



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“ESTUDIO TÉCNICO-ESTADÍSTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LIMPIEZA DE HOYO EN LOS POZOS PERFORADOS EN DOS SECCIONES EN EL CAMPO TIPUTINI-BLOQUE 43”

PROYECTO DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN PETRÓLEO

Presentado por:

HOLGER ÁLVARO ARREAGA ARÉVALO

ADRIANA ISABEL ROMÁN AGUILAR

GUAYAQUIL-ECUADOR

2017

DEDICATORIA

A mis padres Holger Arreaga y María Arévalo, a mis hermanos Silvana Arreaga, Fabricio Arreaga y Darla Arreaga que han sido mi inspiración y motivación diaria para realizar esta contribución en beneficio de la Industria de Hidrocarburos.

Holger Álvaro Arreaga Arévalo

DEDICATORIA

A mi madre Dolores Aguilar, a mi esposo Carlos Flores, a mi pequeño osito Sergio Bolívar, a mis padres políticos Bolívar Flores y Mirella Martínez, a mi hermana y a mis hermanos políticos, que me brindaron su apoyo incondicional para la culminación de este proyecto.

Adriana Isabel Román Aguilar

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral, a Petroamazonas Ep, a la Ing. Jacqueline Boas, al MSc. Kenny Escobar, y al MSc. Romel Erazo por su noble contribución y apoyo en el desarrollo de este trabajo.

Holger Álvaro Arreaga Arévalo

Adriana Isabel Román Aguilar

TRIBUNAL DEL PROYECTO

**MSc. Romel Ángel Erazo Bone
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

**MSc. Romel Ángel Erazo Bone
DIRECTOR DE MATERIA INTEGRADORA**

**MSc. Fidel Vladimir Chuchuca Aguilar
MIEMBRO EVALUADOR**

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la
ESPOL)

Holger Álvaro Arreaga Arévalo

Adriana Isabel Román Aguilar

RESUMEN

En la perforación de pozos de dos secciones y de bajo ángulo en el campo Tiputini del Bloque 43 se han implementado diversas prácticas de limpieza y manejado diferentes valores de parámetros de perforación y propiedades de los fluidos con la intención de obtener una óptima limpieza. El presente proyecto tiene como objetivo proponer los rangos de los parámetros asociados a la perforación y a la limpieza de hoyo, así como de las propiedades de los fluidos de perforación que se deberían manejar durante la perforación de la sección intermedia de 12 ¼ en futuros pozos de similares características para optimizar la perforación y la limpieza.

Se empezó revisando bibliografía referente a la limpieza de hoyo para determinar los factores de mayor incidencia, luego se obtuvo los datos necesarios de los reportes finales de perforación de los pozos, los mismos que se organizaron por formación. Se realizó un análisis estadístico y se encontró un modelo de regresión que se ajuste a los datos y describa su comportamiento para finalmente optimizar este modelo y encontrar los rangos operativos de cada parámetro. Adicionalmente se realizó gráficas comparativas de cada factor, se calculó el tiempo de perforación de cada formación y se comparó con los tiempos obtenidos en cada pozo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	IV
TRIBUNAL DEL PROYECTO	V
DECLARACIÓN EXPRESA	VI
RESUMEN	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS	XII
SIMBOLOGÍA	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
CAPÍTULO 1.....	18
INTRODUCCIÓN.....	18
1.1. Preámbulo	19
1.2. Planteamiento del problema	19
1.3. Formulación del problema	20

1.4. Objetivos.....	21
1.4.1. Objetivo general	21
1.4.2. Objetivos específicos	21
1.5. Metodología de estudio.....	23
CAPÍTULO 2.....	24
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	24
2.1. Antecedentes.....	25
2.2. Perforación direccional	26
2.2.1. Parámetros de perforación.....	27
2.3. Fluidos de perforación	27
2.3.1. Propiedades de los fluidos	28
2.4. Limpieza de pozos direccionales	29
2.4.1. Factores que afectan el transporte de cortes	30
2.4.1.1. Angulo de inclinación del pozo	30
2.4.1.2. Caudal de bombeo	31
2.4.1.3. Velocidad en el espacio anular	31
2.4.1.4. Velocidad o tasa de penetración.....	32
2.4.1.5. Velocidad de rotación de sarta	32
2.4.1.6. Excentricidad de sarta	33

2.4.1.7. Tamaño de cortes	33
2.4.1.8. Viscosidad plástica	33
2.4.1.9. Punto cedente.....	34
2.4.1.10. Geles.....	35
2.4.2. Indicadores de limpieza de hoyo	37
2.4.2.1. ECD	38
2.5. Herramientas estadísticas para el análisis de variables	39
2.6. Diseño de experimento tipo Superficie de Respuesta	40
2.6.1. Interpretación de los resultados	40
CAPÍTULO 3.....	43
METODOLOGÍA.....	43
3.1. Población y muestra	44
3.2. Selección de la muestra.....	44
3.3 Selección de variables	46
3.4 Recopilación de datos.....	47
3.5 Organización de los datos	49
3.6 Análisis estadístico de los datos	49
3.7 Selección del modelo de regresión lineal múltiple	50
3.8 Optimización de la limpieza	51

CAPÍTULO 4.....	53
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	53
4.1. Formación Indiferenciado	54
4.2. Formación Orteguzza	59
4.3. Formación Tiyuyacu.....	66
4.4. Formación Tena.....	72
4.5. Comparación de valores manejados y optimizados.....	77
4.6. Comparación de la diferencia de densidades y tiempos de perforación	
80	
CAPÍTULO 5.....	83
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
ANEXOS	
BIBLIOGRAFÍA	

ABREVIATURAS

ECD	Equivalent Circulation Density o Densidad Equivalente de Circulación
ROP	Rate of penetration o Tasa de perforación
FIV	Factor de inflación de la varianza
D_h, D_p	Diámetro de hoyo, Diámetro de tubería de perforación
V_c, V	Velocidad crítica, Velocidad Anular
PV	Plastic Viscosity o viscosidad plástica
YP	Yield Point o Punto Cedente

SIMBOLOGÍA

RPM	Revoluciones por minuto
ft/hr	Pies por hora
GPM	Galones por minuto
ppg	Libras por galón
lbf/100ft ²	Libras fuerza por cada 100 pies cuadrados
cP	Centipoises
hr	Horas
n	Coefficiente reológico
$\theta_{600}, \theta_{300}$	Esfuerzos reológicos a 600 y 300 RPM
K	Coefficiente reológico

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Fuerzas que actúan en el movimiento de los cortes en el espacio anular.....	29
Figura 2.2 Efecto del ángulo de inclinación en la limpieza de hoyo	30
Figura 2.3 Efecto del ROP sobre la velocidad crítica de transporte.....	32
Figura 2.4 Rangos sugeridos para la viscosidad plástica	34
Figura 2.5 Rangos sugeridos para el punto cedente.....	35
Figura 2.6 Tipos de gel	36
Figura 2.7 Factores de mayor influencia en la limpieza	36
Figura 3.1 Organización de los datos por pozo y por formación	49
Figura 4.1 Gráfica de residuos y diagrama de pareto para el modelo utilizado en la formación Indiferenciado	54
Figura 4.2 Gráfica de efectos principales para el modelo utilizado	55
Figura 4.3 Geles en la formación Indiferenciado.....	58
Figura 4.4 Gráfica de residuos y diagrama de pareto para el primer modelo utilizado en la formación Orteguaza.....	60
Figura 4.5 Gráfica de residuos y diagrama de pareto para el segundo modelo utilizado en la formación Orteguaza.....	60

Figura 4.6 Gráfica de efectos principales para los dos modelos utilizados en la formación Orteguaza	61
Figura 4.7 Gráfica de dispersión de la variable de respuesta en la formación Orteguaza	62
Figura 4.8 Geles en la formación Orteguaza	65
Figura 4.9 Gráfica de residuos y diagrama de pareto para el modelo utilizado en la formación Tiyuyacu	67
Figura 4.10 Gráfica de efectos principales para el modelo utilizado en la formación Tiyuyacu.....	67
Figura 4.11 Gráfica de dispersión de la variable de respuesta en la formación Tiyuyacu	68
Figura 4.12 Geles en la formación Tiyuyacu.....	71
Figura 4.13 Diagrama de pareto de los modelos utilizados en la formación Tena.....	73
Figura 4.14 Gráfica de efectos de los modelos utilizados en la formación Tena	73
Figura 4.15 Geles en la formación Tena	76
Figura 4.16 Comparación de valores manejados y optimizados de galonaje, ROP, rotación y punto cedente	78
Figura 4.17 Comparación de valores manejados y optimizados de viscosidad plástica y geles	79

Figura 4.18 Comparación de la diferencia de densidades manejadas y optimizadas.....	80
Figura 4.19 Comparación de los tiempos de perforación.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I Metodología de estudio	23
Tabla II Lista de pozos	45
Tabla III Fuentes de información de los parámetros de perforación.....	47
Tabla IV Fuentes de información de las propiedades de los fluidos de perforación	48
Tabla V Rangos óptimos de operación de los parámetros de perforación y propiedades del fluido de perforación en la formación Indiferenciado	56
Tabla VI Rangos óptimos de operación de los parámetros de perforación y propiedades del fluido de perforación en la formación Orteguaza	64
Tabla VII Rangos óptimos de operación de los parámetros de perforación y propiedades del fluido de perforación en la formación Tiyuyacu	70
Tabla VIII Rangos óptimos de operación de los parámetros de perforación y propiedades del fluido de perforación en la formación Tena	74

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.Preámbulo

La perforación de un pozo petrolero dentro de un campo nuevo conlleva un elevado riesgo operativo, por tanto, es indispensable partir de la información geológica y de los rangos manejados de los parámetros de perforación de pozos que ya han sido perforados en campos cercanos, para planificar el programa de perforación.

Cada locación es un escenario diferente y su desarrollo va generando una curva de aprendizaje, a fin de ir mejorando continuamente las buenas prácticas dentro de un mismo campo.

Se muestra por experiencia del desarrollo del campo Tiputini, Bloque 43 que los programas planificados de perforación y limpieza de hoyo han variado conforme a los resultados obtenidos y la posibilidad de mejoramiento de los parámetros de perforación asociados a la limpieza.

Optimizar la limpieza se traduce en reducción de tiempos operativos y esto a su vez, reduce los costos de operación.

1.2.Planteamiento del problema

Conforme se perforaron los primeros pozos del Campo Tiputini del Bloque 43 se fueron modificando ciertos parámetros de perforación, propiedades

de fluidos e implementando diferentes prácticas de limpieza de hoyo con la finalidad de alcanzar una limpieza óptima durante la perforación.

Con las modificaciones e implementaciones realizadas en los pozos siguientes, los tiempos de perforación y tiempos de viaje variaron, por lo tanto, es necesario realizar un análisis técnico-estadístico para evaluar y justificar las prácticas de optimización de limpieza de hoyo, identificando estadísticamente los parámetros de perforación, propiedades de fluidos y prácticas de limpieza de hoyo que contribuyen en mayor medida a optimizar las operaciones, así como estimar sus rangos óptimos.

1.3. Formulación del problema

Los parámetros de perforación asociados a la limpieza de hoyo en pozos de dos secciones en el desarrollo del Campo Tiputini, Bloque 43 son continuamente modificados con la intención de obtener una óptima limpieza, sin embargo, no existe un estudio que evalúe técnica y estadísticamente estas modificaciones de los parámetros y verifique si sus valores son los más adecuados o exista la posibilidad de alcanzar los óptimos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Optimizar la limpieza de hoyo y perforación de pozos perforados en dos secciones del campo Tiputini Bloque 43, por medio de un estudio técnico-estadístico de los parámetros obtenidos durante la perforación, a fin de identificar los principales factores que afectan la limpieza de hoyo y proponer sus rangos óptimos de operación.

1.4.2. Objetivos específicos

- Obtener una muestra de estudio con una exclusiva selección de pozos del campo Tiputini, Bloque 43 que cumplan con la característica de haber sido perforados en dos secciones.

- Seleccionar los parámetros operativos referentes a la perforación y propiedades del fluido que se consideren hipotéticamente más influyentes para la limpieza de hoyo y obtener una cuantificación de sus medidas en profundidad y por cada formación atravesada.

- Realizar un análisis estadístico de los datos para identificar valores atípicos, correlación entre variables y normalidad de la variable de respuesta con la finalidad de identificar las variables independientes y garantizar que los datos de la variable de

respuesta (ECD – DENSIDAD DE LODO) se ajusten a una distribución normal.

- Realizar un diseño de experimentos tipo superficie de respuesta para encontrar un modelo de regresión múltiple que sea estable, se ajuste a los datos, permita predecir nuevos valores, y describa adecuadamente la relación de las variables independientes con la variable de respuesta; además permita identificar los parámetros de mayor influencia en la limpieza de hoyo.
- Proponer los rangos adecuados de parámetros de perforación a través de la optimización del modelo de regresión múltiple para obtener una óptima limpieza de hoyo y una reducción de tiempos de perforación.
- Realizar gráficas comparativas de cada factor que afecta a la limpieza de hoyo para visualizar las modificaciones más sobresalientes que se deben implementar.
- Calcular los tiempos operativos con los rangos obtenidos en la optimización y compararlos con los tiempos operativos reales por pozo.

1.5. Metodología de estudio

La metodología planteada se muestra en la tabla 1.1

Tabla I: Metodología de estudio

ACTIVIDADES	NÚMERO DE SEMANAS	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINALIZACIÓN
Formulación del Problema	1	2 de mayo	5 de mayo
Búsqueda y revisión de información técnica referente al problema	3	8 de mayo	26 de mayo
Planteamiento de objetivos	1	29 de mayo	2 de junio
Realización del marco teórico	1	5 de junio	9 de junio
Obtención de datos	4	12 de junio	7 de Julio
Estudio técnico y estadístico	3	10 de Julio	28 de Julio
Análisis de resultados	3	31 de Julio	18 de agosto
Conclusiones y Recomendaciones	2	21 de agosto	1 de septiembre

Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Antecedentes

Una óptima limpieza de hoyo asegura una perforación sin necesidad de hacer viajes de limpieza, bombeo de píldoras o la realización de repasos, y con ello una reducción de tiempos. Una inadecuada limpieza puede traer serios problemas durante la perforación, problemas como atascamiento de tubería, alto torque y arrastre, desgaste acelerado de la broca, reducción de ROP, ineficiencia de las herramientas de medición, daño en el ensamble de fondo y lo que es peor, la pérdida de un pozo. Mingqin Duan, 2006 realizó estudios respecto al mejoramiento de prácticas de limpieza por medio del desarrollo de correlaciones para predecir la concentración volumétrica de cortes en el espacio anular y un análisis dimensional de relación de altura de cama de cortes y el diámetro del hoyo. También se han aplicado técnicas de regresión multivariables de parámetros asociados a la limpieza de hoyo bajo valores obtenidos en eventos experimentales para obtener la relación entre parámetros y generar los rangos óptimos para la perforación (Amanna & Khorsand, 2016).

Un estudio experimental realizado en la universidad de Tulsa conducido por Migqin Duan, 2007 mostró que la rotación de la tubería, la temperatura y la reología del fluido de perforación tienen un efecto significativo en el transporte de cortes, también se realizó un análisis dimensional para desarrollar correlaciones que se puedan usar en operaciones de campo y

que permiten determinar condiciones críticas para una eficiente limpieza, así como la optimización del programa de fluidos.

Ogunrinde y Dosunmu, 2012 desarrollaron un modelo que asegura una apropiada limpieza de hoyo en el intervalo crítico de inclinación (entre 45° y 60°) y se determinó el caudal y ROP óptimos para una perforación exitosa.

2.2. Perforación direccional

Es la ciencia y arte de dirigir un pozo a lo largo de una trayectoria planificada para buscar un objetivo geológico predeterminado. (Muñoz A., 2014). Entre los principales términos usados en perforación direccional están: **profundidad vertical verdadera (TVD)**, es la distancia vertical desde el nivel de referencia de profundidad hasta un punto en la trayectoria del pozo (Soque & Vásquez, 2012); **profundidad medida (MD)**, es la medida desde la superficie a un punto en la trayectoria real del pozo; **ángulo de inclinación**, ángulo del pozo con respecto a la vertical; **azimuth**, es el ángulo medido en el plano horizontal del pozo a partir del norte verdadero; **dirección u orientación del pozo**, ángulo medido en el plano horizontal, desde el Norte o Sur hacia el Este u Oeste, se mide en escala de 90°; **registro de desviación (surveys)**, estos registros proporcionan los datos de ángulo de inclinación y azimuth de un pozo a

diferentes profundidades; **objetivo (Target)**, se refiere al punto en que se encuentra la formación de interés (Soque & Vásquez, 2012).

2.2.1. Parámetros de perforación

Son valores medibles durante las operaciones, los mismos que permiten el avance de la perforación de acuerdo a la formación que se esté atravesando. Los principales parámetros de perforación son: **velocidad de penetración (ROP)**, es la relación de los pies de formación perforados en un tiempo determinado y se lo expresa en ft/hr; **velocidad de rotación de la sarta (RPM)**, es el número de revoluciones por minuto de la sarta de perforación, está dado por el top drive y el motor; **peso sobre la broca (WOB)**, es el valor en libras fuerza que soporta la broca; **torque (T)**, es la fuerza necesaria para hacer girar a un cuerpo en torno a un eje, se mide en libras fuerza por pie y se da al momento de que la broca toca la formación y fricciona al girar para cortar; **caudal o galonaje por minuto (GPM)**, son los galones por minuto de fluido de perforación que son bombeados hacia la sarta de perforación (Loor, 2014).

2.3. Fluidos de perforación

Constituyen la fuente que permite generar un mecanismo hidráulico de limpieza de hoyo (suspensión y transporte), además controlan la presión de poro de formaciones, mantienen la estabilidad del hoyo, controlan la

temperatura lubricando la sarta de perforación, y transmiten la energía hidráulica a las herramientas de perforación (API, 2014).

2.3.1. Propiedades de los fluidos

Entre las propiedades del fluido de perforación se encuentran:

densidad: masa por unidad de volumen; **viscosidad plástica (PV):**

es la pendiente de la curva de esfuerzo cortante vs velocidad de corte arriba del umbral de fluencia plástica en el modelo de Bingham;

punto cedente (YP): es el esfuerzo de fluencia extrapolado a una velocidad de corte de cero en el modelo de Bingham;

geles: esfuerzo de corte medido a una baja velocidad de corte después que el fluido ha permanecido en reposo durante un periodo de tiempo;

tixotropía: propiedad de gelificarse con el tiempo cuando no está sujeto a un esfuerzo de corte y luego fluidificarse cuando es agitado;

lubricidad: es una medida de la capacidad de lubricación para reducir los esfuerzos de tensión y la resistencia al avance de la sarta de perforación;

revoque: grado de acumulación de la fase sólida del fluido de perforación en un medio permeable sometido a presión;

filtrado: propiedad que permite el paso de la fase líquida del fluido de perforación a través del revoque;

nivel de pH: es el negativo del logaritmo de la concentración de iones de hidrógeno presentes en el fluido de perforación.

2.4. Limpieza de pozos direccionales

Una óptima limpieza da como resultado una remoción eficiente de cortes generados durante la perforación, es decir, el fluido en conjunto con los parámetros de perforación es capaz de suspender las partículas sólidas y transportarlas con suficiente energía fuera del hoyo (Tobenna, 2010), para evitar problemas como: estancamiento de la tubería, fracturamiento de la formación, incremento en el torque y arrastre, descenso del ROP, dificultades para realizar registros, correr casing y cementar (Zhang, y otros, 2015).

Los cortes dentro del espacio anular están sometidos a tres fuerzas como se ilustra en la figura 2.1: una hacia abajo debido a la gravedad, otra hacia arriba debido a la flotabilidad y una última, paralela a la dirección del flujo debido al arrastre viscoso, provocando que los cortes tengan una trayectoria helicoidal (API, 2014).

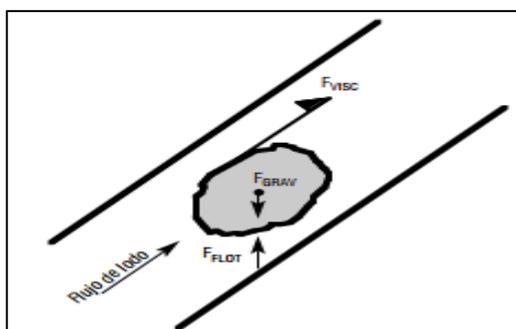


Figura 2.1: Fuerzas que actúan en el movimiento de los cortes en el espacio anular.

Fuente: Manual API, 2014.

2.4.1. Factores que afectan el transporte de cortes

2.4.1.1. Angulo de inclinación del pozo

Por debajo de 15° , la concentración de los cortes es ligeramente mayor que en los pozos verticales; entre 15 y 30° , la concentración de cortes cambia gradualmente conforme aumenta la inclinación; entre 30 y 60° se considera un rango crítico debido a que la concentración de cortes incrementa considerablemente; para un ángulo de 45° , la experiencia indica que los cortes tienden a permanecer estáticos por la disposición vectorial de sus fuerzas (casi totalmente compensadas si no se tiene una suficiente velocidad anular); y entre 60 y 90° , la formación de la cama de cortes es inevitable como se puede observar en la figura 2.1 (Zhang, y otros, 2015).



