utiliza la siguiente ecuación (Aguilar, 2016):

$$P_{FR(D)} = P_{P(D)} + \left(\frac{\nu}{1 - \nu}\right) [S_{(D)} - P_{P(D)}] \quad (4)$$

Dónde:

$P_{FR(D)}$ = Presión de Fractura $\left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$

$P_{P(D)}$ = Presión de Poro $\left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$

ν = Relación de Poisson

2.1.2 Asentamiento de tuberías de revestimiento.

Para determinar los asentamientos de TR'S, el proceso de diseño se realiza partiendo del fondo del pozo, considerando siempre que la presión hidrostática del lodo que se utilizará en el fondo del pozo no debe exceder el gradiente de fractura a cierta profundidad. Una vez que se establece la densidad a utilizar, es recomendable agregar un margen de 0.45 lb/gal al peso de lodo determinado en el perfil de presiones. Como se mencionó anteriormente, el asentamiento se inicia desde el fondo del pozo trazando una línea recta vertical con la densidad a utilizar hasta acercarse a la curva de gradiente de fractura, tomando en cuenta los márgenes mencionados y esta será la profundidad mínima para asentar la TR; este proceso se repite hasta terminar el diseño del pozo.

A continuación, se describe la finalidad del asentamiento de cada una de las TR'S (PEMEX, 2008):

- Tubería conductora: Puede ser hinchado o se perfora y se cementa, y su objetivo es: aislar acuíferos superficiales y tener un medio para la circulación de fluido de perforación.
- Tubería superficial: Tiene como objetivo, aislar acuíferos superficiales e instalar conexiones superficiales de control.
- Tubería intermedia: Se cementa en la cima de la zona de presión anormalmente alta, para cambiar la base al lodo de perforación e incrementar la densidad del mismo. Cuando las zonas de presión anormal se extienden en profundidad, o se presentan intercalaciones de zonas de alta y baja presión.
- Tubería explotación: Permite la explotación selectiva de los intervalos que presenten las mejores características.

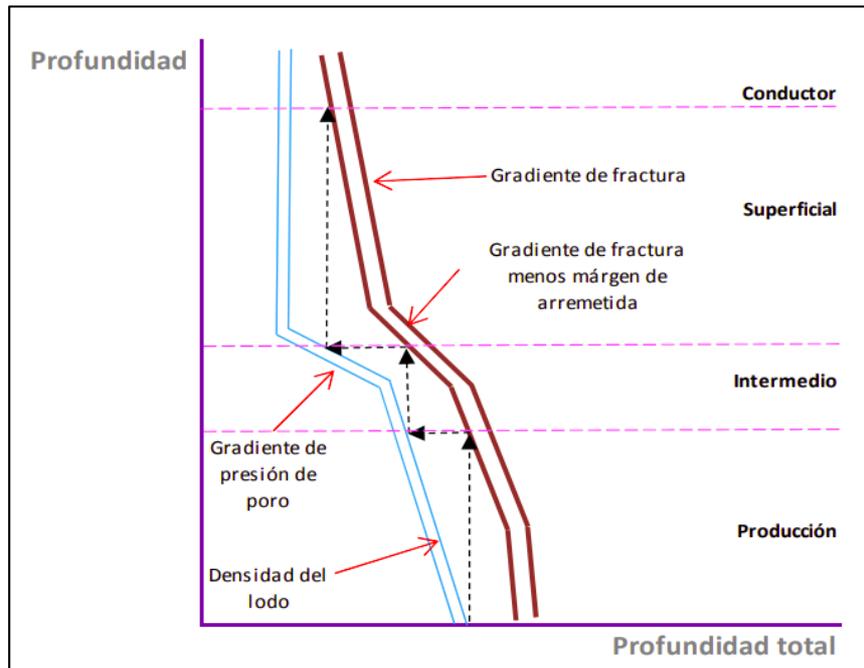


Figura 4. Procedimiento de selección de puntos de asentamiento de revestidores (Pérez, 2013)

El procedimiento para la selección de los puntos de asentamiento comienza determinando la densidad del lodo a la profundidad total escogida, que será el gradiente de presión de poro más sobrebalance (Pérez, 2013).

2.1.6 Selección de la geometría del pozo.

Selección de los diámetros de las tuberías de revestimiento y de la barrena empleada para la perforación de cada intervalo, debe ser seleccionada de manera que se cuente con un espacio adecuado para las distintas operaciones que llevan a cabo en el pozo (Yovani et al., 2013).

2.2 RESOLUCIÓN DEL CASO PRÁCTICO

Para asentar las tuberías de revestimiento primero hay que obtener datos de registro geofísico, graficarlos y trazar una línea de tendencia normal de compactación para así obtener valores normales y los valores observados, en base a esos datos, mediante fórmulas, calculamos las geopresiones (Balderas & Cisnero, 2015).

2.2.1 Gradiente de sobrecarga

Los cálculos del gradiente de sobrecarga, se basa en el valor promedio de densidad de la roca de un intervalo dado de profundidades. En la **Tabla 3**, se presenta los valores de gradiente de sobrecarga calculados para cada una de las formaciones presentes en el pozo EPD, mediante la ecuación 1.

Tabla 3: Valores de gradiente de sobrecarga del pozo EPD.