Figura 2.2: Efecto del ángulo de inclinación en la limpieza de hoyo

Fuente: K&M Technology Group, 2008.

2.4.1.2. Caudal de bombeo

Incrementar el caudal es uno de los principales parámetros que mejora el transporte de cortes; este efecto es más significativo cuando la inclinación del hoyo es mayor y el fluido de perforación es más viscoso (Piroozian & Babakhani, 2012). Modificar el caudal contribuye a controlar los regímenes de flujo del espacio anular y alcanzar mejores perfiles de velocidad para las condiciones geométricas entre la tubería de perforación y el hoyo.

2.4.1.3. Velocidad en el espacio anular

La velocidad anular es la rapidez del fluido mientras se mueve hacia arriba por el anular del pozo, esta velocidad debe ser suficiente para transportar los cortes a superficie mientras se está perforando. Generalmente esta velocidad es menor en el área alrededor de la tubería de perforación ya que su sección transversal es mayor en comparación con el área alrededor de los drill collar y BHA, y en estos se tendrá la mayor velocidad anular. Si la velocidad anular alrededor de la tubería de perforación es bastante buena para limpiar el pozo, entonces será suficiente para la limpieza en las demás áreas. Un incremento en la velocidad anular contribuye positivamente en el transporte de cortes,

este efecto es más significativo en pozos de alta inclinación (Piroozian & Babakhani, 2012).

2.4.1.4. Velocidad o tasa de penetración

Conforme el ROP aumenta, los requerimientos hidráulicos para lograr una efectiva limpieza de hoyo incrementan. La relación entre el ROP y la velocidad crítica de transporte se muestra lineal como en la figura 2.3 (Azar & Robello, 2007).

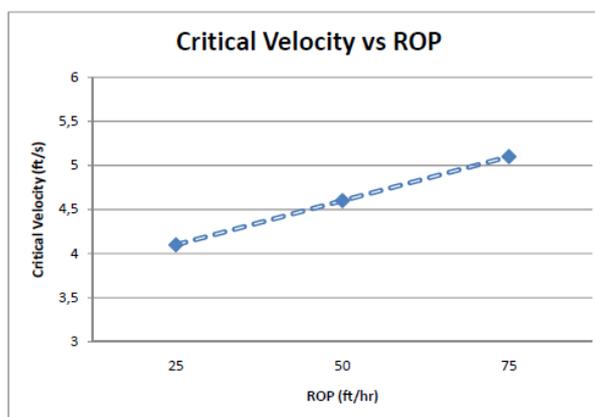


Figura 2.3: Efecto del ROP sobre la velocidad crítica de transporte.

Fuente: Tobenna, 2010.

2.4.1.5. Velocidad de rotación de sarta

El efecto de RPM en la limpieza del orificio se debe a las fuerzas de arrastre aplicadas a los cortes, tal fuerza de arrastre es causada por la velocidad tangencial de la perforación a medida que gira la sarta. Por lo tanto, a velocidades más altas, se experimentan fuerzas de arrastre

mayores en los cortes, lo que conduce a una mayor limpieza del agujero (Amanna & Khorsand, 2016).

2.4.1.6. Excentricidad de sarta

El transporte de cortes es más efectivo en las zonas donde la tubería está centrada, por lo tanto, para optimizar la limpieza es necesario un método confiable para predecir la excentricidad de la tubería (Tobenna, 2010).

2.4.1.7. Tamaño de cortes

Los cortes más pequeños presentan mayor dificultad para el transporte. La rotación de la sarta y la reología del fluido son factores clave que afectan el transporte de dichos cortes, ya que al aumentar la rotación de la tubería y agregar un aditivo que aumente la tixotropía del fluido se mejora el transporte de cortes finos (Amanna & Khorsand, 2016).

2.4.1.8. Viscosidad plástica

Un incremento de la **viscosidad plástica** podría significar un aumento en el porcentaje en volumen de sólidos o un cambio en la forma de las partículas. Como una regla práctica, la viscosidad plástica debería mantenerse en el

valor más bajo posible ya que esto mejora el flujo en el espacio anular para la limpieza del pozo. En la figura 2.4 se muestra el rango sugerido para diferentes densidades del fluido de perforación.

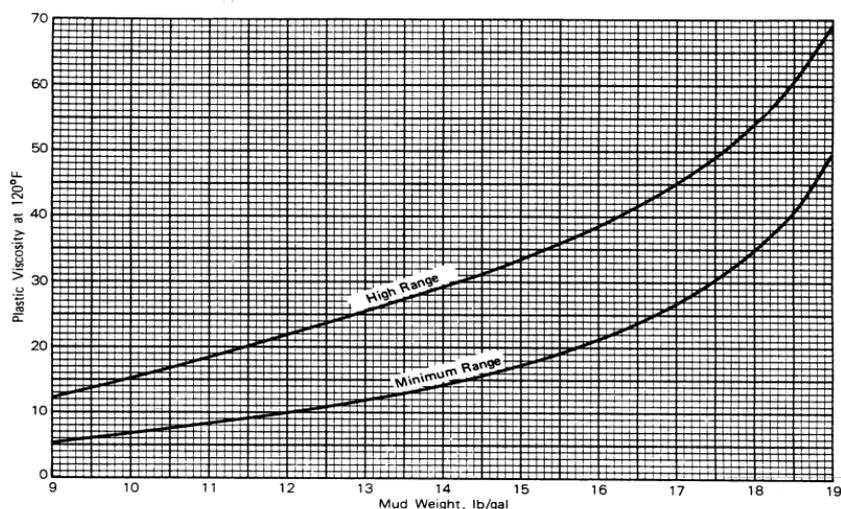


Figura 2.4: Rangos sugeridos para la viscosidad plástica

Fuente: Annis, M., Smith, M., 1996.

2.4.1.9. Punto cedente

A medida que se aumenta el punto cedente se mejora el radio de transporte de cortes debido a que se genera una mayor fuerza de atracción electroquímica entre las partículas que se encuentran en el fluido, lo cual hace que se desacelere la caída de los recortes. En la figura 2.5 se muestra el rango sugerido para diferentes densidades del fluido de perforación.

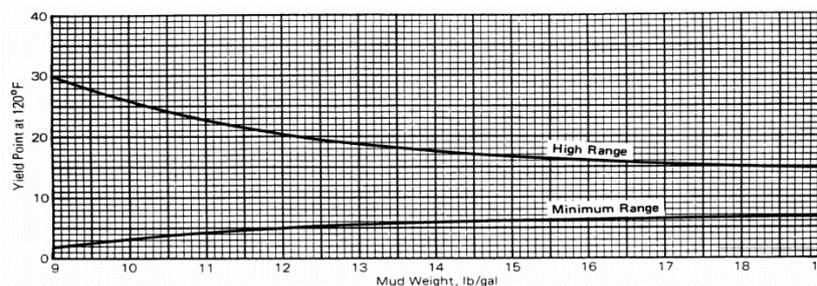


Figura 2.5: Rangos sugeridos para el punto cedente
Fuente: Annis, M., Smith, M., 1996.

2.4.1.10. Geles

Ayudan a mantener suspendidos los cortes cuando se están realizando actividades de conexión de tubería, se apagan las bombas o se impide la circulación del fluido. La magnitud de los geles no deben alcanzar un nivel más alto del necesario para suspender los recortes, ya que puede causar complicaciones. Una amplia variación entre los valores de los geles a diferentes tiempos representa la formación de geles progresivos e indica la acumulación de sólidos; cuando los geles son altos y no existe diferencia significativa entre ellos, estos constituyen geles instantáneos y pueden ser un indicativo de que la floculación ha ocurrido; por lo tanto, es aconsejable que los geles sean planos, es decir, valores bajos y sin diferencia significativa entre ellos. En la figura 2.6 se muestran los tipos de geles mencionados (API, 2014).

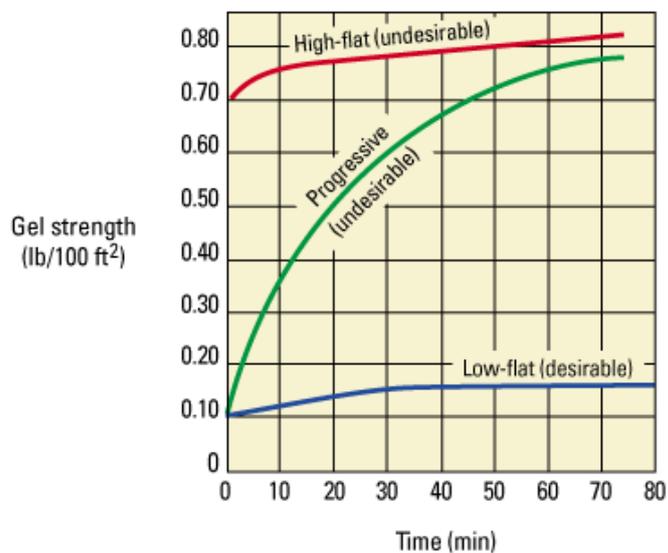


Figura 2.6: Tipos de gel
Fuente: Schlumberger, 2017.

En la figura 2.7 se muestran los factores de mayor influencia en la limpieza de hoyo con respecto a su nivel de control en campo.

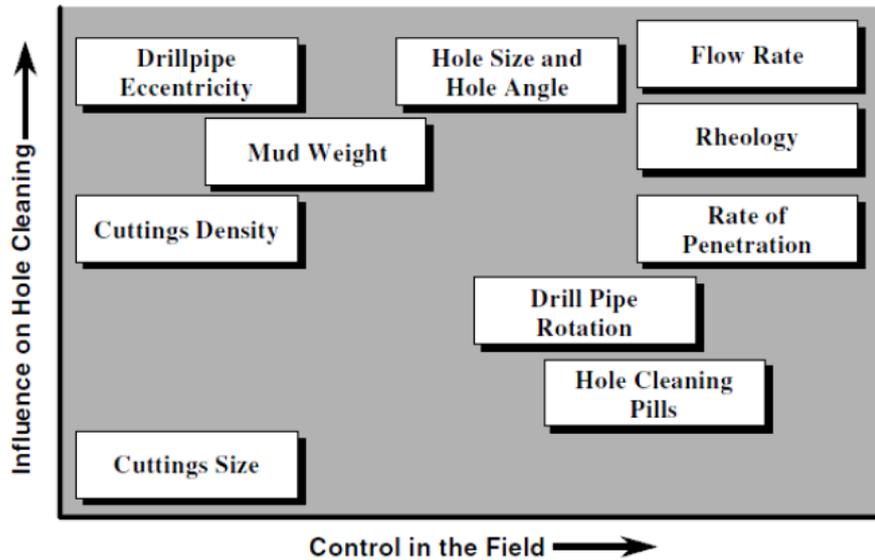


Figura 2.7: Factores de mayor influencia en la limpieza
Fuente: Tobenna, U., 2010.

2.4.2. Indicadores de limpieza de hoyo

Existen diferentes formas de programar, monitorear y evaluar una limpieza de hoyo.

La **programación** se la puede hacer con simuladores tomando en cuenta los propósitos del pozo a ser perforado y las limitantes de parámetros a manejar.

El **monitoreo** en campo se puede realizar por medio de una hidráulica virtual en tiempo real y el control esencial de la ECD en tiempo y profundidad a través de diferentes herramientas que miden la caída de presión en el espacio anular mientras se perfora, o con valores obtenidos por las diferentes líneas de trabajo en el taladro (brocas, direccional, mudlogging etc.).

Una **evaluación** de limpieza es monitoreo de curvas de torque y arrastre durante y después de la perforación, en especial en los viajes y las corridas de casing.

El presente estudio se enfocará en los indicadores mientras se perfora, y como ya se mencionó, se tomará al ECD como indicador clave de limpieza.

2.4.2.1. ECD

ECD (Equivalent Circulating Density) en español “Densidad Equivalente de circulación” es la densidad del fluido de perforación en condiciones dinámicas y bajo el efecto de remoción de cortes mientras se perfora. En otras palabras, es la medida de densidad del fluido en fondo bajo todos los efectos de la perforación.

Matemáticamente se puede expresar de la siguiente forma:

$$ECD = ESD + \frac{\Delta P_{anular}}{0,052 * TVD}$$

A pesar de ser sencilla su expresión, es muy discutido el término ΔP_{anular} , porque involucra la caída de presión del fluido en el espacio anular debida a toda la geometría de la sarta, del hoyo, de la formación, del tipo de fluido, de los parámetros de perforación trabajando y un sinnúmero de variables y principios físicos macro y microscópicos de la perforación.

El término ESD es la densidad del fluido en condiciones estáticas en fondo.

A continuación, se muestran unas expresiones que aproximan el valor de caída de presión en el espacio anular (DrillingFormulas, 2009):

$$n = 3,32 * \log\left(\frac{\theta_{600}}{\theta_{300}}\right)$$

$$K = \frac{\theta_{300}}{511^n}$$

$$V = \frac{24,5 * Q}{(Dh^2 - Dp^2)}$$

$$V_c = \left(\frac{3,878 * 10^4 * K}{MW}\right)^{\frac{1}{2-n}} * \left(\frac{2,4}{Dh - Dp} * \frac{2n + 1}{3n}\right)^{\frac{n}{2-n}}$$

Si $V_c > V$ el régimen de flujo es Laminar,

$$\Delta P_{anular} = \left(\frac{2,4 * V}{Dh - Dp} * \frac{2n + 1}{3n}\right)^n \left(\frac{K * L}{300 * (Dh - Dp)}\right)$$

Si $V_c < V$ el régimen de flujo es Turbulento,

$$\Delta P_{anular} = \frac{7,7 * 10^{-5} * MW^{0,8} * Q^{1,8} * PV^{0,2} * L}{(Dh - Dp)^3 * (Dh + Dp)^{1,8}}$$

2.5. Herramientas estadísticas para el análisis de variables

Antes de realizar cualquier estudio estadístico, es necesario tratar los datos, para el efecto, el software MINITAB 18 posee las siguientes herramientas:

Prueba de valores atípicos: ayuda a identificar valores de la muestra que no representan a la población.

Matriz de correlación: a través de un coeficiente entre -1 y 1 se mide el grado en que dos variables están relacionadas, este coeficiente indica la dirección y la magnitud de la relación.

Transformación de Box – Cox: permite ajustar los datos de las variables a una distribución normal por medio de potenciación.

2.6. Diseño de experimento tipo Superficie de Respuesta

Estadísticamente un diseño de experimento es una herramienta de investigación que permite estudiar simultáneamente los efectos de varias variables de entrada (factores) sobre una variable de respuesta a través de ecuaciones o modelos matemáticos. Se utiliza para identificar las condiciones de un proceso y los componentes que afectan al mismo, para luego determinar la configuración de factores que optimizan los resultados. Existen diferentes tipos de diseños experimentos como: Exploración, Factorial, Superficie de respuesta, Mezcla y Taguchi.

En el diseño tipo Superficie de Respuesta, las variables de entrada pueden ser continuas o discretas.

2.6.1. Interpretación de los resultados

Gráfica de residuos: Un residuo es la diferencia de un valor real y uno calculado con un modelo de regresión. Un buen modelo

generará residuos muy cercanos a cero y llevarán una distribución normal para indicar que se logró un buen ajuste.

Diagrama de Pareto: Es un diagrama que permite identificar visualmente los efectos importantes de las variables de entrada y comparar la magnitud relativa entre ellos. Los efectos que se extienden más allá de la línea de referencia serán significativos.

Gráficas factoriales: Gráficas para mostrar la relación exclusiva entre las variables de entrada y la variable de respuesta. Se puede mostrar la relación entre 3 variables, 2 variables de entrada y la variable de respuesta.

Resumen del modelo:

Es una simplificación cuantitativa de cuan ajustado se encuentra un modelo de regresión con los datos de las variables de entrada. Dispone de R^2 que explica el porcentaje de la varianza, $R^2(\text{ajustado})$ es el porcentaje de la variación en la respuesta cuando se adicionan variables de entrada al modelo de regresión, y el $R^2(\text{predicción})$ es la efectividad con la cual el modelo puede predecir datos de prueba.

Análisis de Varianza:

Es la evaluación de la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles o valores de los factores. De ella se pueden analizar dos

pruebas muy necesarias para un modelo de regresión; la una es el valor p que debe ser menor al nivel de significancia (alfa α) para asegurar que el factor o término de un modelo afecta significativamente a la variable de respuesta. Por otro lado, la siguiente prueba necesaria es el FIV o factor de inflación de la varianza que mide la multicolinealidad de un término de la regresión con los demás términos. Estos deben ser 1 para indicar la no existencia de multicolinealidad, entre 1 y 5 para indicar que existe una moderada multicolinealidad y mayor a 5 cuando la multicolinealidad es alta.

Todo este análisis e interpretación asegura un modelo de regresión altamente ajustado a los datos, eficiente para predecir datos, con términos poco relacionados con los demás, o un modelo estable a la variabilidad de los datos y adicionalmente un modelo adecuado para optimización de respuesta.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1. Población y muestra

La población para el estudio estadístico comprende los pozos perforados en tres secciones en el campo Tiputini, Bloque 43, cuyas secciones conductoras llegan en promedio a 600 ft, considerándose estas de menor importancia dentro de la limpieza de hoyo; por lo tanto, estos pozos se estudiarán como pozos perforados en dos secciones: una sección intermedia de 12 ¼" y una sección de producción de 8 ½". Se tomará a la sección intermedia como la sección de mayor importancia para el estudio.

La muestra está formada por un total de 6 pozos: TPTA 021, TPTA 022, TPTA 024, TPTC 007, TPTC 009 y TPTC 010; siendo los tres primeros pozos pertenecientes al pad A, mientras que los tres últimos pertenecen al pad C.

3.2. Selección de la muestra

Los 6 pozos mencionados fueron tomados como muestra considerando tres criterios:

CRITERIO 1: La sección conductora de 16" termina +/- 600 ft.

CRITERIO 2: Además de la sección conductora de 16, solo poseen una sección intermedia de 12 ¼" y una sección de producción de 8 ½"

CRITERIO 3: La sección de 12 ¼ comprende la mayor parte del pozo, es decir, por encima de 4000 ft y por lo tanto atraviesa las formaciones más críticas durante la perforación: Indiferenciado, Orteguaza, Tiyuyacu y Tena.

Inicialmente se tenían 13 pozos, luego considerando los criterios mencionados, la muestra se redujo a 6 pozos como se muestra en la tabla II :

Tabla II: Lista de pozos

	Pozo	Profundidad sección 16"	# secciones	Tramo 12 ¼ "	CUMPLE		
					Crit 1	Crit 2	Crit 3
1	TPTA 021	812 ft	3	4049 ft	SI	SI	SI
2	TPTA 022	815 ft	3	4059 ft	SI	SI	SI
3	TPTA 024	810 ft	3	4035 ft	SI	SI	SI
4	TPTA 025	3000 ft	3	3000 ft	SI	SI	NO
5	TPTA 029	4451 ft	3	1229 ft	SI	SI	NO
6	TPTC 002	2646 ft	4	1616 ft	NO	NO	NO
7	TPTC 003	2792 ft	4	1882 ft	NO	NO	NO
8	TPTC 004	2913 ft	4	2578 ft	NO	NO	NO
9	TPTC 005	2852 ft	4	3087 ft	NO	NO	NO
10	TPTC 006	2977 ft	4	2569 ft	NO	NO	NO
11	TPTC 007	519 ft	3	4211 ft	SI	SI	SI
12	TPTC 009	478 ft	3	4834 ft	SI	SI	SI
13	TPTC 010	478 ft	3	4370 ft	SI	SI	SI

Fuente: PETROAMAZONAS EP, 2017.

3.3 Selección de variables

Para la selección de las variables a utilizarse en el estudio estadístico se consideró tres aspectos operativos: perforación, fluido de perforación y limpieza.

Las variables relacionadas con la perforación se denominan *parámetros de perforación* y son: rotación (RPM), tasa de perforación (ft/hr), y galonaje (GPM); se seleccionan únicamente estos parámetros debido a que son considerados de mayor influencia en el proceso de perforación y limpieza.

Aquellas variables relacionadas con el fluido de perforación se agrupan como *propiedades del fluido de perforación* y son: densidad (ppg), punto cedente (lbf/100 ft²), viscosidad plástica (cP), GEL 10 SEG (lbf/100 ft²), 10 MIN (lbf/100 ft²) y 30 MIN (lbf/100 ft²); de igual forma se selecciona estas variables debido a que influyen en mayor medida al proceso de transporte de cortes.

En lo referente a limpieza, se utilizó únicamente la diferencia de densidades entre ECD y la densidad del fluido de perforación, ya que es el indicador principal de la limpieza de hoyo.

El valor de ECD se calcula teóricamente debido a que no existe la curva de ECD en los pozos seleccionados.

3.4 Recopilación de datos

Los parámetros de perforación, las propiedades del fluido de perforación y los datos utilizados para el cálculo de ECD fueron obtenidos de los reportes finales de perforación de cada uno de los 6 pozos.

En las tablas III y IV se especifican las fuentes de cada una de las variables seleccionadas:

Tabla III: Fuentes de información de los parámetros de perforación

FUENTES	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN		
	Rotación	ROP	Galonaje
FUENTE PRINCIPAL	Gráficas de los parámetros de perforación con respecto a la profundidad que se encuentran en el reporte de brocas	Gráficas de los parámetros de perforación con respecto a la profundidad que se encuentran en el master log	Gráficas de los parámetros de perforación con respecto a la profundidad que se encuentran en el master log

FUENTES SECUNDARIAS	Hoja de parámetros monitoreados del BHA utilizado que se encuentra en el reporte direccional	Hoja de parámetros monitoreados del BHA utilizado que se encuentra en el reporte direccional	Gráficas de los parámetros de perforación con respecto a la profundidad que se encuentran en el reporte de brocas
			Hoja de parámetros monitoreados del BHA utilizado que se encuentra en el reporte direccional

Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

Tabla IV: Fuentes de información de las propiedades de los fluidos de perforación

FUENTES	PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN			
	Densidad	Punto cedente	Viscosidad plástica	Geles
FUENTE PRINCIPAL	Curva de densidades que se encuentra en el reporte de fluidos	Tabla de las propiedades del fluido de perforación utilizado que se encuentran en el reporte de fluidos	Tabla de las propiedades del fluido de perforación utilizado que se encuentran en el reporte de fluidos	Tabla de las propiedades del fluido de perforación utilizado que se encuentran en el reporte de fluidos

Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

3.5 Organización de los datos

Para cada uno de los 6 pozos se realizó una tabla general, la misma que contiene información sobre topes y bases de las formaciones, su litología, BHA utilizado, drill pipe y diámetro de hoyo a ser perforado, tiempos de perforación y de viaje, ROP promedio y velocidades de viaje. En el anexo A se muestra a detalle estas tablas.

Los parámetros de perforación, propiedades de los fluidos y la diferencia entre ECD y densidad del fluido de perforación para el estudio estadístico fueron organizados por pozo y por formación como se muestra en la figura 3.1. En el anexo B se muestra a detalle la figura 3.1

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO "TPTC - 007" EN LA FORMACIÓN "INDIFERENCIADO"

PROFUNDIDAD (MD) [ft]	PROFUNDIDAD (TVD) [ft]	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACION
		ROTACIÓN [RPM]	ROP [gal/min]	GALONAJE [ft/hr]	DENSIDAD [lb/gal]	PUNTO CEDENTE [lb/100ft ²]	VISCOSIDAD PLÁSTICA [cP]	GELES			
								10 SEG [lb/100ft ²]	10 MIN [lb/100ft ²]	30 MIN [lb/100ft ²]	
541,00	540,99	70,00	66,67	560,00	8,90	4,10	11,02	4,02	5,04	6,04	0,02
561,00	560,98	75,00	74,07	640,00	8,90	4,59	11,13	4,13	5,22	6,25	0,03
633,00	632,96	75,00	138,46	640,00	8,90	4,51	11,11	4,11	5,19	6,22	0,03

Figura 3.1: Organización de los datos por pozo y por formación

Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

3.6 Análisis estadístico de los datos

Los valores de ROP se suavizan para eliminar los cambios bruscos, estos valores junto con los datos que se muestran en el anexo B se ingresan en la hoja de trabajo de MINITAB 18 a excepción de las profundidades, seguidamente se realiza pruebas de valores atípicos para cada una de las variables, en caso de existir valores atípicos estos deberán ser eliminados; luego se calcula una matriz de correlación para identificar las variables que

están relacionadas con otras, después se realiza una prueba de normalidad de la variable de respuesta para identificar si los datos se comportan como una distribución normal; en caso de que los datos no sigan una distribución normal, se realiza la transformación de Box-Cox para ajustar los datos. En el anexo C se indican los pasos que se deben seguir para realizar las pruebas de valores atípicos, la matriz de correlación, prueba de normalidad y transformación de Box-Cox en el software MINITAB 18 y en el anexo D se muestra el análisis estadístico de cada formación.

3.7 Selección del modelo de regresión lineal múltiple

En primera instancia se necesita crear el diseño de superficie de respuesta, para lo cual se ingresan los factores o variables en MINITAB 18, todos los factores serán continuos. A continuación, se ingresa la variable de respuesta, se escoge uno de los cuatro modelos (CUADRÁTICO COMPLETO, LINEAL + INTERACCIONES, LINEAL + CUADRADOS Y LINEAL), se indica la transformación de Box-Cox en caso de ser necesaria, se especifica el método para seleccionar los factores más significativos y se selecciona la forma de mostrar las gráficas y resultados. En el anexo E se detallan estos pasos en MINITAB 18.

Se realizan diferentes modelos para cada formación y se selecciona aquel que mejor se ajuste a los datos y también cuyos efectos de los factores

concuerdan con el fundamento teórico analizado. En base al modelo de regresión seleccionado se hará la optimización. En el anexo F se muestran todos los modelos realizados por formación.

3.8 Optimización de la limpieza

Se determina el valor de la variable de respuesta que se desea obtener, para ello se realiza un gráfico de dispersión para identificar un rango operativo medio; también se determina las profundidades de inicio y fin de cada formación, así como también sus densidades iniciales y finales.

Para encontrar los valores iniciales de las demás propiedades del fluido de perforación se realiza una optimización cuyo objetivo será el límite inferior del rango operativo medio. Dentro de las opciones de la optimización solo se ingresa el valor de la variable DENSIDAD que corresponde al valor inicial determinado anteriormente, además se especifica que se muestren 100 resultados, de los cuales se selecciona aquel que tenga la combinación de los valores más pequeños de las propiedades del fluido de perforación.

Para determinar los valores finales de las demás propiedades del fluido de perforación se realiza otra optimización cuyo objetivo será el límite superior del rango operativo medio. Dentro de las opciones de la optimización se

ingresa el valor de la variable DENSIDAD que corresponde al valor final determinado anteriormente, y para las demás propiedades del fluido se indica que el valor debe ser mayor al valor inicial obtenido en la primera optimización; de igual forma se especifica que se muestren 100 resultados, de los cuales se selecciona aquel que tenga la combinación de los valores más pequeños de las propiedades del fluido de perforación y también se debe considerar que estos valores sean los mínimos de la siguiente formación.

Debido a que la variable GEL 30 MIN está correlacionada con la variable GEL 10 MIN, se utiliza el modelo de regresión para calcular los valores iniciales y finales de GEL 30 MIN a partir de los valores obtenidos de GEL 10 MIN. En el anexo G se indican los pasos para realizar las optimizaciones en MINITAB 18, mientras que en el anexo H se muestran los resultados por formación.

Se construye una tabla en la que se dan los valores de cada una de las variables por cada 100 ft perforados y sus respectivos tiempos, finalmente se calcula el tiempo total de perforación por formación. En el anexo I se muestran cada una de las optimizaciones realizadas para construir la tabla.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. Formación Indiferenciado

Se obtuvo un modelo con un ajuste de R^2 de 94,82%, R^2 ajustado de 94,39% y un R^2 de predicción 92,86%. Los términos del modelo no presentan un FIV muy alto, lo cual se interpreta como un modelo estable.

La gráfica de residuos del modelo ilustrada en la figura 4.1 muestra que se cumplen con los supuestos del modelo. Además, el diagrama de Pareto mostrado en la figura 4.1 indica que el efecto de las variables sobre la variable de respuesta es acorde a la teoría, por lo que esto aseguró el uso del modelo para la optimización; también se nota que las propiedades del fluido de perforación son las que tienen mayor efecto en la variable de respuesta.

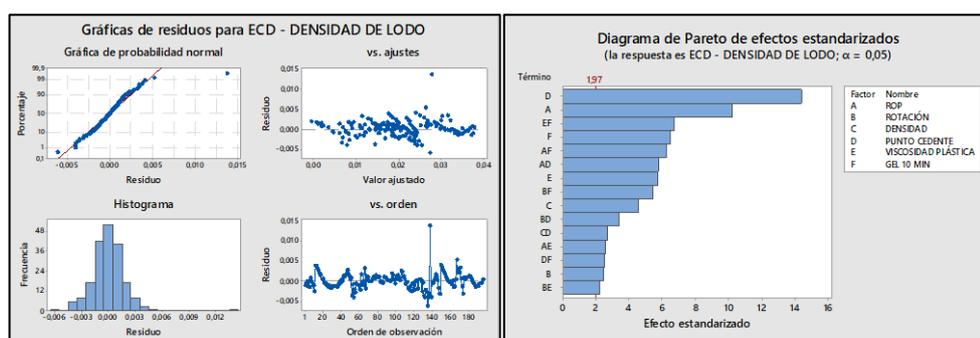


Figura 4.1: Gráfica de residuos y diagrama de Pareto para el modelo utilizado en la formación Indiferenciado
Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

En la figura 4.2 se muestran los efectos principales de cada una de las variables sobre la variable de respuesta, en la que se muestra que las tendencias de las variables son técnicamente correctas según la teoría.

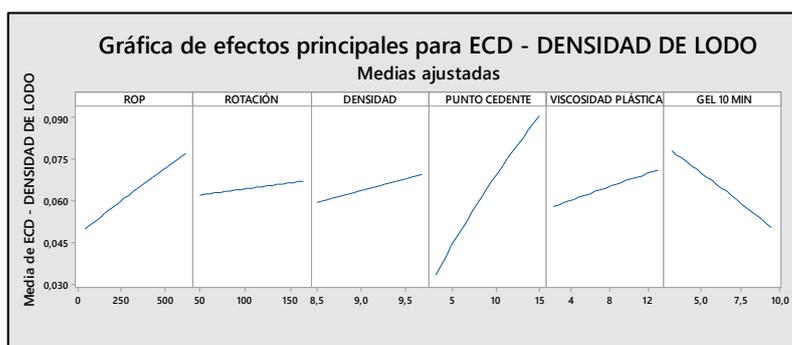


Figura 4.2: Gráfica de efectos principales para el modelo utilizado

Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

Se sostuvo valores aproximados de entrada y salida de la formación, con el promedio de los manejados según reportes de geología.

En la tabla V se observa los parámetros de perforación y las propiedades de los fluidos de perforación por cada 100 ft para optimizar la perforación y la limpieza.

Se propone una rotación de 50 RPM desde 500 ft hasta los 1600 ft, que podría ser con deslizamiento en caso del uso de motor de fondo. Posterior a los 1600 ft, ir aumentando la rotación para permitir la remoción de camas de cortes, valores entre 117 a 165 RPM que podrían ser logrados con rotación.

Tabla V: Rangos óptimos de operación de los parámetros de perforación y propiedades del fluido de perforación en la formación Indiferenciado

PROFUNDIDAD (MD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DE LODO	Tiempo de perforación
	ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GEL 10 SEG	GEL 10 MIN	GEL 30 MIN		
	[RPM]	[ft/hr]	[GPM]		[lb/100ft ²]	[cP]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]		
	[ft]	Óptimo	Óptimo	Óptimo	[ppg]	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo		
500,00	50,00	300,00	937,90	8,90	3,03	2,01	1,93	3,02	2,41	0,01	0,33
600,00	50,00	400,00	1059,25	8,93	3,03	2,01	1,93	3,02	2,41	0,01	0,25
700,00	50,00	596,91	1204,65	8,95	4,17	2,53	2,29	3,33	2,94	0,03	0,17
800,00	50,00	593,63	1203,25	8,98	4,75	3,06	2,61	3,63	3,44	0,03	0,17
900,00	50,00	590,00	1201,66	9,01	5,32	3,58	2,85	3,94	3,95	0,04	0,17
1000,00	50,00	587,00	1200,30	9,04	5,89	4,10	3,05	4,25	4,46	0,05	0,17
1100,00	50,00	584,02	1198,93	9,06	6,46	4,63	3,21	4,55	4,94	0,05	0,17
1200,00	50,00	579,47	1196,79	9,09	7,03	5,15	3,33	4,86	5,43	0,06	0,17
1300,00	50,00	563,24	1188,59	9,12	7,61	6,20	3,49	5,17	5,91	0,06	0,18
1400,00	50,00	551,77	1182,28	9,15	7,69	6,29	3,50	5,52	6,45	0,06	0,18
1500,00	50,00	536,52	1173,25	9,17	8,73	6,72	3,55	6,09	7,30	0,07	0,19
1600,00	50,00	524,11	1165,35	9,20	9,32	7,24	3,60	6,39	7,73	0,07	0,19
1700,00	163,60	509,31	1155,29	9,23	9,89	7,77	3,65	6,70	8,18	0,08	0,20
1800,00	98,00	502,62	1150,51	9,25	10,46	8,29	3,71	6,70	8,18	0,08	0,20
1900,00	140,36	482,83	1135,54	9,28	11,04	8,81	3,79	7,00	8,60	0,08	0,21
2000,00	117,67	460,22	1116,89	9,31	11,04	9,34	3,89	7,31	9,03	0,08	0,22
2100,00	50,00	448,56	1106,63	9,34	11,61	10,25	4,13	7,62	9,45	0,08	0,22
2200,00	164,74	415,83	1075,52	9,36	12,18	10,38	4,18	7,92	9,84	0,08	0,24
2300,00	165,91	400,00	1059,25	9,39	13,32	11,24	4,55	8,54	10,65	0,08	0,25
2400,00	165,91	400,00	1059,25	9,42	13,90	11,95	4,97	8,84	11,02	0,08	0,25
2500,00	165,91	400,00	1059,25	9,45	13,90	12,47	5,36	9,15	11,40	0,07	0,25
2600,00	165,10	300,00	937,90	9,50	14,47	13,00	5,82	9,45	11,76	0,06	TOTAL 4,37

Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

Se utilizó estratégicamente una entrada con 300 ft/hr e igual para la salida, esto para asegurar los planes direccionales. Los demás puntos se optimizan con ROP's altos para beneficiar la perforación sin perjudicar la limpieza. A medida que se toman valores optimizados de ROP se buscaron los mínimos valores posibles de ECD – DENSIDAD DE LODO que estén dentro del rango operacional.

El galonaje se mantiene alto, lo que era de esperarlo para facilitar un óptimo transporte de cortes a superficie y reducir la carga anular de cortes. Los valores de galonaje no llevan a valor fijo, pero ya que el modelo es muy estable se podría generar una práctica a valores fijos como 1000 GPM, 1500 GPM o 1200 GPM según lo obtenido.

La densidad es una propiedad del lodo que no puede ser optimizada dentro del modelo. Se usan valores promedios de los utilizados en los reportes.

Se pudo optimizar con valores crecientes de viscosidad plástica y en rangos reducidos a los utilizados.

El GEL 10 SEG lleva una tendencia creciente conforme se profundiza. Ya que esta propiedad fue correlacionada con la viscosidad plástica se obtuvieron valores iniciales por debajo de los utilizados hasta los primeros

300 ft. No se excluye este análisis, pero se deja a criterio técnico aplicativo su verificación.

El GEL 10 MIN es la propiedad más importante en la limpieza después de la viscosidad plástica. Sus valores fueron optimizados directamente del diseño de experimento. Se lograron valores crecientes y reducidos en rango, que técnicamente es conveniente en las operaciones.

Los valores del GEL 30 MIN fueron calculados a partir de una regresión con el GEL 10 MIN, sus valores están dentro de los manejados y también corresponden a una tendencia creciente mientras se profundiza.

Los geles manejados fueron planos, como se observa en la figura 4.3.

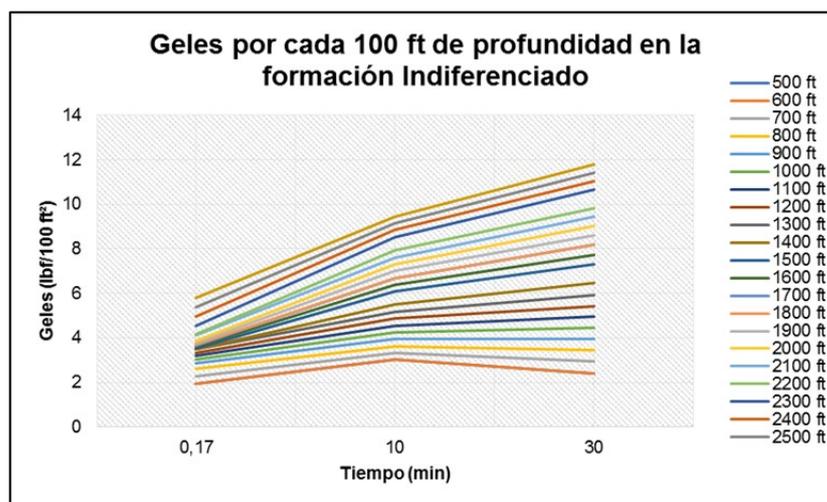


Figura 4.3: Geles en la formación Indiferenciado
Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

4.2. Formación Orteguaza

Debido a que la variable DENSIDAD está altamente correlacionada con ROP y GALONAJE se realizaron dos modelos cuya variable de respuesta fue la diferencia de densidades (ECD – DENSIDAD DE LODO). El primer modelo relacionó la variable de respuesta con ROTACIÓN, GALONAJE, PUNTO CEDENTE, VISCOSIDAD PLÁSTICA, GEL 10 SEG Y GEL 10 MIN, mientras que el segundo modelo relacionó la variable de respuesta con ROTACIÓN, DENSIDAD Y ROP. Los dos modelos mencionados se ajustaron a los datos en un 95.25% y 54.09% respectivamente; a pesar de que el segundo modelo no tuvo un buen ajuste en comparación al primero, se lo seleccionó ya que fue el de mayor estabilidad, es decir, los valores de FIV fueron bajos, también describió de forma adecuada los efectos de las variables sobre la diferencia de densidades.

La gráfica de residuos de cada modelo ilustradas en la figura 4.4 y figura 4.5 muestran que se cumplen con los supuestos del modelo. Además, Los diagramas de pareto mostrados en las figuras 4.4 Y 4.5 indican que en el primer modelo, la diferencia de densidades se afecta principalmente por las variables: PUNTO CEDENTE, GALONAJE, VISCOSIDAD PLÁSTICA, GEL 10 MIN, ROP, mientras que ROTACIÓN no tiene gran efecto; en el segundo modelo, la variable de respuesta es afectada principalmente por ROTACIÓN, ROP, y muy poco por DENSIDAD. Estos resultados son

válidos ya que de acuerdo a la bibliografía consultada las propiedades reológicas tienen mayor efecto en la limpieza.

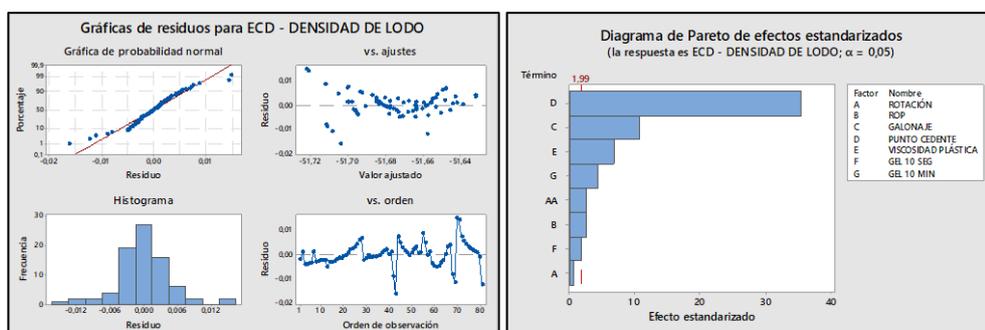


Figura 4.4: Gráfica de residuos y diagrama de pareto para el primer modelo utilizado en la formación Orteguaza
Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

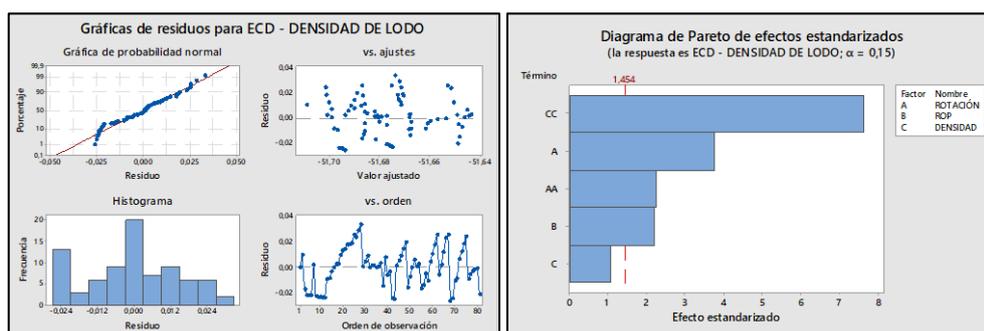


Figura 4.5: Gráfica de residuos y diagrama de pareto para el segundo modelo utilizado en la formación Orteguaza
Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

En la figura 4.6 se muestran los efectos principales de cada una de las variables sobre la variable de respuesta. En las dos gráficas se observa que las variables ROTACIÓN y ROP tienen un comportamiento similar, es decir, mientras la variable ROTACIÓN aumenta, la diferencia de densidades disminuye, y mientras la variable ROP aumenta, la diferencia de densidades aumenta, lo cual concuerda con la bibliografía consultada.