Profundidad (ft)	Densidad (g/cc)	Presión de sobrecarga (psi)	Gradiente de sobrecarga (psi/ft)
500.00	1.4750	319.65	0.63
1000.00	2.3780	1030.68	1.03
1500.00	2.3829	1549.27	1.03
2000.00	2.4119	2090.84	1.04
2500.00	2.4409	2644.97	1.05
3000.00	2.4890	3236.38	1.07
3500.00	2.3810	3611.95	1.03
4000.00	2.3589	4089.80	1.02
4500.00	2.3829	4647.83	1.03
5000.00	2.4119	5227.11	1.04
5500.00	2.4409	5818.95	1.05
6000.00	2.4890	6472.11	1.07
6500.00	2.3810	6707.91	1.03
7000.00	2.3589	7157.15	1.02
7500.00	2.3089	7505.84	1.00
8000.00	2.3589	8179.60	1.02
8500.00	2.5169	9272.92	1.09
8600.00	2.5320	9437.92	1.09
8700.00	2.5550	9634.40	1.10
8800.00	2.5510	9729.88	1.10
8900.00	2.4820	9574.28	1.07
9000.00	2.4990	9748.17	1.08
9300.00	2.3750	9573.28	1.02
9500.00	2.6280	10825.02	1.13
9800.00	2.5260	10729.36	1.09
10000.00	2.4479	10610.25	1.06
10100.00	2.4130	10563.14	1.04
10115.00	2.5260	11074.23	1.09

2.2.2 Gradiente de presión de poro

Se seleccionó el método de (Eaton, 1975) para la estimación del gradiente de presión de poro. En la **Tabla 4**, se presentan los valores de gradiente de poro

obteniendo valores de 0.46 psi/ft a 0.86 psi/ft, indica los puntos que limitan para generar la curva de gradiente de poro en la ventana operativa.

Tabla 4. Valores de gradiente de presión de poro del pozo EPD.

Profundidad (ft)	Gradiente de poro (psi/ft)	Presión de poro (psi)
500.00	0.46	232.50
1000.00	0.46	465.00
1500.00	0.46	697.50
2000.00	0.46	930.00
2500.00	0.46	1162.50
3000.00	0.46	1395.00
3500.00	0.46	1627.50
4000.00	0.46	1860.00
4500.00	0.46	2092.50
5000.00	0.46	2325.00
5500.00	0.46	2557.50
6000.00	0.46	2790.00
6500.00	0.46	3022.50
7000.00	0.56	3920.00
7500.00	0.62	4650.00
8000.00	0.70	5600.00
8500.00	0.72	6120.00
8600.00	0.80	6880.00
8700.00	0.86	7528.90
8800.00	0.86	7606.01
8900.00	0.84	7526.54
9000.00	0.85	7652.44
9300.00	0.81	7595.99
9500.00	0.88	8411.21
9800.00	0.85	8404.14
10000.00	0.83	8364.94
10100.00	0.82	8353.09
10115.00	0.86	8674.27

2.2.3 Gradiente de presión de fractura

El cálculo de gradiente de fractura para el pozo EPD, se llevó a cabo mediante la relación de Poisson (ν) y el nomograma de Eaton utilizando la ecuación 3. La tabla 5 muestra los valores de gradientes de fractura obteniendo valores entre 0.52 psi/ft a 1.05 psi/ft, indica los puntos que limitan la ventana operativa para los asentamientos de tubería de revestimiento.

Tabla 5: Valores de gradiente de presión de fractura del pozo EPD.

Profundidad (ft)	Relación de poisson	Presión de fractura (psi)	Gradiente de fractura (psi/ft)
500.00	0.25	262.63	0.52
1000.00	0.30	709.30	0.70
1500.00	0.32	1112.81	0.74
2000.00	0.34	1545.03	0.77
2500.00	0.36	1998.99	0.79
3000.00	0.37	2487.99	0.82
3500.00	0.38	2856.32	0.81
4000.00	0.39	3291.81	0.82
4500.00	0.39	3786.36	0.84
5000.00	0.40	4303.88	0.86
5500.00	0.41	4838.72	0.87
6000.00	0.41	5426.18	0.90
6500.00	0.42	5717.08	0.87
7000.00	0.42	6333.60	0.90
7500.00	0.43	6818.32	0.90
8000.00	0.43	7592.07	0.94
8500.00	0.43	8593.80	1.01
8600.00	0.44	8893.11	1.03
8700.00	0.44	9190.99	1.05
8800.00	0.44	9287.60	1.06
8900.00	0.44	9152.66	1.03
9000.00	0.44	9321.53	1.04
9300.00	0.45	9184.30	0.99
9500.00	0.45	10360.97	1.09
9800.00	0.45	10297.63	1.05
10000.00	0.45	10203.02	1.02
10100.00	0.45	10167.00	1.01
10115.00	0.45	10644.81	1.05

2.2.4 Selección de profundidad de asentamiento

Una vez calculados los valores de los gradientes de poro y de fractura, se obtienen las densidades equivalentes de lodo que permitan asegurar la operación con una columna hidrostática capaz de contener la formación, pero sin causar fractura. Dicho de otra forma, es el límite en el cual se puede mantener la densidad de un fluido de perforación sin causar daño a la formación o provocar reventón o influjo en el pozo. Para cumplir con dichos objetivos y basados en prácticas operacionales recomendadas, se incrementó en 0.45 lb/gal la densidad de lodo de formación equivalente y se restó 0.24 lb/gal a la densidad de lodo de fractura equivalente (Tabla 6).

Tabla 6: Densidades equivalentes de lodo del pozo EPD.

Profundidad (ft)	Densidad de formación (lb/gal)	Densidad de lodo de formación (lb/gal)	Densidad de fractura equivalente (lb/gal)	Densidad de fractura (lb/gal)
500.00	8.94	9.39	12.46	12.70
1000.00	8.94	9.39	13.40	13.64
1500.00	8.94	9.39	14.02	14.26
2000.00	8.94	9.39	14.61	14.85
2500.00	8.94	9.39	15.13	15.37
3000.00	8.94	9.39	15.70	15.94
3500.00	8.94	9.39	15.45	15.69
4000.00	8.94	9.39	15.58	15.82
4500.00	8.94	9.39	15.94	16.18
5000.00	8.94	9.39	16.31	16.55
5500.00	8.94	9.39	16.67	16.91
6000.00	8.94	9.39	17.15	17.39
6500.00	8.94	9.39	16.67	16.91
7000.00	10.76	11.21	17.16	17.40
7500.00	11.92	12.37	17.24	17.48
8000.00	13.46	13.91	18.01	18.25
8500.00	13.84	14.29	19.20	19.44
8600.00	15.38	15.83	19.64	19.88
8700.00	16.64	17.09	20.07	20.31
8800.00	16.62	17.07	20.05	20.29
8900.00	16.26	16.71	19.53	19.77
9000.00	16.35	16.80	19.67	19.91
9300.00	15.70	16.15	18.75	18.99
9500.00	17.02	17.47	20.73	20.97
9800.00	16.49	16.94	19.96	20.20
10000.00	16.08	16.53	19.38	19.62
10100.00	15.90	16.35	19.11	19.35
10115.00	16.49	16.94	19.99	20.23