El comportamiento de las demás variables se ajusta al comportamiento de los datos utilizados.

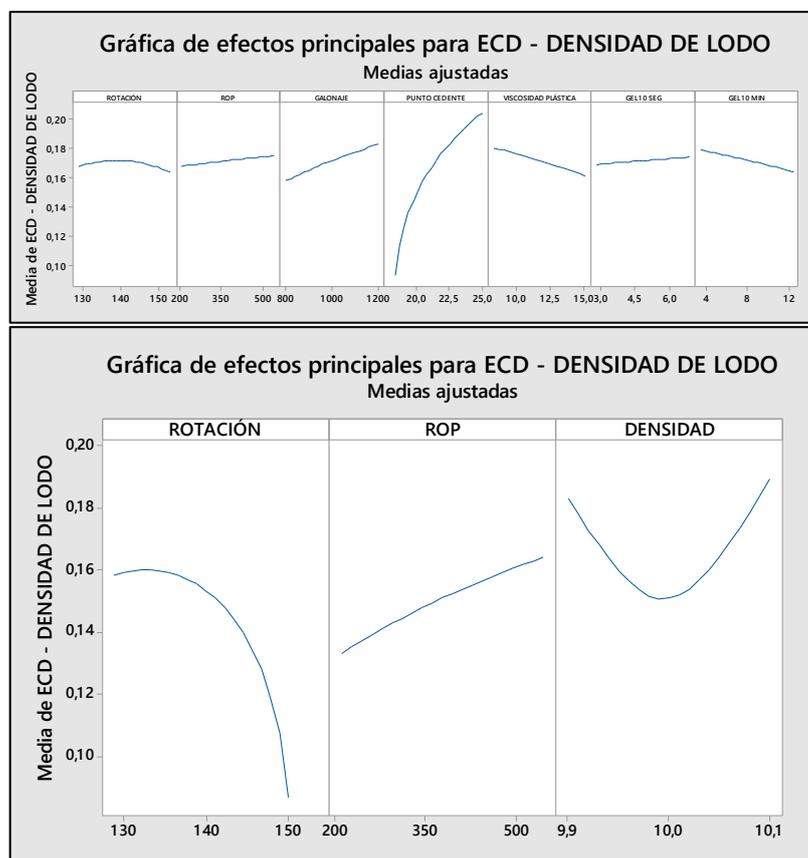


Figura 4.6: Gráfica de efectos principales para los dos modelos utilizados en la formación Orteguzza
Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

De acuerdo a los reportes de geología de los pozos seleccionados, la formación Orteguzza empieza en promedio a los 2700 ft y llega hasta los 3700 ft; de igual forma, según las curvas de densidad de los reportes de fluido, la densidad del lodo empieza en 9,9 ppg hasta 10 ppg.

En la gráfica de dispersión de la variable de respuesta de la figura 4.7, se

observa que el menor valor teórico es 0,10 y el mayor es 0,21, sin embargo se selecciona el intervalo de 0,13 a 0,17 como el rango operativo medio ya que se pretende minimizar la variable de respuesta, no se seleccionó desde 0,10 debido a que existen pocos valores.

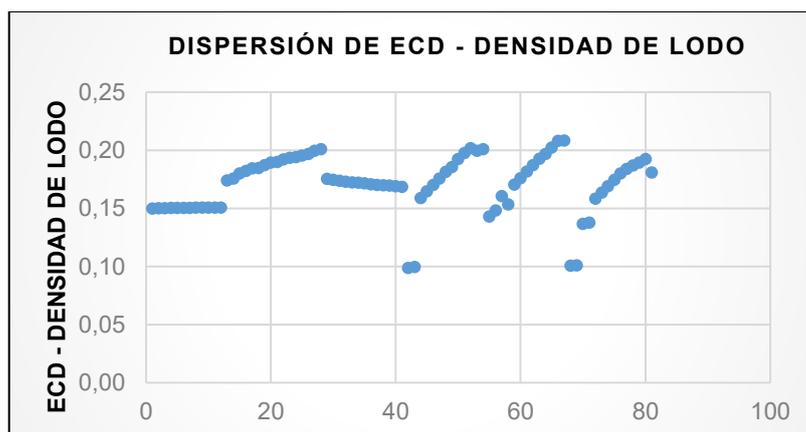


Figura 4.7: Gráfica de dispersión de la variable de respuesta en la formación Orteguaza

Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

El valor inicial de la variable de respuesta no fue el límite inferior del rango operativo ya que al hacer la optimización restringiendo el valor inicial de densidad solo se obtuvo soluciones cuyo valor de la variable de respuesta fue 0,1468, este valor se lo tomó como válido ya que se encuentra dentro del rango operativo que se definió.

De las soluciones que muestra el software MINITAB 18 se seleccionó aquella combinación que tenga los valores más bajos de las variables: VISCOSIDAD PLÁSTICA, GEL 10 SEG Y GEL 10 MIN debido a que para

la limpieza de pozos desviados es recomendable tener los valores más bajos de estas propiedades.

La tabla VI muestra los parámetros de perforación y las propiedades de los fluidos de perforación que se deberían manejar por cada 100 ft. Se observa que la rotación es mayor al inicio de la formación, mientras que el galonaje y la tasa de perforación (ROP) no tienen una tendencia definida, esto se debe a que se buscó la combinación de valores que cumplan con el objetivo del proyecto.

Para una densidad de 9.9 a 10 ppg, el rango recomendado para PUNTO CEDENTE está entre valores mayores a 3 y menores a 26 lbf/100 ft², y para VISCOSIDAD PLÁSTICA está entre valores mayores a 5 y menores a 15 cP; sin embargo, para esta formación se propone un rango de 18.44 a 20.84 lbf/100 ft² para PUNTO CEDENTE y de 8,33 a 11,11 cP debido a que esos fueron los valores manejados en los pozos de la muestra.

Los valores finales de VISCOSIDAD PLÁSTICA y CADA UNO DE LOS GELES son similares a los valores mínimos que se manejaron en la siguiente formación, para garantizar una continuidad creciente, ya que se está utilizando el mismo fluido de perforación para las formaciones Ortegua y Tiyuyacu. Manejando los parámetros propuestos, el tiempo total de perforación de esta formación es de 2.92 horas.

Tabla VI: Rangos óptimos de operación de los parámetros de perforación y propiedades del fluido de perforación en la formación Orteguaza

PROFUNDIDAD (MD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DE LODO	Tiempo de perforación
	ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GEL 10 SEG	GEL 10 MIN	GEL 30 MIN		
	[RPM]	[ft/hr]	[GPM]		[lb/100ft ²]	[cP]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]		
	[ft]	Óptimo	Óptimo	Óptimo	[ppg]	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo		
2700,00	150,00	215,00	1200,00	9,90	18,44	8,33	2,83	3,98	5,68	0,15	0,47
2800,00	150,00	250,00	1200,00	9,91	18,44	8,59	2,83	4,11	5,85	0,15	0,40
2900,00	150,00	400,00	1050,00	9,92	18,92	8,61	3,12	4,28	6,06	0,15	0,25
3000,00	140,00	215,00	1200,00	9,93	18,92	8,90	3,16	4,58	6,44	0,16	0,47
3100,00	140,00	330,00	1100,00	9,94	19,40	9,16	3,41	4,87	6,80	0,16	0,30
3200,00	140,00	410,00	1100,00	9,95	19,64	9,44	3,56	5,17	7,17	0,16	0,24
3300,00	140,00	480,00	1050,00	9,96	19,88	9,72	3,71	5,47	7,54	0,17	0,21
3400,00	140,00	540,00	1050,00	9,97	20,12	10,00	3,85	5,77	7,90	0,17	0,19
3500,00	140,00	500,00	1000,00	9,98	20,24	10,49	3,85	6,36	8,61	0,16	0,20
3600,00	140,00	500,00	1000,00	9,99	20,36	10,83	4,00	6,66	8,97	0,16	0,20
3700,00	130,00	450,00	1000,00	10,00	20,84	11,11	4,29	6,96	9,32	0,16	TOTAL 2,93

Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

El tipo de gel propuesto es plano como se ilustra en la figura 4.8, es decir, los valores a diferentes tiempos no guardan diferencia significativa y también los valores iniciales y finales no superan los 10 lbf/100 ft².

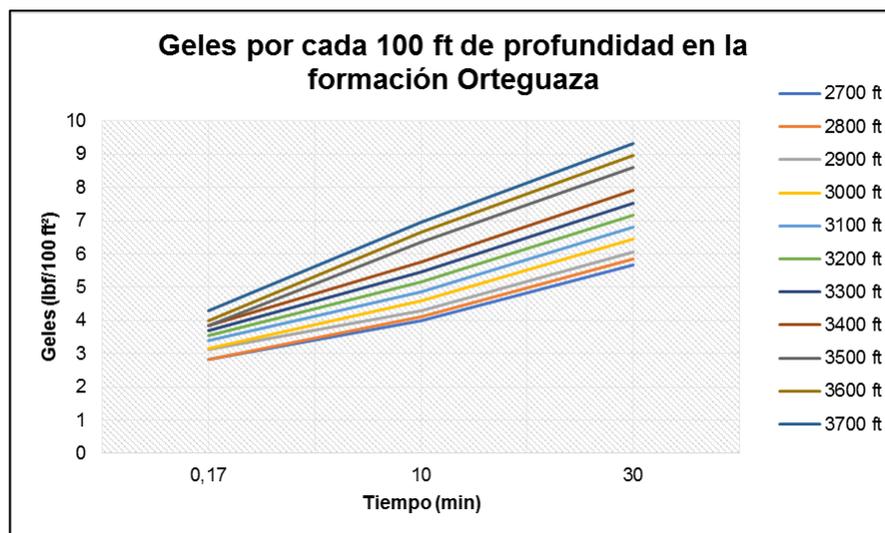


Figura 4.8: Geles en la formación Orteguaza
Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

4.3. Formación Tiyuyacu

En esta formación, únicamente la variable GEL 30 MIN estuvo altamente correlacionada con GEL 10 MIN, por lo que el modelo utilizado relacionó la variable de respuesta (ECD – DENSIDAD DE LODO) con ROTACIÓN, ROP, GALONAJE, PUNTO CEDENTE, VISCOSIDAD PLÁSTICA, GEL 10 SEG Y GEL 10 MIN; los valores de la variable GEL 30 MIN se calcularon de la misma forma que en la formación Orteguzza. El modelo se ajustó a los datos en un 99.87% y fue el de mayor estabilidad, es decir, los valores de FIV fueron bajos.

La gráfica de residuos del modelo ilustrada en la figura 4.9 muestra que se cumplen con los supuestos del modelo y el diagrama de pareto mostrado en la misma figura indica que la diferencia de densidades se afecta principalmente por las variables: PUNTO CEDENTE, GALONAJE, ROP, VISCOSIDAD PLÁSTICA, GEL 10 SEG, mientras que DENSIDAD, ROTACIÓN y GEL 10 MIN no tienen gran efecto.

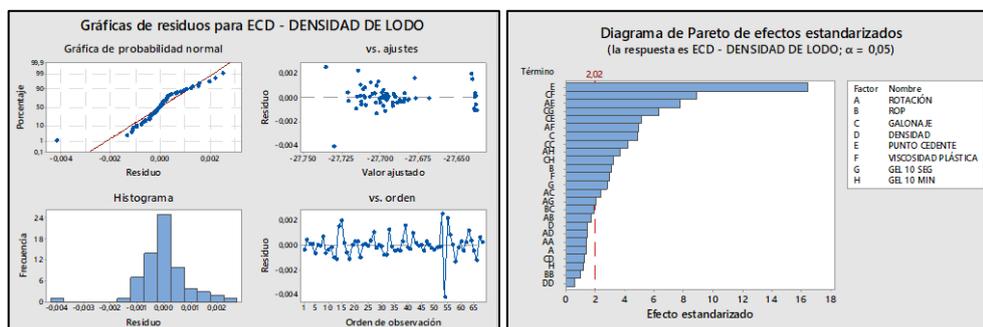


Figura 4.9: Gráfica de residuos y diagrama de Pareto para el modelo utilizado en la formación Tiyuyacu
Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

En la figura 4.10 se muestran los efectos principales de cada una de las variables sobre la variable de respuesta. En la gráfica se observa que mientras la variable ROTACIÓN aumenta, la diferencia de densidades disminuye, y mientras la variable ROP aumenta, la diferencia de densidades aumenta, lo cual concuerda con la bibliografía consultada. El comportamiento de las demás variables se ajusta al comportamiento de los datos utilizados.

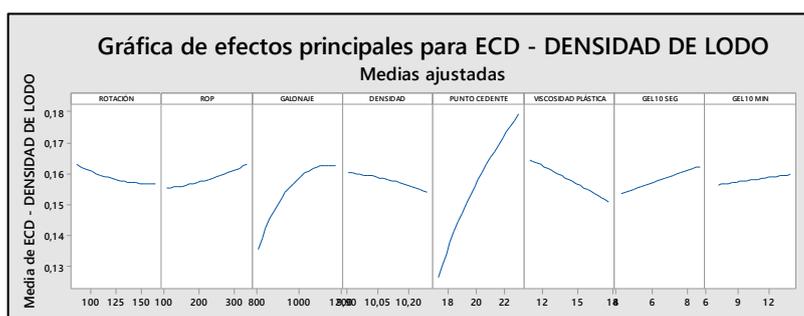


Figura 4.10: Gráfica de efectos principales para el modelo utilizado en la formación Tiyuyacu
Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

De acuerdo con los reportes de geología de los pozos seleccionados, la formación Tiyuyacu empieza en promedio a los 3700 ft y llega hasta los 4400 ft; de igual forma, según las curvas de densidad de los reportes de fluido, la densidad del lodo empieza en 10 ppg hasta 10.2 ppg.

En la gráfica de dispersión de la variable de respuesta de la figura 4.11, se observa que el menor valor teórico es 0,09 y el mayor es 0,20, sin embargo se selecciona el intervalo de 0,13 a 0,16 como el rango operativo medio ya que se pretende minimizar la variable de respuesta, no se seleccionó desde 0.09 ppg debido a que existen pocos valores.

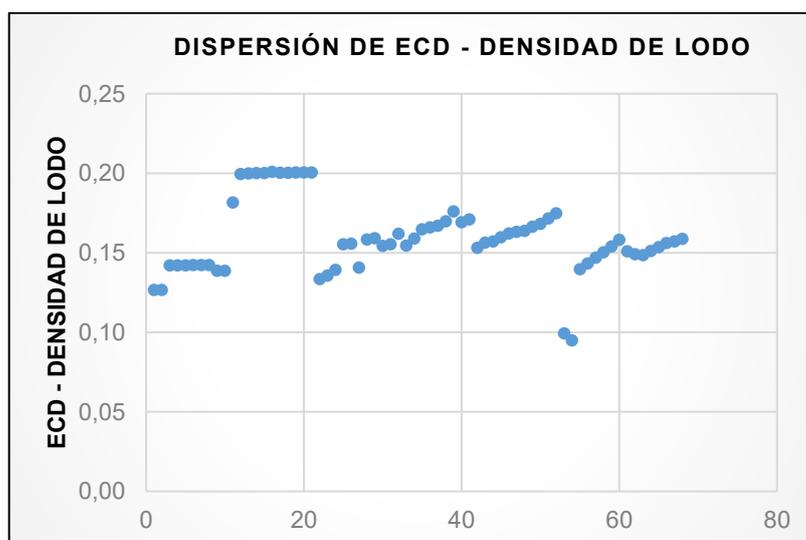


Figura 4.11: Gráfica de dispersión de la variable de respuesta en la formación Tiyuyacu
Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

De las soluciones que muestra el software MINITAB 18 se seleccionó aquella combinación que tenga los valores más bajos de las variables:

VISCOSIDAD PLÁSTICA, GEL 10 SEG Y GEL 10 MIN debido a que para la limpieza de pozos desviados es recomendable tener los valores más bajos de estas propiedades.

En la tabla VII se observa los parámetros de perforación y las propiedades de los fluidos de perforación que se deberían manejar por cada 100 ft para optimizar la perforación y la limpieza, es decir, minimizar la diferencia de densidades y maximizar la tasa de perforación.

Se observa que la rotación es mayor únicamente en los primeros 100 ft de formación y luego se mantiene en 125 RPM, la tasa de perforación (ROP) tiene un comportamiento similar, mientras que el galonaje disminuye progresivamente y aumenta en los últimos 100 ft, esto se debe a que se buscó la combinación de valores que cumplan con el objetivo del proyecto.

Para una densidad de 10 a 10.2 ppg, el rango recomendado para PUNTO CEDENTE está entre valores mayores a 4 y menores a 25 lbf/100 ft², y para VISCOSIDAD PLÁSTICA está entre valores mayores a 6 y menores a 16 cP; sin embargo, para esta formación se propone un rango de 17,27 a 20,51 lbf/100 ft² para PUNTO CEDENTE y de 11,12 a 12,67 cP debido a que esos fueron los valores manejados en los pozos de la muestra.

Tabla VII: Rangos óptimos de operación de los parámetros de perforación y propiedades del fluido de perforación en la formación Tiyuyacu

PROFUNDIDAD (MD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DE LODO	Tiempo de perforación
	ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GEL 10 SEG	GEL 10 MIN	GEL 30 MIN		
	[RPM]	[ft/hr]	[GPM]		[lb/100ft ²]	[cP]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]		
	[ft]	Óptimo	Óptimo	Óptimo	[ppg]	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo		
3700,00	150,00	150,00	1150,00	10,00	17,27	11,12	4,29	6,97	9,34	0,13	0,67
3800,00	125,00	230,00	1000,00	10,03	17,73	11,12	4,36	7,07	9,45	0,13	0,43
3900,00	125,00	230,00	1000,00	10,06	18,20	11,34	4,43	7,18	9,58	0,14	0,43
4000,00	125,00	230,00	1000,00	10,09	18,66	11,56	4,50	7,28	9,70	0,14	0,43
4100,00	125,00	230,00	990,00	10,11	18,96	11,78	4,57	7,39	9,83	0,15	0,43
4200,00	125,00	230,00	990,00	10,14	19,58	12,01	4,64	7,49	9,94	0,15	0,43
4300,00	125,00	230,00	990,00	10,17	19,81	12,37	4,64	7,49	9,94	0,15	0,43
4400,00	125,00	230,00	1000,00	10,20	20,51	12,67	4,78	7,70	10,19	0,16	TOTAL 3,25

Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

Los valores finales de VISCOSIDAD PLÁSTICA y CADA UNO DE LOS GELES son similares a los valores mínimos que se manejaron en la siguiente formación, para garantizar una continuidad creciente, ya que se está utilizando el mismo fluido de perforación para las formaciones Orteguaza, Tiyuyacu y Tena.

Manejando los parámetros propuestos, el tiempo total de perforación de esta formación es de 3.28 horas.

El tipo de gel propuesto es plano como se ilustra en la figura 4.12, es decir, los valores a diferentes tiempos no guardan diferencia significativa y también los valores iniciales y finales superan en poco a los 10 lbf/100 ft².

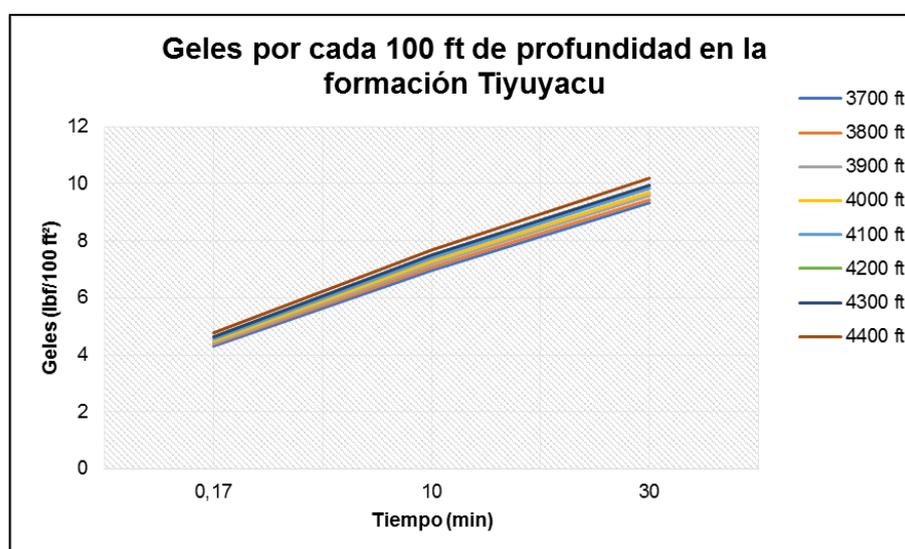


Figura 4.12: Geles en la formación Tiyuyacu
Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

4.4. Formación Tena

Esta formación presenta modelos combinados de diseño de experimentos, uno para los parámetros de perforación y otro para las propiedades del fluido de perforación. Los dos modelos son estables.

En los diagramas de pareto de la figura 4.13 se aprecian efectos de interacciones entre parámetros. Estas interacciones trabajan con niveles para poder asociar el comportamiento de dos variables con la variable de respuesta.

En el diagrama izquierdo de la figura 4.13 se observa que el efecto de la densidad no es muy significativo, pero se la toma como variable para poder ajustar las condiciones geomecánicas de la formación a cada valor de densidad. El diagrama derecho correspondiente al modelo que usa los parámetros de perforación toma en consideración al Galonaje como variable con poca significancia; a pesar de ser técnicamente incorrecto se lo tomará así debido a la naturaleza de los datos.

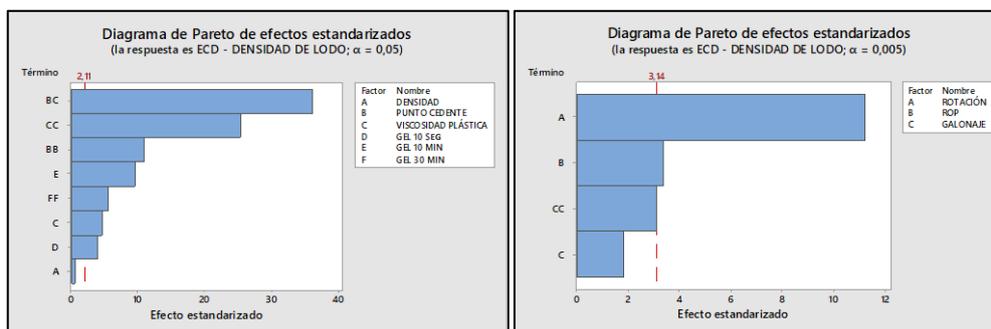


Figura 4.13: Diagrama de pareto de los modelos utilizados en la formación Tena

Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

Las gráficas de efectos principales para ambos modelos son técnicamente correctas excepto para la variable de Galonaje que no influye mayormente en la variable de respuesta. Ver figura 4.14

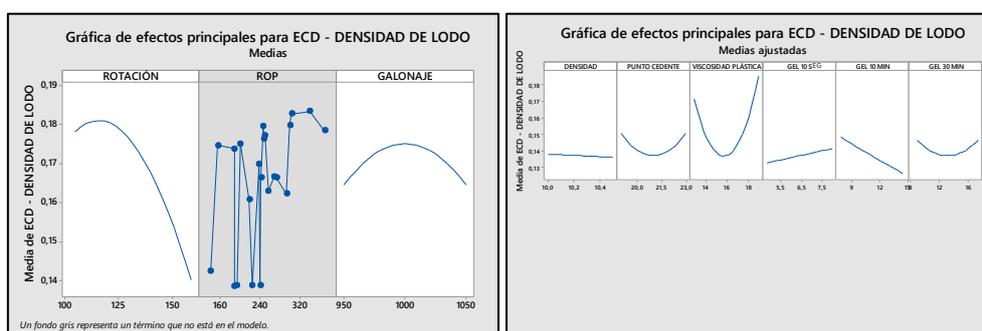


Figura 4.14: Gráfica de efectos de los modelos utilizados en la formación Tena

Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

En la tabla VIII se muestran los rangos de los parámetros que se deberían manejar para optimizar la perforación y la limpieza en la formación Tena.

Tabla VIII: Rangos óptimos de operación de los parámetros de perforación y propiedades del fluido de perforación en la formación Tena

PROFUNDIDAD (MD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DE LODO	Tiempo de perforación		
	ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GEL 10 SEG	GEL 10 MIN	GEL 30 MIN			[ppg]	[hora]
	[RPM]	[ft/hr]	[GPM]		[lb/100ft ²]	[cP]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]				
	[ft]	Óptimo	Óptimo	Óptimo	[ppg]	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo			Óptimo	Óptimo
4400,00	150,00	370,00	1000,00	10,20	19,00	12,90	4,83	7,71	10,19	0,15	0,27		
4500,00	160,00	370,00	1000,00	10,23	19,00	13,66	4,83	8,31	10,91	0,14	0,27		
4600,00	150,00	363,16	960,00	10,25	19,75	14,36	5,23	8,92	11,64	0,14	0,28		
4700,00	150,00	363,16	960,00	10,28	20,25	14,80	5,82	9,37	12,36	0,14	0,28		
4800,00	150,00	363,16	960,00	10,30	20,75	15,56	6,22	9,82	12,47	0,14	TOTAL 1,10		

Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

Se sostuvo valores aproximados de entrada y salida de la formación, con el promedio de los manejados según reportes de geología.

La optimización sugiere una rotación de 150 RPM en casi todo el intervalo para alcanzar los objetivos. Esta rotación se puede lograr con rotación en toda la formación. Es indispensable no solo alcanzar rotación para remoción de cortes hacia la corriente de flujo, sino también para alcanzar las ROP's.

Los resultados muestran que se puede alcanzar ROP's altas poco manejadas y con un control adecuado del ECD – DENSIDAD DE LODO.

Es necesario un galonaje entre 960 y 1000 GPM, no más de esto. Se podría usar mayores para reducir aún más la carga anular, pero aquí ocurriría un aumento del ECD ya no por los cortes acumulados, sino por la pérdida de presión a causa de un flujo turbulento.

La densidad es una propiedad del lodo que no puede ser optimizada dentro del modelo. Se usan valores promedios de los utilizados en los reportes.

Se logró optimizar el punto cedente con valores crecientes de esta propiedad y en rangos reducidos a los utilizados. Se puede ver una

tendencia creciente de viscosidad plástica y reducida para no depender de excesivo caudal de bombeo mientras se interrumpen las operaciones.

Los geles llevan una tendencia creciente conforme se profundiza y con un rango operaciones menor a los manejados. El GEL 10 MIN es la propiedad más importante en la limpieza según el modelo que describe esta formación. Sus valores fueron optimizados directamente del diseño de experimento. Los valores de GEL 30 MIN fueron calculados directamente por el modelo a pesar de la correlación con GEL 10 MIN, están dentro de los manejados pero reducido sus máximos valores ya que los pozos son de bajo ángulo y por ello no requieren un amplio rango de esta propiedad para una eficiente limpieza de hoyo. En la figura 4.15 se puede observar que el tipo de gel propuesto es plano.

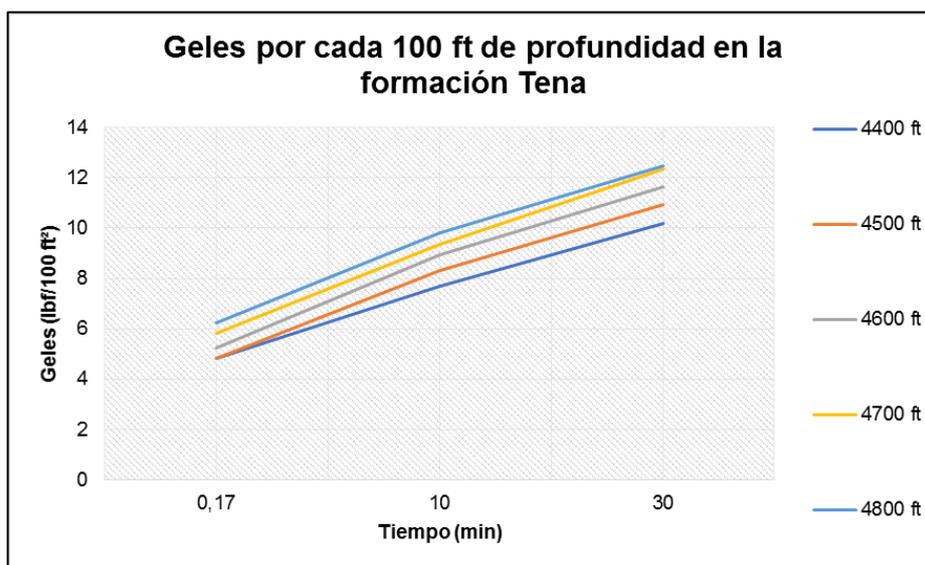


Figura 4.15: Geles en la formación Tena
Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

4.5. Comparación de valores manejados y optimizados

En las figuras 4.16 y 4.17 se observan gráficas de cada factor con sus valores promedio manejados y sus valores optimizados.

Los valores propuestos de la optimización para los factores GALONAJE, ROP son incrementados en la mayor parte de la sección de 12 1/4".

Para el factor ROTACIÓN se reducen sus valores en la mayor parte de la formación indiferenciado, mientras que para las demás formaciones los valores optimizados no tienen diferencia significativa con respecto a los valores manejados.

El factor PUNTO CEDENTE es mantenido en la formación indiferenciado y se propone una reducción de sus valores para la perforación de las siguientes formaciones.

En la mayor parte de la sección se reducen los valores de los factores VISCOSIDAD PLÁSTICA y GELES para alcanzar la optimización de la limpieza.

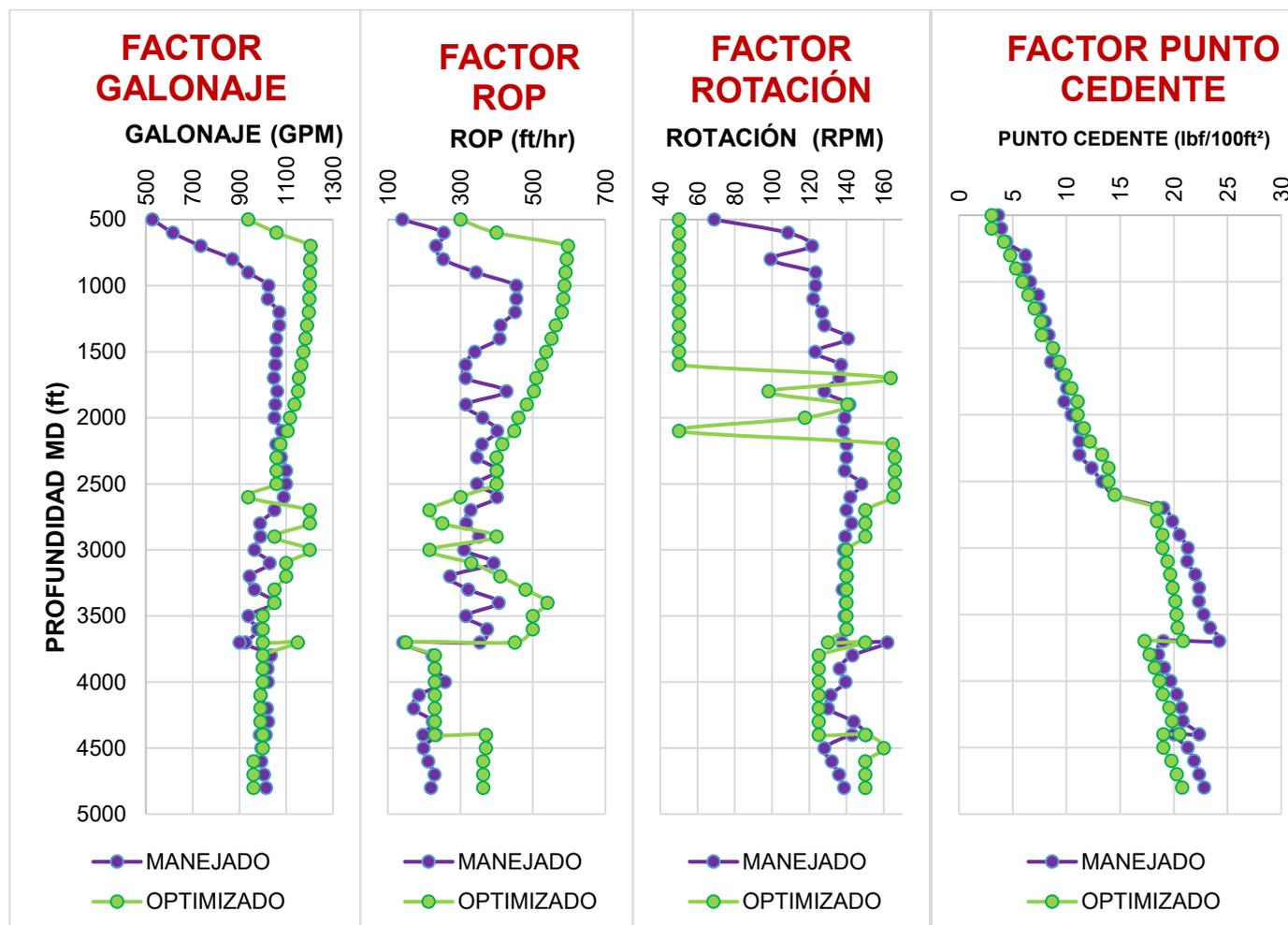


Figura 4.16: Valores manejados y optimizados de galonaje, ROP, rotación y punto cedente

Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

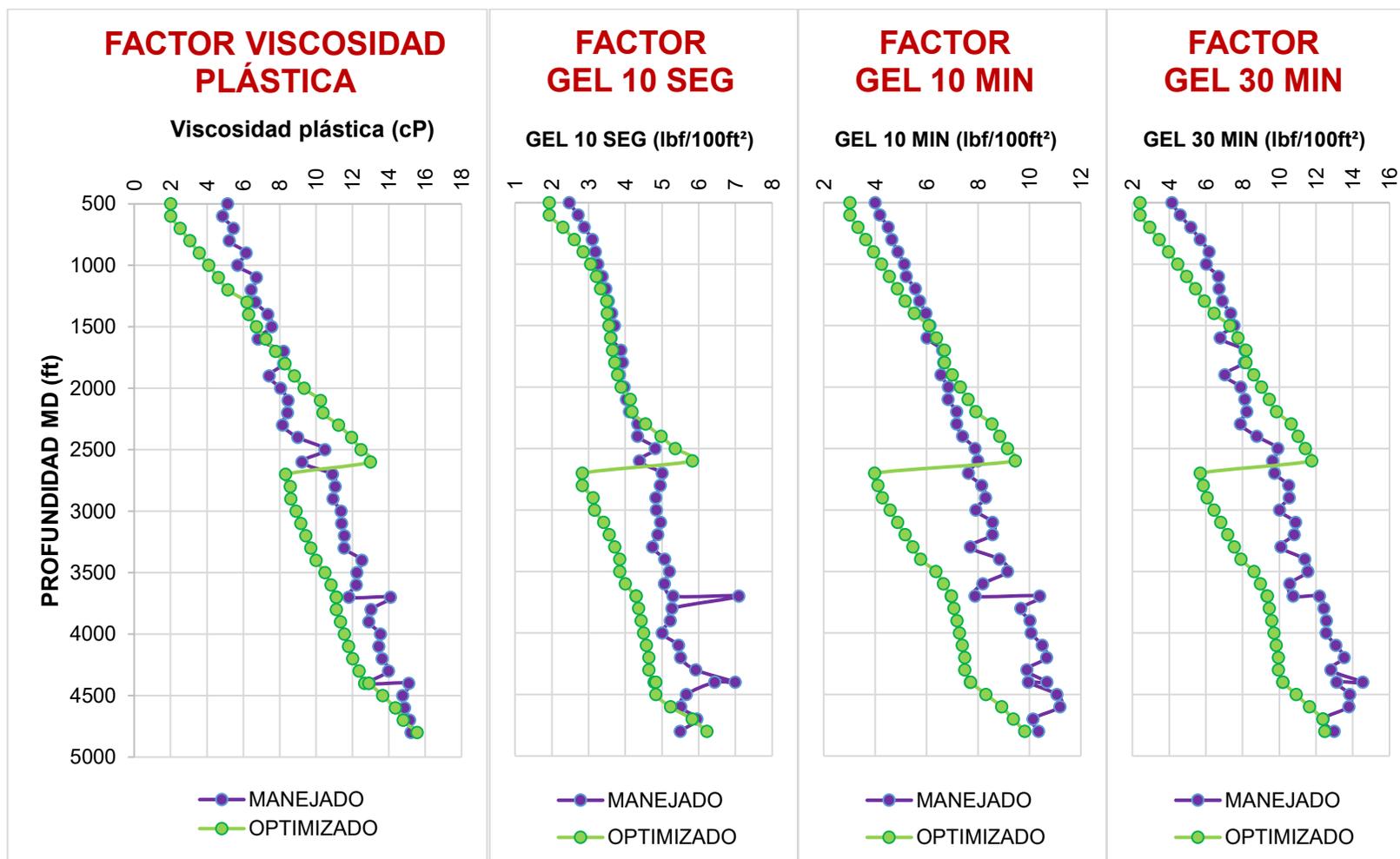


Figura 4.17: Comparación de valores manejados y optimizados de viscosidad plástica y geles

Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

4.6. Comparación de la diferencia de densidades y tiempos de perforación

En la figura 4.18 se muestran los valores manejados y optimizados de la diferencia de densidades

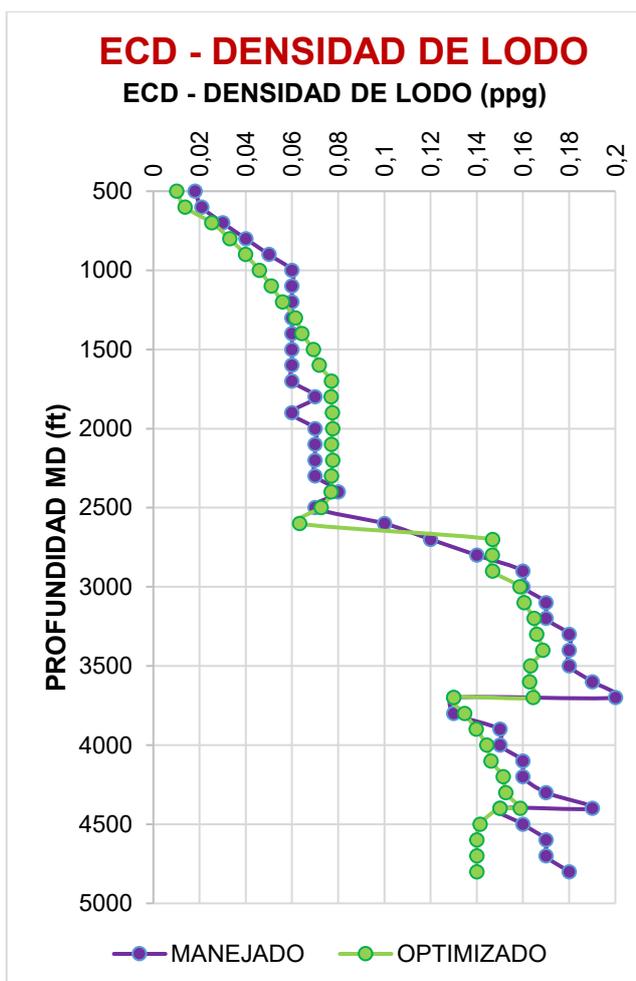


Figura 4.18: Comparación de la diferencia de densidades manejadas y optimizadas
Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

Se observa que los valores optimizados en la mayoría de las formaciones no sobrepasan los valores manejados, excepto los últimos 1400 ft de la

formación indiferenciado. Esta propuesta queda a criterio técnico de geomecánica ya que no se tiene conocimiento del máximo permitido de ECD en este tramo.

En la figura 4.19 se observa los tiempos de perforación que se tuvo en las operaciones en cada pozo y los tiempos de perforación que se hubiesen tenido aplicando las optimizaciones propuestas.

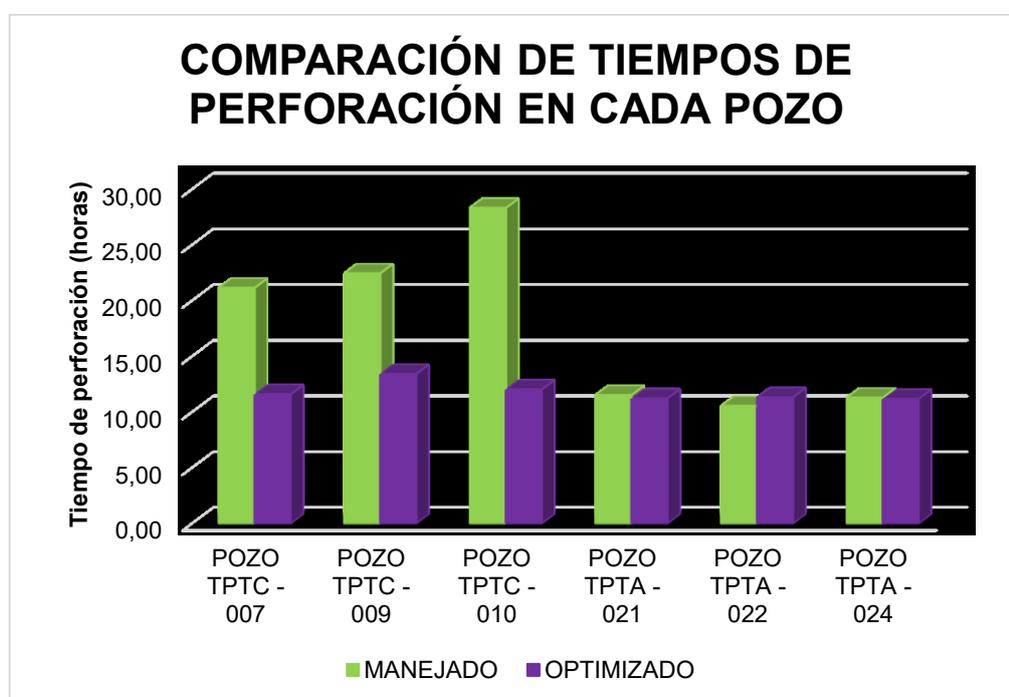


Figura 4.19: Comparación de los tiempos de perforación
Fuente: Arreaga, H., Román, A., 2017.