Se determinó los valores de densidad equivalente de lodo de formación y de fractura a partir de los gradientes calculados, se generó la ventana operativa de lodo estimada para el pozo EPD, la cual tiene como objetivo definir los márgenes mínimo y máximo para el diseño de fluido de perforación, que garanticen mantener la presión, pero sin llegar a causar fractura.

A partir de la ventana de operativa generada, se desarrolló la selección de las profundidades de asentamiento.

En la **Figura 5**, se presenta la ventana operativa que se generó mediante profundidad versus los gradientes de poro y gradiente de fractura con su respectivo margen de seguridad.

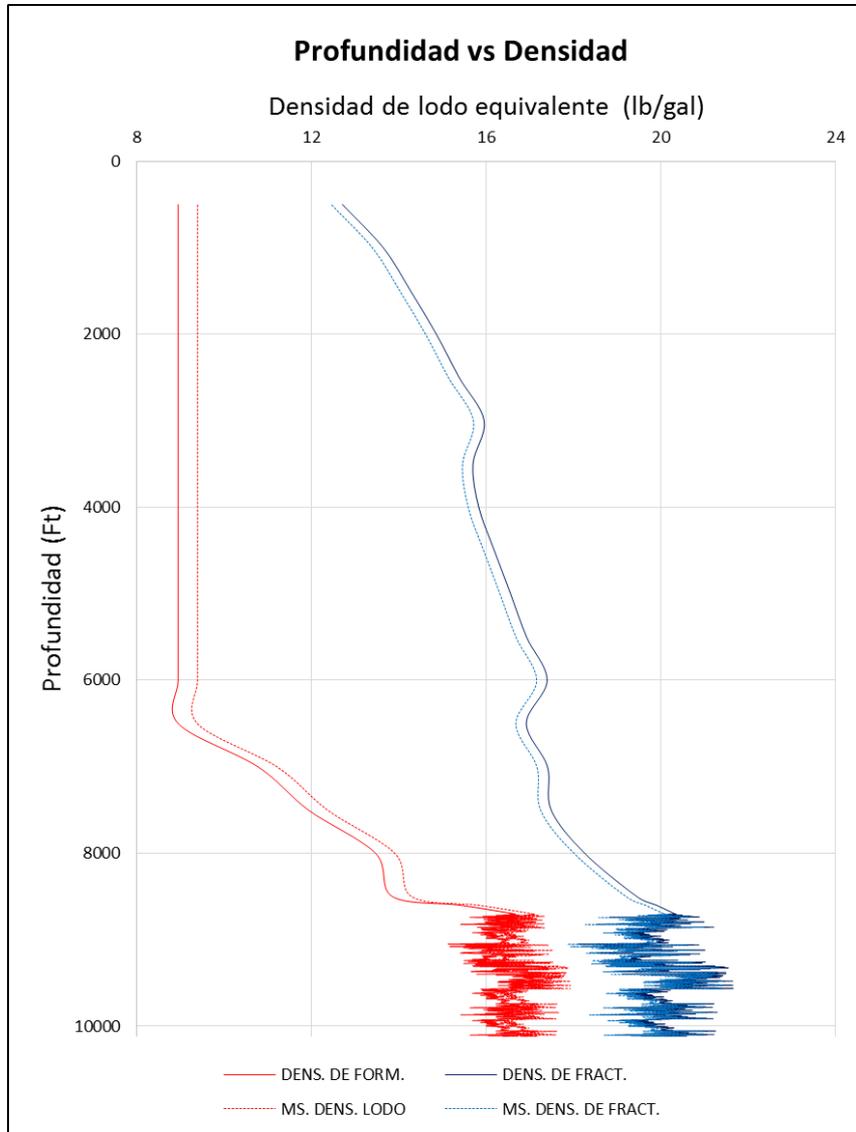


Figura 5. Ventana operativa del pozo EPD.

2.2.5 Selección de la geometría del pozo

Los diámetros de las tuberías de revestimiento y barrenas empleadas en la perforación de cada etapa deben ser seleccionados de tal manera que se cuente con espacio libre para que se puedan desarrollar las distintas operaciones de manera exitosa. A partir del diámetro de explotación se selecciona de arriba hacia abajo el diámetro más grande de TR o barrena, concluyendo con la tubería superficial, como se muestra en la **Figura 6**.

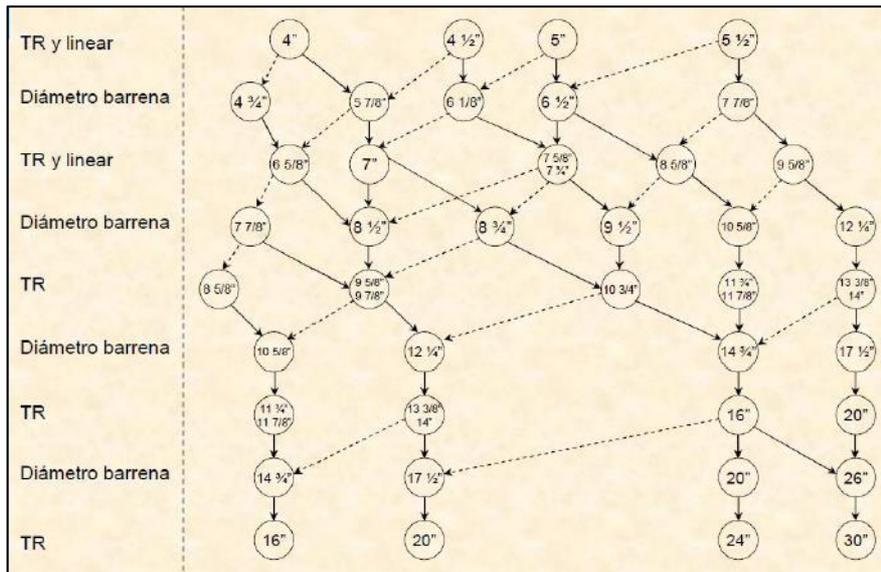


Figura 6. Diagrama de selección de diámetros de TR'S y barrenas (Pemex, 2008)