Se observa que en los pozos del pad C, el tiempo de perforación se reduce considerablemente, mientras que en los del pad A no se nota diferencia significativa.

Analizando los promedios de los factores manejados en los 6 pozos de la muestra se obtiene un tiempo de perforación de 15 horas, mientras que aplicando las optimizaciones propuestas, el tiempo de perforación es de 12 horas, por lo tanto, al aplicar los rangos de los parámetros propuestos por cada formación se obtendrá un 20% de reducción en tiempo de perforación.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Debido a que los parámetros de perforación y propiedades de los fluidos no son programados para diferentes puntos en la trayectoria de una formación, es adecuado el estudio estadístico de los resultados obtenidos en pozos con similares condiciones geométricas y geológicas para proponer valores por cada cierta profundidad perforada que optimicen la limpieza de hoyo conjunto a la minimización de tiempos de perforación.

En pozos de bajo ángulo como los trabajados en el proyecto, las propiedades del fluido tales como punto cedente, viscosidad plástica y geles son los factores más importantes y críticos en la limpieza de hoyo, seguido del galonaje, ROP y rotación; esto concuerda con los resultados obtenidos en el estudio estadístico, ya que los términos relacionados a las propiedades del fluido muestran los valores p más bajos en cada uno de los modelos utilizados.

Los parámetros de perforación que más influyen en la limpieza de hoyo son el galonaje y ROP. El primero genera la fuerza de transporte de los cortes a superficie y el segundo la velocidad de generación de cortes en el hoyo.

Debido a que los pozos estudiados son de bajo ángulo, la rotación no tiene un efecto significativo en la limpieza mientras se está perforando, lo cual también se comprueba en las gráficas de efecto de cada modelo. El factor rotación únicamente será influyente mientras se realicen prácticas de repasos mientras se perfora para permitir la remoción de cortes que se hayan quedado asentados en el hoyo.

Una adecuada limpieza de hoyo para pozos de bajo ángulo como los utilizados en el estudio, demuestran que es necesario puntos cedentes altos, viscosidades bajas y geles planos, ya que logran disminuir la velocidad de deslizamiento de los cortes, disminuir presiones excesivas de bombeo y suspender los cortes mientras se interrumpe la circulación del fluido.

A medida que incrementa la profundidad, los cortes generados tienden a aumentar la viscosidad plástica si no son removidos adecuadamente, por lo tanto, la viscosidad plástica se debe manejar con los valores más bajos posibles para compensar este aumento.

Los rangos de los geles tienen un comportamiento plano, es decir que sus valores son menores a $20 \text{ lb}/100\text{ft}^2$ y no existe una variación significativa

en los diferentes tiempos, lo cual evita utilizar altas presiones de bombeo cuando se reinician las operaciones luego de una interrupción.

La combinación óptima de parámetros de perforación y propiedades del fluido de la formación indiferenciado muestra velocidades anulares mayores a la crítica, esto determina que una de las prácticas adecuadas para la limpieza de hoyo es mantener un flujo turbulento siempre y cuando no comprometa la integridad de la formación.

El aumento en la densidad de fluido favorece la eficiencia de transporte, sin embargo, no fue posible optimizar este parámetro debido que no se contaba con la información geomecánica de los pozos que permitan identificar los valores que podrían manejarse sin comprometer la integridad de la formación.

La densidad es una propiedad del fluido de perforación que sirve como factor guía en la optimización de los demás factores, éste indica la capacidad de densidad adecuada de un pozo en hoyo abierto a una determinada profundidad, lo que permite realizar una optimización en diferentes puntos de la trayectoria de una sección.

La combinación de parámetros de perforación y propiedades de fluidos deben proporcionar una ECD que no sea capaz de fracturar la formación,

esto demuestra que la ECD más allá de ser un indicador de limpieza, es una herramienta para validar que la optimización de las prácticas de limpieza se realicen sin perjudicar la integridad del pozo mientras se perfora.

Se propone un aumento de los valores de ROP y galonaje. El aumento de ROP disminuye el tiempo de perforación, y a pesar de aumentar la cantidad de cortes durante la operación, el aumento del galonaje favorece el transporte de estos cortes a superficie, ya que la velocidad anular se incrementa.

Con los parámetros de perforación y propiedades de fluidos propuestos se obtiene una reducción de tiempos de perforación comparado con cada uno de los pozos de la muestra. La diferencia en tiempos de los pozos del Pad C son mayores con respecto a las del Pad A debido a que en este último se manejaron valores altos de rotación, Rop y galonaje.

Con la optimización propuesta el tiempo de perforación se reduce en un 20% en comparación a los valores promedios de los tiempos manejados por cada pozo en la sección. Esta reducción en tiempo se debe mayoritariamente a los pozos del Pad C donde se manejaron mayores tiempos de operación.

RECOMENDACIONES

Un posterior proyecto de optimización deberá incluir el estudio técnico-estadístico de las prácticas de repasos y bombeo de píldoras para la limpieza de hoyo, adicional el monitoreo de las curvas de torque y arrastre en los viajes.

Puesto que lo valores propuestos de ROP son altos, se debe realizar un estudio adicional de las capacidades de los equipos de superficie y de fondo para garantizar que se puedan manejar estos valores.

Evitar crear un flujo turbulento cerca de los topes de las formaciones, ya que al tener este régimen de flujo no se podría correlacionar correctamente los cortes con la litología atravesada.

Para mejorar la exactitud de la optimización, se debería contar con el estudio geomecánico de los pozos para analizar lo máximo posible que podrían tener los valores de ECD, ya que un máximo valor de ECD permite aumentar la capacidad de limpieza de hoyo.

Sería adecuado trabajar con los valores de ECD experimentales, ya que en la mayoría de los pozos se los tuvo que calcular teóricamente, esto hace que los modelos desprecien ciertos factores que real y técnicamente afectan cuando se generan los modelos de regresión.

ANEXOS

ANEXO A

INFORMACIÓN GENERAL DEL POZO TPTC - 007

FORMACIÓN	PROFUNDIDAD (MD)	ESPESOR DE FORMACIÓN	LITOLÓGIA	BHA'S	DIÁMETRO DE HOYO	DIÁMETRO DE DRILLPIPE	INCLINACIÓN	TIEMPO DE PERFORACIÓN	ROP promedio	VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJES	
	ft	ft			inches	inches				°	horas
										ft/hora	ft/hora
INDIFERENCIADO	519 - 2686	1873	Arcillolita, Limolita, Anhidrita, Arenisca	Broca 12,25" PDC, Motor, 12" Stab, Float Sub, 12" Stab, 8" Pny monel, MWD Telescope + filter sub + UBHO, 8" NMDC, 2x 8" collar, Xover, 27x 5,5" HWDP, 6 1/2" Hidraulic Jar, 9x 5" HWDP, Xover, 5 1/2 DP_	12,25	5,5	0,43 - 28,02	8,14	230,10	968,67	944
ORTEGUAZA	2686 - 3661	975	Lutita, Limolita, Carbón	Broca 12,25" PDC, Motor + 12" Stab, Float Sub/Float Valve, 12" Stab, 8" Pony Monel, MWD Telescope + Filter Sub + UBHO. 8" NMDC, 2x 8" collar, Xover, 27 x 5 1/2" HWDP, 6 1/2" Hidraulic Jar, 9 x 5" HWDP, Xover, 5 1/2" DP_			28,02 - 26,08	4,3	226,74	968,67	944
TIYUYACU	3661 - 4330	669	Arenisca, Limolita, Arcillolita				26,08 - 27,46	4,54	147,36	968,67	944
TENA	4330 - 4738	408	Arcillolita, Limolita, Arenisca				27,46 -25,19	2,9	140,69	1120	1055

INFORMACIÓN GENERAL DEL POZO TPTC - 009

FORMACIÓN	PROFUNDIDAD (MD)	ESPESOR DE FORMACIÓN	LITOLÓGIA	BHA'S	DIÁMETRO DE HOYO	DIÁMETRO DE DRILLPIPE	INCLINACIÓN	TIEMPO DE PERFORACIÓN	ROP promedio	VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJES	
	ft	ft			inches	inches				°	horas
										ft/hora	ft/hora
INDIFERENCIADO	478 - 2906	2428	Areniscas, arcillolitas, limolita, carbón y calizas	Broca 12 1/4" MDI519LHSBPX+Motor de Fondo+Pony monel+Estabilizador 11 3/4"+Pony Monel+MWD TeIScope+Filter Sub+8,25" UBHO+Monel+2 Drill Collar+Cross Over+21 HWDP+Hydraulic Jar+9 HWDP+Crossover	12,25	5,5	1,22-42,05	9,66	251,35	1047,5	902,5
ORTEGUAJA	2906 - 4061	1155	Lutita, limolita y carbón				42,05-41,83	5,29	218,34	1047,5	902,5
TIYUYACU	4061 - 4878	817	Arcillolita, arenisca y limolita				41,83-39,17	4,27	191,33	1047,5	902,5
TENA	4878 - 5312	434	Arcillolitas, limolita y arenisca				39,17-35,45	3,24	133,95	1194,25	967

INFORMACIÓN GENERAL DEL POZO TPTC - 010

FORMACIÓN	PROFUNDIDAD (MD)	ESPESOR DE FORMACIÓN	LITOLÓGÍA	BHA'S	DIÁMETRO DE HOYO	DIÁMETRO DE DRILLPIPE	INCLINACIÓN	TIEMPO DE PERFORACIÓN	ROP promedio	VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJES	
	ft	ft			inches	inches				°	horas
										ft/hora	ft/hora
INDIFERENCIADO	478 - 2792	2314	Arcillolita, Carbón, Arenisca, Limolita	Broca PDC 12 1/4" + Motor + Pony Monel + MWD Telescope 825 HF + Filter Sub + UBHO + Monel + 2 Collar + Crossover + 21 HWDP + Crossover + 5 1/2" DP_	12,25	5,5	0,39 - 31,57	7,99	289,61	960	875
ORTEGUAZA	2792 - 3795	1003	Lutita, Arcillolita, Limolita, Carbón				31,57 - 31,58	4,61	217,57	960	875
TIYUYACU	3795 - 4524	729	Arcillolita, Limolita, Arenisca				31,58 - 23,65	9,84	74,09	960	875
TENA	4524 - 4848	324	Arcillolita, Limolita, Arenisca				23,65 - 19,53	5,88	55,10	960	875

INFORMACIÓN GENERAL DEL POZO TPTA - 021

FORMACIÓN	PROFUNDIDAD (MD)	ESPESOR DE FORMACIÓN	LITOLÓGÍA	BHA'S	DIÁMETRO DE HOYO	DIÁMETRO DE DRILLPIPE	INCLINACIÓN	TIEMPO DE PERFORACIÓN	ROP promedio	VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJES	
	ft	ft			inches	inches				°	horas
										ft/hora	ft/hora
INDIFERENCIADO	812 - 2800	1988	Arcillolita, Anhidrita, Arenisca, Carbón, Limolita	Broca 12,25" PDC, PowerDrive, PD Receiver, Flex collar, MWD+APWD+Gamma Ray, Monel, Filter Sub, 2 x 8" Collar, Xover, 20 x 5" HWDP, Hydraulic Jar, 13x 5" HWDP, 5,5 DP_	12,25	5,5	0,53 - 33,61	4,88	407,38	479	889
ORTEGUAZA	2800 - 3840	1040	Lutita, Limolita, Carbón				33,61 - 31,54	2,55	407,84	450	889
TIYUYACU	3840 - 4476	636	Arenisca, Arcillolita, Limolita				31,54 - 31,70	2,63	241,83	450	889
TENA	4476 - 4870	394	Arcillolita, Limolita, Arenisca				31,70 - 31,11	1,47	268,03	450	889

INFORMACIÓN GENERAL DEL POZO TPTA - 022

FORMACIÓN	PROFUNDIDAD (MD)	ESPESOR DE FORMACIÓN	LITOLÓGIA	BHA'S	DIÁMETRO DE HOYO	DIÁMETRO DE DRILLPIPE	INCLINACIÓN	TIEMPO DE PERFORACIÓN	ROP promedio	VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJES	
	ft	ft			inches	inches				SUBIENDO	BAJANDO
					°	horas				ft/hr	ft/hora
INDIFERENCIADO	815 - 2740	1925	Arenisca, arcillolita, carbón, anhidrita y limolita	Broca PDC 12-1/4" MSi519LMHPXX, + Float valve + Reciver 11 3/4 + Flex collar + MWD con APWD y Gamma Ray + Monel + Downhole Filter Sub + 2 x 8" DC + X-Over + HWDP + Hydraulic Jar + HWDP	12,25	5,5	1,14 - 30,67	3,69	521,68	494	622
ORTEGUAZA	2740 - 3729	989	Lutita, limolita y carbón				30,67 - 29,72	1,94	509,79	350	622
TIYUYACU	3729 - 4398	669	Arenisca, arcillolita y limolita				29,72 - 30,66	2,83	236,40	350	622
TENA	4398 - 4874	476	Arenisca, arcillolita y limolita				30,66 - 29,90	2,1	226,67	350	622

INFORMACIÓN GENERAL DEL POZO TPTA - 024

FORMACIÓN	PROFUNDIDAD (MD)	ESPESOR DE FORMACIÓN	LITOLÓGIA	BHA'S	DIÁMETRO DE HOYO	DIÁMETRO DE DRILLPIPE	INCLINACIÓN	TIEMPO DE PERFORACIÓN	ROP promedio	VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJES	
	ft	ft			inches	inches				°	horas
										ft/hora	ft/hora
INDIFERENCIADO	810 - 2764	1954	Arenisca, arcillolita, limolita, carbón y arcillita	Broca 12-1/4" SDi519HBPX, + Slick cc + Reciver + Flex collar + MWD + APWD + GR + Monel + Filter Sub + 2 DC 8" + X-OVER.	12,25	5,5	0,54 - 30,04	4,48	436,16	750	750
ORTEGUAZA	2764 - 3770	1006	Lutita, limolita				30,04 - 29,69	2,9	346,90	444,33	420
TIYUYACU	3770 - 4409	639	Arcillolita, limolita y arenisca				29,69 - 29,63	2,35	271,91	430	420
TEÑA	4409 - 4845	436	Arcillolita, limolita y arenisca				29,63 - 29,30	1,57	277,71	430	420

ANEXO B

INFORMACIÓN DE CADA POZO EN LA FORMACIÓN INDIFERENCIADO

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO "TPTC - 009" EN LA FORMACIÓN "INDIFERENCIADO"

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACION
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES			
								10 SEG	10 MIN	30 MIN	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ³]	[cP]	[lb/100ft ³]	[lb/100ft ³]	[lb/100ft ³]	
488,00	487,45	50,00	66,67	500,00	8,90	3,03	2,01	2,01	3,02	2,01	0,01
515,00	514,98	50,00	180,00	500,00	8,90	3,10	2,05	2,03	3,07	2,05	0,01
555,56	554,97	54,55	266,67	500,00	8,90	3,24	2,10	2,07	3,14	2,10	0,01
583,33	583,30	54,55	75,00	550,00	8,90	3,33	2,14	2,09	3,19	2,14	0,02
611,11	611,08	134,55	500,00	550,00	8,90	3,41	2,18	2,12	3,24	2,18	0,02
655,56	655,51	86,36	166,67	600,00	8,90	3,55	2,24	2,16	3,32	2,24	0,02
694,44	694,38	143,18	406,67	600,00	8,90	3,67	2,29	2,19	3,38	2,29	0,02
750,00	749,83	109,09	175,00	650,00	8,90	3,84	2,36	2,24	3,48	2,36	0,02
777,78	777,54	119,09	430,77	700,00	9,00	3,93	2,40	2,27	3,53	2,40	0,02
833,33	832,84	84,09	194,44	750,00	9,00	4,10	2,47	2,32	3,63	2,47	0,03
844,44	843,88	84,09	194,44	750,00	9,00	4,14	2,49	2,33	3,65	2,49	0,03
861,11	860,45	84,09	194,44	750,00	9,00	4,19	2,51	2,34	3,68	2,51	0,03
877,78	877,02	125,00	466,67	800,00	9,00	4,24	2,53	2,35	3,71	2,53	0,03
916,67	915,59	125,00	660,00	800,00	9,00	4,36	2,58	2,39	3,78	2,58	0,03
972,22	970,51	88,64	235,29	900,00	9,00	4,53	2,66	2,44	3,88	2,66	0,04
1000,00	997,97	130,91	416,67	900,00	9,10	4,62	2,69	2,46	3,93	2,69	0,04
1027,78	1025,10	128,18	416,67	900,00	9,10	4,70	2,73	2,49	3,97	2,73	0,04
1040,00	1037,03	95,45	416,67	900,00	9,10	4,74	2,75	2,50	4,00	2,75	0,04
1083,33	1079,35	95,45	700,00	1000,00	9,10	4,88	2,80	2,54	4,07	2,80	0,05
1166,67	1160,74	86,36	500,00	850,00	9,10	5,14	2,92	2,61	4,22	2,92	0,04
1250,00	1240,81	110,00	312,50	1000,00	9,20	5,39	3,03	2,68	4,37	3,03	0,05
1277,78	1267,36	141,82	575,00	1000,00	9,20	5,48	3,06	2,71	4,42	3,06	0,05
1333,33	1320,48	109,09	147,06	1000,00	9,20	5,65	3,14	2,76	4,52	3,14	0,05
1361,11	1346,99	150,00	405,88	1000,00	9,20	5,74	3,17	2,78	4,56	3,17	0,05
1416,67	1399,97	150,45	405,88	1000,00	9,20	5,91	3,25	2,83	4,66	3,25	0,05
1500,00	1479,02	145,45	423,08	1000,00	9,20	6,17	3,36	2,91	4,81	3,36	0,05
1555,56	1531,34	111,82	222,22	1000,00	9,20	6,34	3,43	2,95	4,91	3,43	0,05
1611,11	1583,28	134,55	200,00	1030,00	9,30	6,51	3,51	3,00	5,01	3,51	0,05
1638,89	1609,09	134,55	200,00	1030,00	9,30	6,60	3,54	3,03	5,06	3,54	0,05
1694,44	1660,37	163,64	360,00	1030,00	9,30	6,77	3,62	3,08	5,16	3,62	0,06
1750,00	1711,25	112,73	326,67	1030,00	9,30	6,94	3,69	3,13	5,25	3,69	0,06
1861,11	1811,57	152,27	600,00	1030,00	9,30	7,29	3,84	3,23	5,45	3,84	0,06
1916,67	1881,03	155,00	145,00	1030,00	9,30	7,46	3,91	3,27	5,55	3,91	0,06
1949,00	1889,25	156,00	145,00	1030,00	9,30	7,56	3,95	3,30	5,61	3,95	0,06
1985,00	1920,66	157,00	514,29	1030,00	9,30	7,67	4,00	3,33	5,67	4,00	0,06
2035,00	1963,59	155,00	106,38	1000,00	9,30	7,83	4,07	3,38	5,76	4,07	0,05
2079,00	2001,03	158,00	293,33	1000,00	9,30	7,96	4,13	3,41	5,84	4,13	0,05
2139,00	2051,04	157,00	133,33	1000,00	9,40	8,15	4,21	3,47	5,94	4,21	0,06
2173,00	2079,13	155,00	425,00	1000,00	9,40	8,25	4,25	3,50	6,01	4,25	0,06
2232,00	2126,60	156,00	147,50	1030,00	9,40	8,44	4,33	3,55	6,11	4,33	0,06
2268,00	2155,21	155,00	360,00	1030,00	9,40	8,55	4,38	3,58	6,17	4,38	0,06
2326,00	2200,09	157,00	120,83	1030,00	9,40	8,73	4,46	3,63	6,28	4,46	0,06
2333,33	2205,70	158,18	360,00	1030,00	9,50	8,75	4,47	3,64	6,29	4,47	0,06
2377,78	2239,69	111,36	133,33	1030,00	9,50	8,89	4,52	3,68	6,37	4,52	0,06
2444,44	2289,14	161,36	188,89	1030,00	9,50	9,10	4,61	3,74	6,48	4,61	0,06
2472,22	2309,72	159,09	413,04	1030,00	9,50	9,18	4,65	3,77	6,53	4,65	0,06
2666,67	2453,56	159,09	284,85	1030,00	9,50	9,79	4,91	3,94	6,88	4,91	0,06
2722,22	2494,65	159,09	284,85	1030,00	9,50	9,96	4,98	3,99	6,98	4,98	0,06
2777,78	2535,80	163,64	293,75	1000,00	9,90	22,10	10,05	2,13	3,15	4,23	0,18
2861,11	2597,61	135,91	153,33	1000,00	9,90	22,28	10,15	2,39	3,44	4,68	0,19
2906,00	2630,84	135,91	288,00	800,00	9,90	22,39	10,20	2,53	3,59	4,92	0,17

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO "TPTC - 007" EN LA FORMACIÓN "INDIFERENCIADO"

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACION
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES			
								10 SEG	10 MIN	30 MIN	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ³]	[cP]	[lb/100ft ³]	[lb/100ft ³]	[lb/100ft ³]	
541,00	540,99	70,00	66,67	560,00	8,90	4,10	11,02	4,02	5,04	6,04	0,02
561,00	560,98	75,00	74,07	640,00	8,90	4,59	11,13	4,13	5,22	6,25	0,03
633,00	632,96	75,00	138,46	640,00	8,90	4,51	11,11	4,11	5,19	6,22	0,03
653,00	652,94	75,00	117,65	720,00	8,90	4,60	11,13	4,13	5,22	6,25	0,03
723,00	722,87	124,00	155,56	720,00	8,90	4,92	11,19	4,19	5,34	6,39	0,03
738,00	737,84	90,00	115,38	820,00	9,00	4,99	11,21	4,21	5,36	6,42	0,04
813,00	812,68	90,91	202,70	820,00	9,00	5,32	11,28	4,28	5,49	6,56	0,04
828,00	827,63	159,09	214,29	850,00	9,00	5,39	11,29	4,29	5,51	6,59	0,05
902,00	901,40	145,45	296,00	850,00	9,00	5,72	11,36	4,36	5,64	6,73	0,05
934,00	933,24	93,18	320,00	850,00	9,00	5,87	11,39	4,39	5,69	6,79	0,05
954,00	953,13	154,55	250,00	850,00	9,00	5,96	11,41	4,41	5,72	6,82	0,05
1023,00	1021,71	163,64	313,64	1000,00	9,00	6,27	11,48	4,48	5,84	6,96	0,06
1043,00	1041,54	109,09	250,00	1000,00	9,00	6,36	11,50	4,50	5,87	6,99	0,06
1112,00	1109,91	109,09	530,77	1000,00	9,00	6,67	11,56	4,56	5,98	7,12	0,06
1129,00	1126,69	109,09	242,86	1000,00	9,00	6,75	11,58	4,58	6,01	7,16	0,06
1200,00	1196,78	109,09	591,67	1000,00	9,00	7,07	11,65	4,65	6,13	7,29	0,06
1206,00	1202,70	109,09	200,00	1000,00	9,00	7,09	11,65	4,65	6,14	7,30	0,06
1226,00	1222,45	109,09	250,00	1000,00	9,00	7,18	11,67	4,67	6,17	7,34	0,06
1300,00	1295,15	159,09	616,67	1000,00	9,00	7,52	11,74	4,74	6,30	7,48	0,06
1320,00	1314,79	111,36	250,00	1000,00	9,00	7,61	11,76	4,76	6,33	7,52	0,06
1399,00	1392,00	159,09	790,00	1000,00	9,00	7,96	11,83	4,83	6,46	7,67	0,06
1436,00	1428,05	150,00	205,56	1000,00	9,00	8,13	11,87	4,87	6,52	7,74	0,06
1493,00	1483,37	159,09	475,00	1000,00	9,00	8,39	11,92	4,92	6,62	7,85	0,06
1518,00	1507,61	111,36	138,89	1000,00	9,00	8,50	11,95	4,95	6,66	7,89	0,06
1588,00	1575,03	109,09	466,67	1000,00	9,00	8,81	12,01	5,01	6,77	8,03	0,06
1610,00	1596,22	156,82	169,23	1000,00	9,00	8,91	12,03	5,03	6,81	8,07	0,06
1682,00	1664,98	109,09	480,00	1000,00	9,00	9,24	12,10	5,10	6,93	8,21	0,06
1702,00	1684,08	150,00	111,11	1000,00	9,00	9,33	12,12	5,12	6,96	8,24	0,06
1776,00	1754,29	111,36	336,36	1000,00	9,00	9,66	12,19	5,19	7,09	8,38	0,06
1798,00	1775,16	154,55	220,00	1000,00	9,00	9,76	12,21	5,21	7,12	8,43	0,06
1871,00	1844,03	111,36	429,41	1000,00	9,00	10,09	12,28	5,28	7,24	8,56	0,06
1887,00	1859,12	111,36	72,73	1000,00	9,00	10,16	12,30	5,30	7,27	8,59	0,06
1966,00	1933,26	109,09	607,69	1000,00	9,00	10,52	12,37	5,37	7,40	8,74	0,06
1991,00	1956,69	109,09	147,06	1000,00	9,00	10,63	12,40	5,40	7,44	8,79	0,06
2060,00	2020,87	110,00	575,00	1000,00	9,00	10,94	12,46	5,46	7,56	8,92	0,07
2090,00	2048,71	152,27	150,00	1000,00	9,00	11,07	12,49	5,49	7,61	8,98	0,07
2155,00	2108,52	111,36	650,00	1000,00	9,30	11,37	12,55	5,55	7,71	9,10	0,07
2185,00	2136,05	161,36	176,47	1000,00	9,30	11,50	12,58	5,58	7,76	9,16	0,07
2248,00	2193,36	110,00	525,00	1000,00	9,30	11,79	12,64	5,64	7,87	9,28	0,07
2283,00	2225,07	163,64	125,00	1000,00	9,30	11,94	12,67	5,67	7,93	9,34	0,07
2343,00	2278,92	111,36	461,54	1000,00	9,30	12,21	12,73	5,73	8,03	9,46	0,07
2378,00	2310,18	159,09	159,09	1000,00	9,30	12,37	12,76	5,76	8,08	9,53	0,07
2438,00	2363,23	111,36	500,00	1000,00	9,30	12,64	12,82	5,82	8,18	9,64	0,07
2466,00	2387,96	161,36	112,00	1000,00	9,30	12,77	12,85	5,85	8,23	9,69	0,07
2532,00	2446,03	154,55	264,00	1000,00	9,40	13,07	12,91	5,91	8,34	9,82	0,07
2552,00	2463,63	159,09	166,67	1000,00	9,40	13,16	12,93	5,93	8,37	9,85	0,07
2626,00	2528,87	150,00	274,07	1000,00	9,40	13,49	13,00	6,00	8,50	10,00	0,07

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO "TPTC - 010" EN LA FORMACIÓN "INDIFERENCIADO"

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN							ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACION
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES				
								10 SEG	10 MIN	30 MIN		
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ³]	[cP]	[lb/100ft ³]	[lb/100ft ³]	[lb/100ft ³]		
490,00	489,99	106,82	54,55	420,00	8,90	3,06	2,04	2,01	4,03	6,03	0,01	
584,00	583,98	109,09	173,68	420,00	8,90	3,51	2,32	2,07	4,27	6,29	0,02	
646,00	645,94	109,09	140,00	600,00	8,90	3,81	2,50	2,12	4,42	6,46	0,02	
671,00	670,92	136,36	310,00	600,00	8,90	3,93	2,57	2,13	4,49	6,53	0,02	
737,00	736,81	136,36	192,31	765,00	8,90	4,24	2,77	2,18	4,65	6,71	0,03	
757,00	756,77	150,00	330,00	760,00	8,90	4,34	2,83	2,19	4,70	6,77	0,03	
828,00	827,58	150,00	285,71	850,00	8,90	4,68	3,04	2,24	4,88	6,96	0,04	
843,00	842,54	150,00	322,73	850,00	8,90	4,75	3,09	2,25	4,92	7,00	0,04	
920,00	919,29	165,91	187,50	900,00	9,00	5,12	3,31	2,30	5,11	7,21	0,04	
951,00	950,18	165,91	592,31	900,00	9,00	5,27	3,41	2,32	5,19	7,30	0,04	
978,00	977,08	111,36	620,00	1000,00	9,00	5,40	3,49	2,34	5,26	7,37	0,05	
1041,00	1039,78	150,00	270,00	1000,00	9,00	5,71	3,67	2,39	5,42	7,55	0,05	
1077,00	1075,59	111,36	484,62	1000,00	9,00	5,88	3,78	2,41	5,51	7,64	0,05	
1132,00	1130,24	152,27	211,76	1000,00	9,00	6,14	3,95	2,45	5,65	7,80	0,05	
1184,00	1181,86	152,27	458,33	1000,00	9,00	6,39	4,10	2,48	5,78	7,94	0,05	
1229,00	1226,43	111,36	650,00	1000,00	9,00	6,61	4,23	2,52	5,89	8,06	0,05	
1266,00	1263,03	159,09	375,00	1000,00	9,10	6,79	4,34	2,54	5,98	8,16	0,05	
1324,00	1320,26	111,36	284,52	1000,00	9,10	7,07	4,52	2,58	6,13	8,32	0,05	
1369,00	1364,41	111,36	483,33	1000,00	9,10	7,28	4,65	2,61	6,24	8,45	0,05	
1420,00	1414,45	111,36	250,00	1000,00	9,10	7,53	4,80	2,65	6,37	8,59	0,05	
1462,00	1455,37	154,55	728,57	1000,00	9,20	7,73	4,93	2,68	6,48	8,70	0,05	
1514,00	1505,81	111,36	323,08	1000,00	9,20	7,98	5,08	2,71	6,61	8,84	0,05	
1559,00	1549,07	163,64	433,33	1000,00	9,20	8,19	5,22	2,74	6,72	8,97	0,05	
1609,00	1596,88	111,36	250,00	1000,00	9,20	8,44	5,36	2,78	6,85	9,11	0,06	
1646,00	1631,96	159,09	384,62	1000,00	9,20	8,61	5,47	2,80	6,94	9,21	0,06	
1703,00	1685,65	111,36	246,67	1000,00	9,20	8,89	5,64	2,84	7,08	9,36	0,06	
1743,00	1722,98	163,64	475,00	1000,00	9,30	9,08	5,76	2,87	7,18	9,47	0,06	
1796,00	1772,12	163,64	235,29	1000,00	9,30	9,33	5,92	2,90	7,32	9,62	0,06	
1836,00	1808,86	154,55	662,50	1000,00	9,30	9,53	6,04	2,93	7,42	9,73	0,06	
1891,00	1858,98	111,36	75,47	1000,00	9,30	9,79	6,20	2,97	7,56	9,88	0,06	
1931,00	1895,05	163,64	275,00	1000,00	9,30	9,98	6,32	3,00	7,66	9,99	0,06	
1986,00	1944,26	163,64	160,00	1000,00	9,30	10,25	6,49	3,04	7,80	10,14	0,06	
2016,00	1970,88	163,64	550,00	1000,00	9,30	10,39	6,58	3,06	7,87	10,22	0,06	
2079,00	2026,26	111,36	200,00	1000,00	9,30	10,69	6,76	3,10	8,03	10,40	0,06	
2109,00	2052,47	163,64	420,00	1000,00	9,30	10,84	6,85	3,12	8,11	10,48	0,06	
2174,00	2108,75	111,36	166,67	1000,00	9,30	11,15	7,05	3,16	8,27	10,66	0,06	
2204,00	2134,62	113,64	500,00	1000,00	9,30	11,29	7,13	3,18	8,34	10,74	0,06	
2268,00	2189,55	163,64	166,67	1000,00	9,30	11,60	7,32	3,23	8,51	10,92	0,06	
2362,00	2270,37	163,64	426,67	1000,00	9,30	12,05	7,60	3,29	8,74	11,17	0,06	
2457,00	2352,20	113,64	522,22	1000,00	9,30	12,51	7,89	3,36	8,98	11,43	0,06	
2487,00	2378,05	152,27	475,00	1000,00	9,30	12,65	7,98	3,38	9,06	11,52	0,06	
2551,00	2433,14	163,64	166,67	1000,00	9,30	12,96	8,17	3,42	9,22	11,69	0,06	
2646,00	2514,59	109,09	426,67	1000,00	9,30	13,42	8,45	3,49	9,46	11,95	0,10	
2668,00	2533,41	163,64	271,43	1000,00	9,90	23,00	8,51	3,50	9,51	12,01	0,07	
2740,00	2594,67	90,91	88,00	800,00	9,90	23,00	8,73	3,55	9,69	12,21	0,09	
2764,00	2615,10	90,91	257,14	800,00	9,90	23,00	8,80	3,57	9,75	12,28	0,10	

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO "TPTA - 021" EN LA FORMACIÓN "INDIFERENCIADO"

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACION
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES			
								10 SEG	10 MIN	30 MIN	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ³]	[cP]	[lb/100ft ³]	[lb/100ft ³]	[lb/100ft ³]	
817,00	816,96	70,00	166,67	820,00	8,70	7,02	6,01	3,00	4,00	6,00	0,04
839,00	838,96	70,00	275,00	900,00	8,50	7,11	6,06	3,01	4,03	6,02	0,04
850,00	849,96	70,00	366,67	900,00	8,50	7,15	6,08	3,02	4,04	6,03	0,04
892,00	891,95	80,00	150,00	950,00	8,50	7,32	6,18	3,04	4,08	6,06	0,05
908,00	907,95	90,00	94,12	1000,00	8,50	7,38	6,21	3,05	4,09	6,07	0,05
940,00	939,94	100,00	128,00	1050,00	8,50	7,50	6,28	3,06	4,13	6,09	0,06
998,00	997,83	100,00	207,14	1050,00	8,50	7,73	6,41	3,09	4,18	6,14	0,06
1068,00	1067,54	100,00	360,00	1050,00	8,50	8,01	6,57	3,13	4,25	6,19	0,06
1145,00	1143,94	110,00	570,00	1050,00	8,60	8,31	6,74	3,16	4,33	6,25	0,06
1179,00	1177,56	120,00	680,00	1050,00	8,60	8,45	6,81	3,18	4,36	6,27	0,06
1186,00	1184,48	120,00	233,33	1050,00	8,60	8,47	6,83	3,18	4,37	6,28	0,06
1274,00	1271,33	120,00	676,92	1200,00	8,60	8,82	7,02	3,23	4,46	6,34	0,08
1367,00	1362,68	120,00	516,67	1200,00	8,60	9,19	7,23	3,27	4,55	6,41	0,08
1462,00	1455,39	120,00	431,82	1200,00	8,60	9,56	7,44	3,32	4,64	6,48	0,08
1554,00	1544,35	120,00	418,18	1200,00	8,60	9,93	7,65	3,37	4,73	6,55	0,08
1651,00	1636,79	120,00	440,91	1200,00	8,80	10,31	7,86	3,41	4,83	6,62	0,08
1743,00	1723,63	120,00	511,11	1200,00	8,80	10,67	8,06	3,46	4,92	6,69	0,08
1838,00	1812,46	120,00	633,33	1200,00	8,80	11,05	8,28	3,51	5,01	6,76	0,08
1930,00	1897,00	120,00	418,18	1200,00	8,80	11,41	8,48	3,55	5,10	6,83	0,08
2028,00	1985,98	120,00	544,44	1200,00	8,80	11,79	8,70	3,60	5,20	6,90	0,08
2121,00	2069,19	120,00	620,00	1200,00	9,00	12,16	8,90	3,65	5,29	6,97	0,09
2149,00	2094,02	120,00	560,00	1200,00	9,00	12,27	8,97	3,66	5,32	6,99	0,09
2215,00	2151,59	120,00	550,00	1200,00	9,00	12,53	9,11	3,69	5,38	7,04	0,09
2309,00	2232,07	120,00	522,00	1200,00	9,00	12,90	9,32	3,74	5,48	7,11	0,09
2404,00	2311,71	120,00	380,00	1200,00	9,30	13,28	9,53	3,78	5,57	7,18	0,09
2498,00	2389,86	130,00	522,22	1200,00	9,30	13,65	9,74	3,83	5,66	7,25	0,09
2593,00	2469,14	130,00	527,78	1200,00	9,40	14,02	9,95	3,88	5,76	7,32	0,09
2687,00	2547,72	130,00	522,22	1200,00	9,70	14,39	10,16	3,92	5,85	7,39	0,10
2740,00	2591,96	130,00	441,67	1200,00	10,00	14,60	10,28	3,95	5,90	7,43	0,10

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO "TPTA - 022" EN LA FORMACIÓN "INDIFERENCIADO"

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACION
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES			
								10 SEG	10 MIN	30 MIN	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ³]	[cP]	[lb/100ft ³]	[lb/100ft ³]	[lb/100ft ³]	
2395,00	2312,51	140,00	470,00	1200,00	9,10	11,01	7,28	5,17	8,17	10,34	0,08
2489,00	2393,15	140,00	552,94	1200,00	9,10	11,42	7,54	5,24	8,24	10,47	0,08
2583,00	2474,15	140,00	522,22	1200,00	9,30	11,84	7,79	5,31	8,31	10,61	0,09
2678,00	2555,98	140,00	558,82	1200,00	9,40	12,26	8,05	5,38	8,38	10,75	0,09
2720,00	2592,08	140,00	525,00	1200,00	9,50	12,45	8,16	5,41	8,41	10,82	0,09

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO "TPTA - 024" EN LA FORMACIÓN "INDIFERENCIADO"

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACION
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES			
								10 SEG	10 MIN	30 MIN	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ³]	[cP]	[lb/100ft ³]	[lb/100ft ³]	[lb/100ft ³]	
816,00	815,98	70,00	75,00	900,00	8,50	9,02	5,02	4,00	6,00	8,01	0,04
830,00	829,98	70,00	280,00	1050,00	8,50	9,06	5,07	4,00	6,01	8,02	0,06
870,00	869,98	130,00	400,00	1100,00	8,50	9,19	5,21	4,01	6,04	8,07	0,06
907,00	906,98	140,00	528,57	1100,00	8,50	9,31	5,34	4,02	6,07	8,12	0,06
1002,00	1001,96	140,00	730,77	1200,00	8,50	9,62	5,67	4,05	6,14	8,24	0,07
1092,00	1091,88	140,00	600,00	1200,00	8,70	9,91	5,98	4,07	6,21	8,35	0,07
1125,00	1124,82	140,00	660,00	1200,00	8,70	10,01	6,09	4,08	6,23	8,39	0,07
1214,00	1213,58	140,00	593,33	1200,00	8,70	10,30	6,40	4,10	6,30	8,50	0,08
1265,00	1264,31	140,00	425,00	1200,00	8,70	10,47	6,58	4,11	6,34	8,56	0,08
1307,00	1306,04	140,00	420,00	1200,00	8,70	10,60	6,72	4,12	6,37	8,62	0,08
1367,00	1365,40	140,00	400,00	1200,00	8,70	10,79	6,93	4,14	6,41	8,69	0,08
1450,00	1447,24	140,00	360,87	1200,00	8,70	11,06	7,22	4,16	6,48	8,79	0,08
1553,00	1547,87	140,00	515,00	1200,00	8,80	11,39	7,58	4,18	6,55	8,92	0,08
1650,00	1641,59	140,00	346,43	1200,00	8,80	11,71	7,91	4,21	6,62	9,04	0,08
1743,00	1730,12	140,00	372,00	1200,00	8,90	12,01	8,24	4,23	6,69	9,16	0,08
1836,00	1817,26	140,00	516,67	1200,00	9,00	12,31	8,56	4,25	6,76	9,27	0,08
1930,00	1903,85	140,00	427,27	1200,00	9,00	12,61	8,89	4,28	6,83	9,39	0,08
2024,00	1988,74	140,00	470,00	1200,00	9,00	12,91	9,21	4,30	6,90	9,50	0,09
2118,00	2071,81	140,00	408,70	1200,00	9,10	13,21	9,54	4,32	6,97	9,62	0,09
2164,00	2112,04	140,00	460,00	1200,00	9,10	13,36	9,70	4,34	7,01	9,68	0,09
2214,00	2155,38	140,00	500,00	1200,00	9,10	13,52	9,87	4,35	7,04	9,74	0,09
2307,00	2236,02	140,00	465,00	1200,00	9,20	13,82	10,19	4,37	7,11	9,86	0,09
2402,00	2318,44	140,00	351,85	1200,00	9,20	14,13	10,52	4,39	7,18	9,97	0,09
2496,00	2399,95	140,00	408,70	1200,00	9,20	14,43	10,85	4,42	7,25	10,09	0,09
2590,00	2481,14	140,00	427,27	1200,00	9,30	14,73	11,18	4,44	7,32	10,21	0,09
2685,00	2563,45	140,00	475,00	1200,00	9,40	15,04	11,51	4,46	7,39	10,32	0,09

INFORMACIÓN DE CADA POZO EN LA FORMACIÓN ORTEGUAZA

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTC - 007 EN LA FORMACIÓN ORTEGUAZA