Se selecciona el diámetro de la TR de explotación y será la base para determinar el arreglo de tuberías de revestimiento a utilizar, así como los diámetros del agujero. Tomando en cuenta las medidas se seleccionan las TR de 4", 7", 10 3/4", 16" y 20" como se muestra en la **Figura 7**.

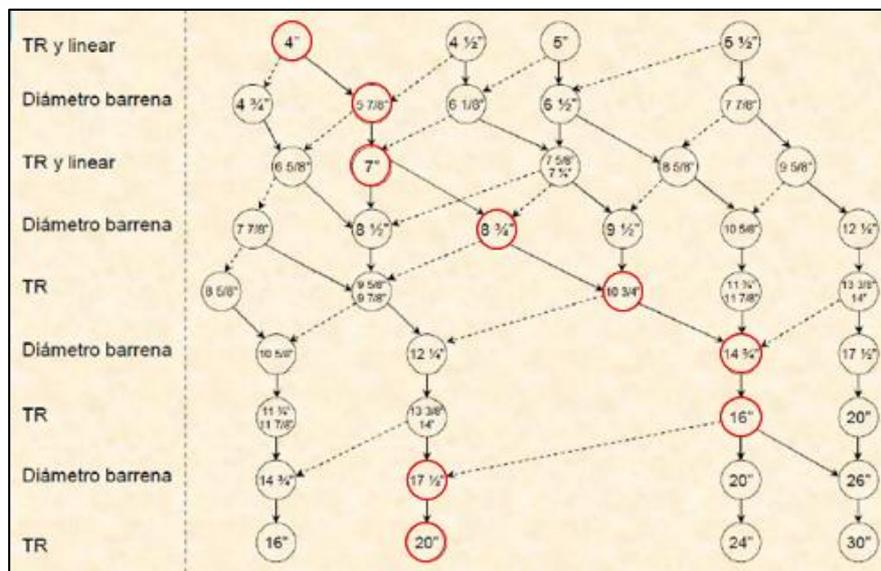


Figura 7. Selección de diámetros de TR'S y barrenas.

Una vez que se determinó la geometría del pozo, se realiza un resumen y se realiza el estado mecánico programado.

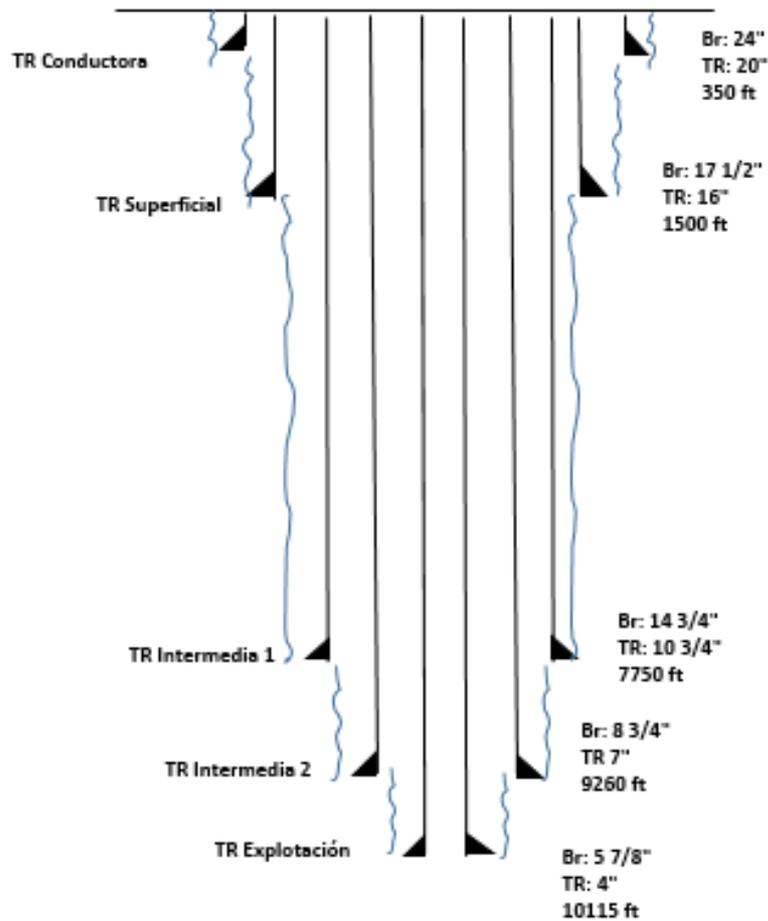


Figura 8. Esquema estado mecánico.

Se puede deducir que el pozo EPD contará con 5 secciones, ubicando la tubería conductora a una profundidad de 350 ft, con un diámetro de 20" y se seleccionó una barrena de 24", seguido de la tubería superficial con una profundidad de asentamiento de 1500 ft con un diámetro de 16" y se seleccionó una barrena de 17 1/2", posteriormente la tubería intermedia 1 a una profundidad de 7750 ft y un diámetro de 10 3/4" y se seleccionó una barrena de 14 3/4", a continuación se colocó la tubería intermedia 2 a una profundidad de 9260 ft y un diámetro de 7" y se seleccionó una barrena de 8 3/4", finalmente la tubería de explotación a una profundidad de 10115 ft y un diámetro de 4" y se seleccionó una barrena de 5 7/8".

CAPITULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 ASENTAMIENTO DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

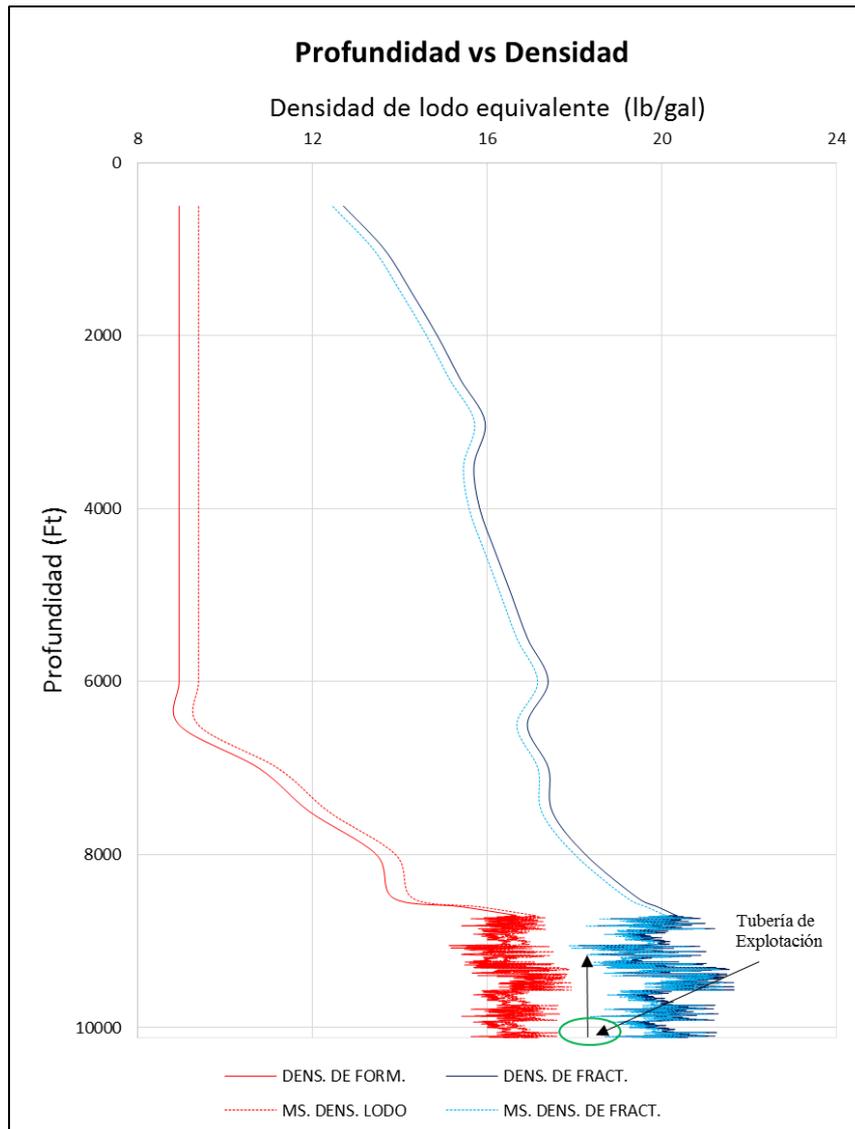


Figura 9. Asentamiento de la tubería de explotación.

Podemos observar que la tubería de explotación se asienta hasta la profundidad total de 10115 ft, no obstante, se debe considerar que la premisa de asentarla a la profundidad donde se permita la explotación de los intervalos seleccionados. En el pozo EPD la tubería de explotación quedó asentada a 10115 ft de profundidad, con una densidad de lodo de 18.4 lb/gal.

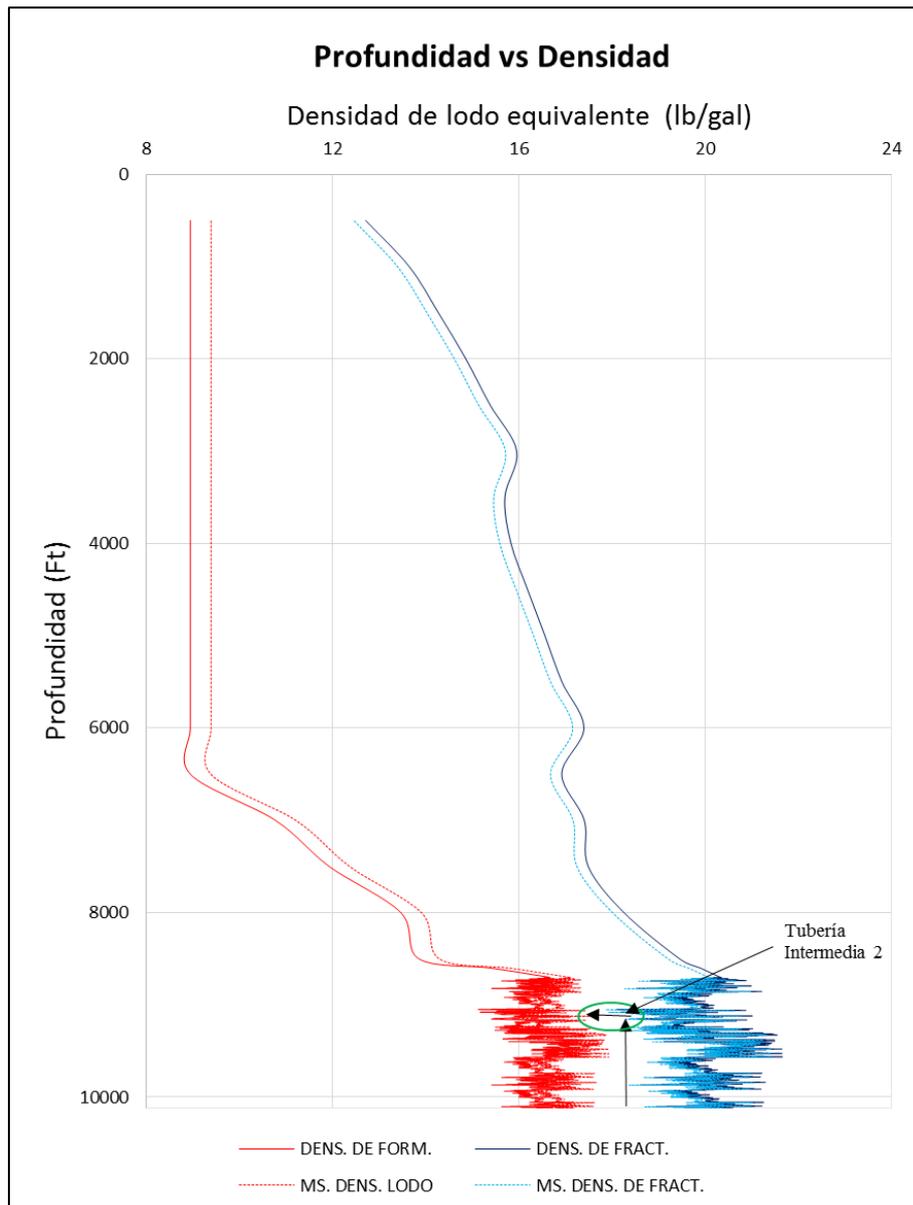


Figura 10. Asentamiento de la tubería intermedia 2.

Observamos que a partir del máximo valor del gradiente de formación en el fondo del pozo se proyecta una línea vertical hasta interceptar la curva del gradiente de fractura. La profundidad de esta intersección definirá el asentamiento de tubería de revestimiento. Para el pozo EPD la tubería intermedia 2 se asentó a 9260 ft, con una densidad equivalente de 17,2 lb/gal. La instalación de esta tubería asegura la perforación de los últimos 855 ft y brinda soporte a la posibilidad de presencia de formaciones con presiones anormales, que podría colocar en riesgo la operación.

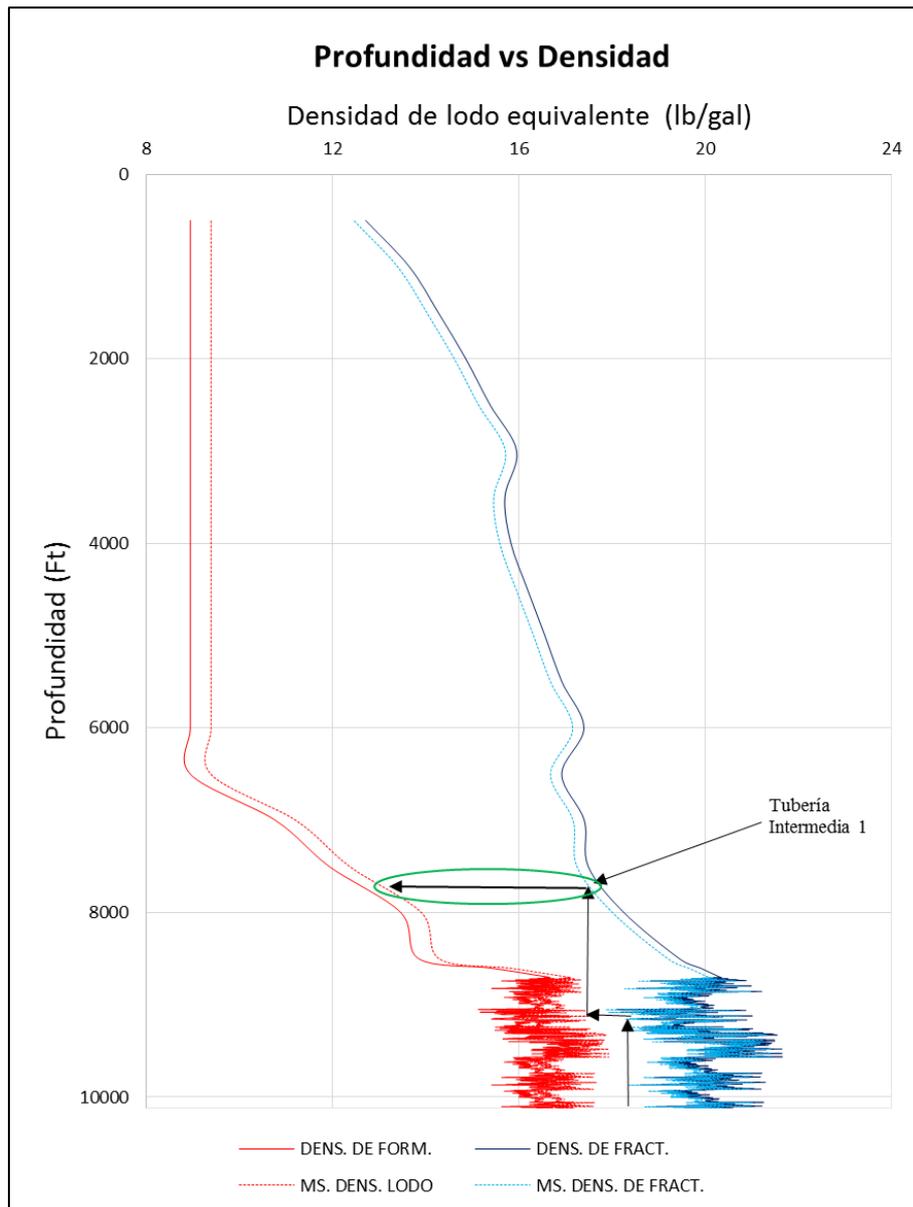


Figura 11. Asentamiento de la tubería intermedia 1.

Se observa que a partir del valor del gradiente de formación en la profundidad de 9260 ft se proyecta una línea vertical hasta interceptar la curva del gradiente de fractura. La profundidad de esta intersección definirá el asentamiento de tubería de revestimiento. Para el pozo EPD la tubería intermedia 1 se asentó a 7750 ft, donde existe una densidad de lodo equivalente de 13,4 lb/gal.

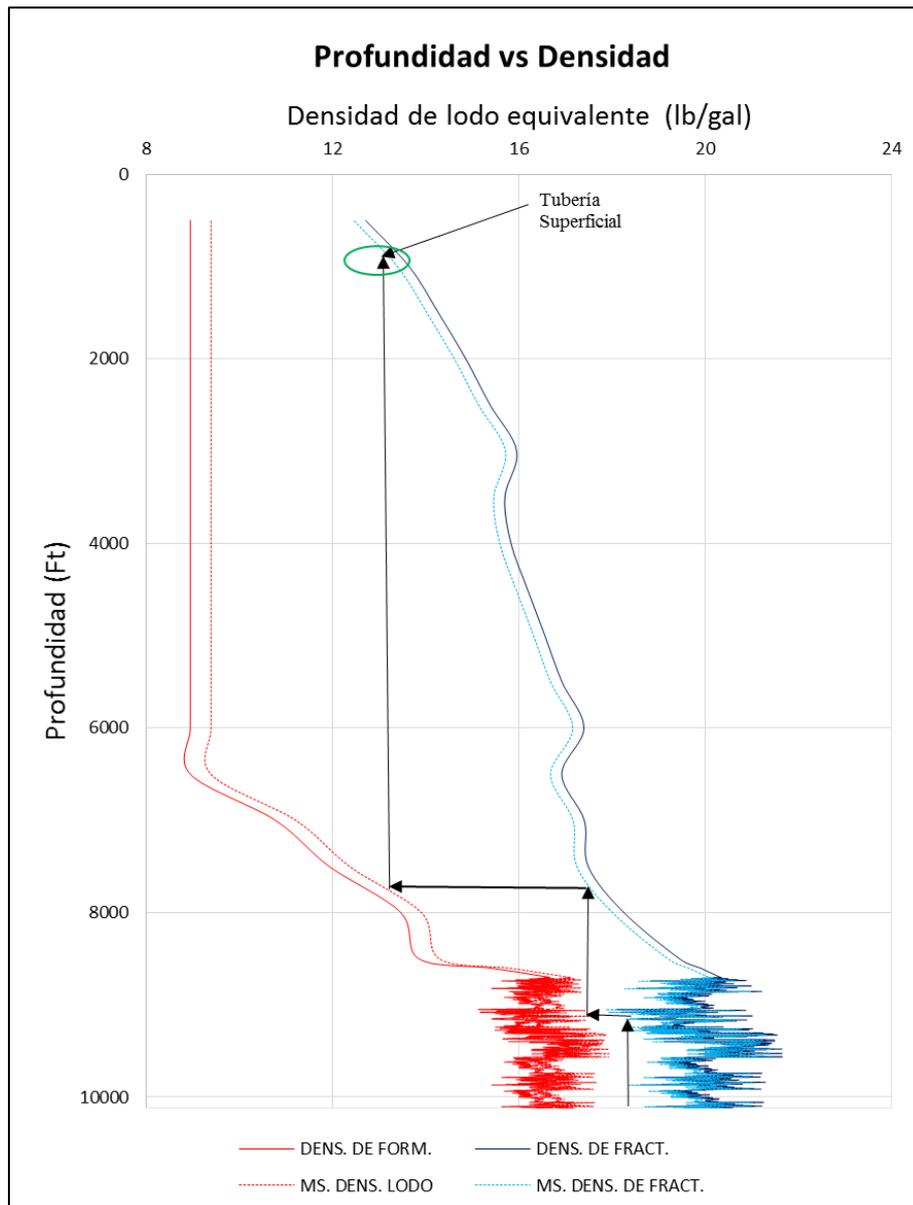


Figura 12. Asentamiento de la tubería superficial.

Se observa que a partir del valor del gradiente de formación en la profundidad de 7750 ft se proyecta una línea vertical hasta interceptar la curva del gradiente de fractura. La profundidad de esta intersección definirá el asentamiento de tubería superficial. Para el pozo EPD la tubería superficial se asentó a 1500 ft, manteniendo la densidad de lodo equivalente de 13,4 lb/gal.

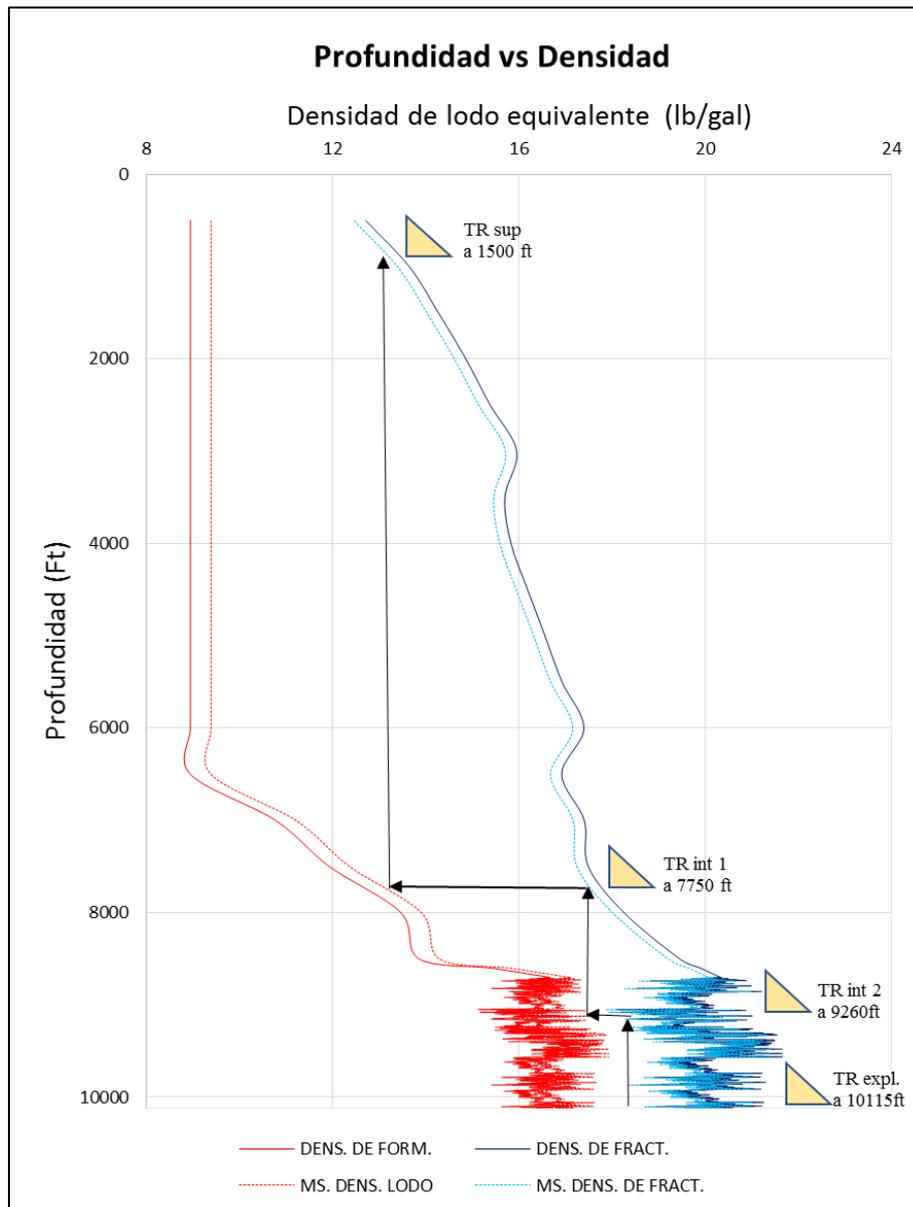


Figura 13. Ventana operativa con los asentamientos de las TR'S del pozo EPD.

Observamos que, a partir de la ventana operativa, se desarrolló la selección de profundidades de asentamiento de tubería de explotación, intermedia 2, intermedia 1 y superficial. En la ventana operativa la curva de presión de poro (curva de color rojo) desciende hasta la profundidad de 6500 ft con un gradiente de presión de (13.4 lb/gal). Desde los 6501 ft hasta los 9050 ft varía el gradiente de presión de poro debido a la profundidad. Desde la profundidad de los 9051ft a 9560 ft se comprueba que existe sobrepresiones.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El pozo EPD contará con 5 secciones, ubicando la tubería conductora a una profundidad de 350 ft, con un diámetro Tr de 20" y se seleccionó una barrena de 24".
- Para la sección de la tubería superficial con una profundidad de asentamiento de 1500 ft con un diámetro Tr de 16" y se seleccionó una barrena de 17 ^{1/2}".
- Para la sección de la tubería intermedia 1 a una profundidad de 7750 ft y un diámetro de Tr 10 ^{3/4}" y se seleccionó una barrena de 14 ^{3/4}".
- Para la sección de la tubería intermedia 2 a una profundidad de 9260 ft y un diámetro Tr de 7" y se seleccionó una barrena de 8 ^{3/4}".
- Para la sección de la tubería de explotación a una profundidad de 10115 ft y un diámetro Tr de 4" y se seleccionó una barrena de 5 ^{7/8}".

4.2 RECOMENDACIONES

- La predicción de las geopresiones debe realizarse antes, durante y después de cada etapa de perforación.
- Implementar buena práctica de toma de registros de densidad, sísmico y gamma ray, para minimizar las incertidumbres al momento de realizar la predicción de geopresiones.
- Cuando se aplica el método de Eaton para realizar el cálculo de la presión de poro, se recomienda caracterizar el exponente de la ecuación de Eaton para cada campo, una vez que se cuente con suficiente información.
- Es importante mencionar que la selección del diámetro debe ser más pequeño posible. Esto con la finalidad de evitar diseños costosos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, R. (2016). *Asentamiento y diseño de TR'S para la aplicación en un MLS*. México. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/21530>
- Balderas, C., & Cisnero, J. (2015). *Determinación de geopresiones para el asentamiento de tuberías de revestimiento*. México. Obtenido de [https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/15500/Determinación de geopresiones para el asentamiento de tuberias de revestimiento.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/15500/Determinación%20de%20geopresiones%20para%20el%20asentamiento%20de%20tuberias%20de%20revestimiento.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Castro, Y., Illan, C., Lugo, K., Meza, L., & Mondragón, T. (2013). *Diseño De Tuberías De Revestimiento*. Obtenido de <https://tecnologiadelaperforacionipn.files.wordpress.com/2013/05/guc3ada-de-disec3b1o-para-el-asentamiento-y-disec3b1o-de-tuberc3adas-de-revestimiento.pdf>
- Eaton, B. A. (1975). *The equation for geopressure prediction from well logs*. Obtenido de <https://doi.org/10.2118/5544-MS>
- Escobar, K., Erazo, R., Armijo, D., & Oña, J. (2019). *Generación de curvas de presión de formación y fractura para optimizar la perforación de pozo en el campo Gustavo Galindo Velasco*. GEO Latitud. Obtenido de <http://geolatitud.geoinvestigacion.gob.ec/ojs/ojs/index.php/GeoLatitud/article/view/34/67>
- PEMEX. (2008). *Guía de diseño para el asentamiento y diseño de tuberías de revestimiento*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/165640064/07-asentamiento-y-diseno-de-tuberias-de-revestimiento>
- Peñafiel, M. (2019). *Diseño geomecánico de pozos exploratorios*. México. Obtenido de [https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/26946/Diseño geomecánico de pozos exploratorios.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/26946/Diseño%20geomecánico%20de%20pozos%20exploratorios.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

ANEXO