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES			
								[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	
[ft]	[ft]							[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	
2720.00	2611.84	150.00	254.05	800.00	9.90	22.00	13.09	6.09	8.65	10.17	0.15
2814.00	2695.10	152.27	254.05	800.00	9.90	22.00	13.18	6.18	8.81	10.35	0.15
2831.00	2710.17	161.36	130.77	800.00	9.90	22.00	13.19	6.19	8.84	10.38	0.15
2908.00	2778.62	143.18	275.00	800.00	9.90	22.00	13.26	6.26	8.96	10.53	0.15
3003.00	2863.23	140.91	182.69	800.00	9.90	22.00	13.36	6.36	9.12	10.71	0.15
3096.00	2946.01	140.91	244.74	800.00	9.90	22.00	13.44	6.44	9.28	10.89	0.15
3192.00	3031.35	140.91	274.29	800.00	9.90	22.00	13.53	6.53	9.43	11.07	0.15
3212.00	3049.13	150.00	100.00	800.00	9.90	22.00	13.55	6.55	9.47	11.11	0.15
3285.00	3114.14	140.91	228.12	800.00	9.90	22.00	13.62	6.62	9.59	11.24	0.15
3379.00	3198.11	140.91	254.05	800.00	9.90	22.00	13.71	6.71	9.75	11.42	0.15
3475.00	3283.98	140.91	342.86	800.00	9.90	22.00	13.80	6.80	9.90	11.61	0.15
3502.00	3308.14	140.91	158.82	800.00	9.90	22.00	13.83	6.83	9.95	11.66	0.15
3569.00	3368.13	140.91	291.30	800.00	9.90	22.00	13.89	6.89	10.06	11.78	0.15
3664.00	3453.39	159.09	287.88	800.00	9.90	22.00	13.98	6.98	10.22	11.96	0.15

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTC - 009 EN LA FORMACIÓN ORTEGUAZA

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES			
								[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	
[ft]	[ft]							[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	
3000.00	2701.17	135.91	296.87	800.00	9.90	22.60	10.31	2.82	3.92	5.44	0.17
3055.56	2742.44	131.82	226.09	800.00	9.90	22.72	10.37	2.99	4.12	5.74	0.18
3222.22	2866.57	134.09	254.05	800.00	9.90	23.10	10.57	3.51	4.70	6.64	0.18
3305.56	2927.93	135.45	254.05	800.00	9.90	23.29	10.66	3.77	4.99	7.10	0.18
3388.89	2990.33	135.45	220.93	800.00	9.90	23.48	10.76	4.03	5.28	7.55	0.18
3400.00	2998.60	134.09	220.93	800.00	9.90	23.50	10.77	4.06	5.32	7.61	0.18
3500.00	3073.17	138.64	223.81	800.00	9.90	23.73	10.89	4.37	5.67	8.15	0.19
3583.33	3135.37	138.64	223.81	800.00	9.90	23.92	10.99	4.63	5.96	8.61	0.19
3611.11	3156.54	139.09	237.50	800.00	9.90	23.98	11.02	4.72	6.06	8.76	0.19
3694.44	3219.41	139.09	87.50	800.00	9.90	24.17	11.12	4.98	6.35	9.21	0.19
3750.00	3260.74	136.36	327.78	800.00	9.90	24.30	11.18	5.15	6.54	9.51	0.19
3777.78	3281.37	136.36	327.78	800.00	9.90	24.36	11.21	5.24	6.64	9.66	0.19
3833.33	3322.86	140.00	284.85	800.00	9.90	24.49	11.28	5.41	6.83	9.96	0.20
3888.89	3364.47	136.36	271.43	800.00	9.90	24.61	11.34	5.58	7.03	10.27	0.20
4000.00	3447.41	137.00	100.00	800.00	9.90	24.86	11.47	5.93	7.42	10.87	0.20
4061.00	3492.80	138.64	254.05	800.00	9.90	25.00	11.54	6.12	7.63	11.20	0.20

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTC - 010 EN LA FORMACIÓN ORTEGUAZA

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES			
								[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	
[ft]	[ft]							[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	
2834.00	2674.77	140.91	280.00	800.00	9.90	23.00	9.01	3.62	9.93	12.47	0.18
2928.00	2755.35	143.18	247.37	800.00	9.90	23.00	9.29	3.68	10.17	12.73	0.17
3022.00	2836.33	145.45	284.85	800.00	9.90	23.00	9.57	3.75	10.40	12.99	0.17
3117.00	2918.38	142.00	256.76	800.00	9.90	23.00	9.85	3.81	10.64	13.25	0.17
3211.00	2999.56	143.00	223.81	800.00	9.90	23.00	10.13	3.88	10.88	13.50	0.17
3224.00	3010.78	143.18	30.95	800.00	9.90	23.00	10.17	3.89	10.91	13.54	0.17
3305.00	3080.58	143.18	231.43	800.00	9.90	23.00	10.41	3.94	11.12	13.76	0.17
3400.00	3162.47	144.00	256.76	800.00	9.90	23.00	10.69	4.01	11.36	14.02	0.17
3494.00	3243.14	145.45	254.06	800.00	9.90	23.00	10.97	4.07	11.59	14.28	0.17
3544.00	3285.65	131.82	111.11	800.00	9.90	23.00	11.12	4.10	11.72	14.42	0.17
3589.00	3323.74	147.73	250.00	800.00	9.90	23.00	11.25	4.14	11.83	14.54	0.17
3683.00	3403.05	143.18	268.57	800.00	9.90	23.00	11.53	4.20	12.07	14.80	0.17
3777.00	3482.71	145.00	254.05	800.00	9.90	23.00	11.81	4.26	12.30	15.06	0.17

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTA - 021 EN LA FORMACIÓN ORTEGUAZA

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES			
								10 SEG	10 MIN	30 MIN	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ²]	[cP]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	
2781.00	2626.11	130.00	315.38	1200.00	10.00	18.00	10.37	3.97	5.94	7.46	0.10
2877.00	2706.29	130.00	300.00	1200.00	10.00	18.59	10.58	4.02	6.04	7.53	0.10
2971.00	2785.24	130.00	376.00	1150.00	10.00	19.18	10.79	4.06	6.13	7.60	0.16
3065.00	2864.51	130.00	408.70	1150.00	10.00	19.76	11.00	4.11	6.22	7.67	0.16
3159.00	2943.96	130.00	522.22	1150.00	10.00	20.34	11.21	4.16	6.31	7.74	0.17
3253.00	3023.55	130.00	470.00	1150.00	10.00	20.92	11.41	4.20	6.41	7.80	0.18
3349.00	3105.05	130.00	436.36	1150.00	10.00	21.52	11.63	4.25	6.50	7.88	0.18
3444.00	3185.98	130.00	475.00	1130.00	10.10	22.11	11.84	4.30	6.59	7.95	0.19
3536.00	3264.66	130.00	418.18	1150.00	10.10	22.67	12.04	4.34	6.69	8.01	0.19
3629.00	3344.36	130.00	620.00	1150.00	10.10	23.25	12.25	4.39	6.78	8.08	0.20
3698.00	3403.42	130.00	460.00	1150.00	10.10	23.68	12.40	4.42	6.84	8.13	0.20
3723.00	3424.77	130.00	500.00	1100.00	10.10	23.83	12.46	4.43	6.87	8.15	0.20
3750.00	3447.83	130.00	540.00	1100.00	10.10	24.00	12.52	4.45	6.90	8.17	0.20

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTA - 022 EN LA FORMACIÓN ORTEGUAZA

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES			
								10 SEG	10 MIN	30 MIN	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ²]	[cP]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	
2771.00	2636.10	140.00	392.31	1000.00	10.00	18.00	8.30	5.45	8.45	10.89	0.14
2865.00	2718.00	140.00	284.85	1000.00	10.00	18.59	8.56	5.52	8.52	11.03	0.15
2885.00	2735.56	140.00	666.67	1200.00	10.00	18.72	8.61	5.53	8.53	11.06	0.16
2959.00	2800.24	140.00	569.23	1000.00	10.00	19.18	8.81	5.58	8.58	11.17	0.15
3054.00	2882.93	140.00	475.00	1200.00	10.00	19.78	9.07	5.65	8.65	11.31	0.17
3150.00	2966.26	140.00	564.71	1200.00	10.00	20.39	9.33	5.73	8.73	11.45	0.18
3244.00	3047.86	140.00	552.94	1200.00	10.00	20.98	9.58	5.80	8.80	11.59	0.18
3338.00	3129.81	140.00	522.22	1200.00	10.00	21.57	9.84	5.86	8.86	11.73	0.19
3432.00	3212.17	140.00	626.67	1200.00	10.10	22.16	10.09	5.93	8.93	11.87	0.19
3526.00	3294.56	140.00	626.67	1180.00	10.10	22.75	10.35	6.00	9.00	12.01	0.20
3621.00	3377.64	140.00	558.82	1180.00	10.10	23.35	10.60	6.07	9.07	12.15	0.20
3716.00	3460.51	140.00	558.82	1180.00	10.10	23.95	10.86	6.14	9.14	12.29	0.21
3724.00	3467.48	140.00	400.00	1180.00	10.10	24.00	10.88	6.15	9.15	12.30	0.21

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTA - 024 EN LA FORMACIÓN ORTEGUAZA

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES			
								10 SEG	10 MIN	30 MIN	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ²]	[cP]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	
2780.00	2645.99	140.00	351.85	1200.00	10.00	18.00	11.84	4.49	7.46	10.44	0.10
2830.00	2689.32	140.00	277.78	1200.00	10.00	18.32	12.01	4.50	7.50	10.50	0.10
2874.00	2727.53	140.00	338.46	950.00	10.00	18.60	12.16	4.51	7.53	10.56	0.14
2896.00	2746.64	140.00	314.29	950.00	10.00	18.74	12.24	4.52	7.55	10.58	0.14
2968.00	2809.08	140.00	288.00	1200.00	10.00	19.20	12.49	4.53	7.60	10.67	0.16
3062.00	2890.39	140.00	348.15	1200.00	10.00	19.79	12.81	4.56	7.67	10.79	0.16
3157.00	2972.39	140.00	339.29	1200.00	10.00	20.40	13.14	4.58	7.74	10.91	0.17
3252.00	3054.41	140.00	316.67	1200.00	10.00	21.00	13.47	4.61	7.82	11.03	0.17
3346.00	3135.68	140.00	335.71	1200.00	10.10	21.60	13.80	4.63	7.89	11.14	0.18
3439.00	3216.33	140.00	344.44	1180.00	10.10	22.19	14.12	4.65	7.95	11.26	0.18
3490.00	3260.65	140.00	392.31	1180.00	10.10	22.52	14.30	4.66	7.99	11.32	0.19
3534.00	3298.93	140.00	440.00	1180.00	10.10	22.80	14.45	4.68	8.03	11.38	0.19
3628.00	3380.74	140.00	470.00	1150.00	10.10	23.40	14.78	4.70	8.10	11.49	0.19
3723.00	3463.43	140.00	431.82	950.00	10.10	24.00	15.11	4.72	8.17	11.61	0.18

INFORMACIÓN DE CADA POZO EN LA FORMACIÓN TIYUYACU

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTC - 007 EN LA FORMACIÓN TIYUYACU

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN							ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES				
								[lb/gal]	[lb/100ft ²]	[cP]	10 SEG	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ²]	[cP]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]		
3687.00	3474.04	143.18	46.00	800.00	9.90	19.00	14.00	7.00	10.26	12.01	0.13	
3759.00	3538.36	159.09	225.00	800.00	9.90	19.00	14.07	7.07	10.38	12.14	0.13	
3794.00	3569.54	164.55	60.34	1000.00	9.90	19.00	14.11	7.11	10.43	12.21	0.14	
3852.00	3621.00	160.00	214.81	1000.00	9.90	19.00	14.16	7.16	10.53	12.32	0.14	
3947.00	3705.25	159.09	182.69	1000.00	10.10	19.00	14.25	7.25	10.69	12.50	0.14	
4040.00	3787.86	161.36	197.87	1000.00	10.20	19.00	14.34	7.34	10.84	12.68	0.14	
4135.00	3872.32	150.00	202.13	1000.00	10.20	19.00	14.43	7.43	11.00	12.86	0.14	
4155.00	3890.10	156.82	35.09	1000.00	10.20	19.00	14.45	7.45	11.03	12.89	0.14	
4229.00	3955.89	154.55	231.25	950.00	10.20	19.00	14.52	7.52	11.16	13.03	0.14	
4324.00	4040.31	154.55	182.69	950.00	10.20	19.00	14.61	7.61	11.31	13.21	0.14	

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTC - 009 EN LA FORMACIÓN TIYUYACU

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN							ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES				
								[lb/gal]	[lb/100ft ²]	[cP]	10 SEG	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ²]	[cP]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]		
4138.89	3550.87	138.64	254.05	800.00	9.90	23.00	11.63	6.36	7.90	11.62	0.18	
4222.22	3613.03	161.36	250.00	1000.00	9.90	23.00	11.73	6.62	8.19	12.08	0.20	
4333.33	3696.09	161.36	208.89	1000.00	10.00	23.00	11.86	6.96	8.58	12.68	0.20	
4472.22	3800.75	159.09	235.00	1000.00	10.00	23.00	12.02	7.39	9.07	13.44	0.20	
4555.56	3864.11	159.09	210.00	1000.00	10.00	23.00	12.12	7.65	9.36	13.89	0.20	
4655.56	3930.51	163.64	169.23	1000.00	10.00	23.00	12.24	7.96	9.71	14.43	0.20	
4677.78	3956.97	163.64	250.00	1000.00	10.00	23.00	12.26	8.03	9.78	14.55	0.20	
4718.00	3987.51	163.64	250.00	1000.00	10.10	23.00	12.31	8.16	9.93	14.77	0.20	
4805.56	4054.59	162.73	223.81	1000.00	10.10	23.00	12.41	8.43	10.23	15.25	0.20	
4861.11	4097.45	162.73	232.50	1000.00	10.10	23.00	12.48	8.60	10.43	15.55	0.20	
4878.00	4110.54	162.73	232.50	1000.00	10.10	23.00	12.50	8.65	10.48	15.64	0.20	

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTC - 010 EN LA FORMACIÓN TIYUYACU

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN							ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES				
								[lb/gal]	[lb/100ft ²]	[cP]	10 SEG	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ²]	[cP]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]		
3807.00	3508.19	150.00	85.71	800.00	10.00	19.00	11.90	4.29	12.38	15.14	0.13	
3871.00	3562.60	145.45	256.00	800.00	10.00	19.31	12.09	4.33	12.54	15.32	0.14	
3966.00	3643.25	86.36	256.76	800.00	10.00	19.76	12.38	4.39	12.78	15.58	0.14	
3984.00	3658.51	136.36	22.50	1000.00	10.00	19.85	12.43	4.41	12.83	15.63	0.16	
3996.00	3668.67	163.64	240.00	1000.00	10.00	19.91	12.47	4.42	12.86	15.66	0.16	
4004.00	3675.44	163.64	114.29	800.00	10.00	19.94	12.49	4.42	12.88	15.68	0.14	
4059.00	3721.99	163.64	366.67	1000.00	10.00	20.21	12.65	4.46	13.01	15.83	0.16	
4077.00	3737.23	136.36	90.00	1000.00	10.00	20.29	12.71	4.47	13.06	15.88	0.16	
4091.00	3749.16	118.18	70.00	930.00	10.00	20.36	12.75	4.48	13.09	15.92	0.15	
4119.00	3773.01	152.27	233.33	930.00	10.00	20.50	12.83	4.50	13.16	16.00	0.16	
4147.00	3796.86	109.09	41.18	1000.00	10.00	20.63	12.91	4.52	13.24	16.08	0.16	
4155.00	3803.68	109.09	160.00	900.00	10.00	20.67	12.94	4.52	13.26	16.10	0.15	
4179.00	3824.27	109.09	9.50	945.00	10.00	20.79	13.01	4.54	13.32	16.16	0.16	
4217.00	3857.33	111.36	95.00	1000.00	10.00	20.97	13.12	4.57	13.41	16.27	0.16	
4248.00	3884.31	111.36	31.96	1000.00	10.00	21.12	13.22	4.59	13.49	16.35	0.17	
4275.00	3907.95	111.36	37.50	1000.00	10.00	21.25	13.30	4.61	13.56	16.43	0.17	
4343.00	3968.17	156.82	206.06	1000.00	10.00	21.57	13.50	4.65	13.73	16.61	0.17	
4401.00	4020.01	118.18	49.15	1050.00	10.00	21.85	13.67	4.69	13.87	16.77	0.18	
4437.00	4052.30	106.82	180.00	950.00	10.00	22.02	13.78	4.72	13.97	16.87	0.17	
4487.00	4097.55	161.36	200.00	950.00	10.00	22.27	13.93	4.75	14.09	17.01	0.17	

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTA - 021 EN LA FORMACIÓN TIYUYACU

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES			
								10 SEG	10 MIN	30 MIN	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ²]	[cP]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	
3818.00	3505.89	130,00	226.67	1100,00	10,10	18,85	12,67	4,48	6,96	8,22	0,15
3912.00	3585.81	130,00	218.60	1100,00	10,10	19,22	12,88	4,53	7,06	8,29	0,16
3935.00	3605,31	130,00	230,00	1100,00	10,10	19,31	12,93	4,54	7,08	8,31	0,16
4005.00	3664,55	130,00	318,18	1100,00	10,20	19,59	13,08	4,57	7,15	8,36	0,16
4073.00	3722,10	130,00	377,78	1100,00	10,20	19,86	13,23	4,61	7,21	8,41	0,16
4099.00	3744,14	120,00	520,00	1100,00	10,20	19,96	13,29	4,62	7,24	8,43	0,16
4117.00	3759,40	120,00	257,14	1100,00	10,20	20,03	13,33	4,63	7,26	8,44	0,16
4193.00	3823,84	120,00	345,45	1100,00	10,20	20,33	13,50	4,67	7,33	8,50	0,17
4287.00	3903,51	120,00	247,37	1080,00	10,20	20,70	13,71	4,71	7,43	8,57	0,17
4380.00	3982,33	120,00	265,71	1080,00	10,20	21,07	13,91	4,76	7,52	8,64	0,17
4474.00	4062,16	130,00	284,85	1080,00	10,30	21,44	14,12	4,80	7,61	8,71	0,17

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTA - 022 EN LA FORMACIÓN TIYUYACU

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES			
								10 SEG	10 MIN	30 MIN	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ²]	[cP]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	
3809.00	3541,14	140,00	257,58	1180,00	10,10	17,28	11,11	6,21	9,21	12,43	0,10
3824.00	3554,13	140,00	214,29	1150,00	10,10	17,34	11,15	6,22	9,22	12,45	0,09
3903.00	3622,41	140,00	316,00	1050,00	10,10	17,69	11,37	6,28	9,28	12,56	0,14
3997.00	3703,38	140,00	268,57	1050,00	10,10	18,11	11,62	6,35	9,35	12,70	0,14
4091.00	3784,12	130,00	254,05	1050,00	10,10	18,53	11,88	6,42	9,42	12,84	0,15
4185.00	3864,92	140,00	247,37	1050,00	10,10	18,94	12,13	6,49	9,49	12,98	0,15
4278.00	3944,94	130,00	186,00	1050,00	10,20	19,36	12,38	6,56	9,56	13,12	0,15
4372.00	4025,83	130,00	195,83	1060,00	10,20	19,77	12,64	6,63	9,63	13,26	0,16

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTA - 024 EN LA FORMACIÓN TIYUYACU

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN						ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES			
								10 SEG	10 MIN	30 MIN	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ²]	[cP]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	
3816.00	3544,21	140,00	281,82	1150,00	10,10	18,68	15,43	4,74	8,23	11,72	0,15
3877.00	3597,06	140,00	244,00	1100,00	10,10	18,88	15,64	4,76	8,28	11,80	0,15
3910.00	3625,60	140,00	330,00	1080,00	10,20	18,99	15,76	4,77	8,30	11,84	0,15
4003.00	3706,03	140,00	265,71	1080,00	10,20	19,29	16,08	4,79	8,37	11,96	0,15
4098.00	3788,17	140,00	256,76	1080,00	10,20	19,59	16,41	4,81	8,44	12,07	0,15
4193.00	3870,31	140,00	256,76	1080,00	10,20	19,90	16,74	4,84	8,52	12,19	0,16
4286.00	3950,86	140,00	290,62	1060,00	10,30	20,20	17,06	4,86	8,58	12,31	0,16
4379.00	4031,63	140,00	281,82	1050,00	10,30	20,50	17,38	4,88	8,65	12,42	0,16

INFORMACIÓN DE CADA POZO EN LA FORMACIÓN TENA

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTC - 009 EN LA FORMACIÓN TENA

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN							ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES				
								[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ²]	[cP]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]		
5027,78	4227,20	170,45	247,37	1000,00	10,30	23,00	12,67	9,12	11,01	16,46	0,20	
5111,11	4292,91	162,73	208,89	1000,00	10,30	23,00	12,77	9,38	11,30	16,91	0,20	
5222,22	4381,54	162,73	223,81	1000,00	10,40	23,00	12,90	9,72	11,69	17,51	0,20	
5312,00	4453,94	162,73	170,59	1000,00	10,40	23,00	13,00	10,00	12,00	18,00	0,20	

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTC - 007 EN LA FORMACIÓN TENA

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN							ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES				
								[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ²]	[cP]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]		
4351,00	4064,29	156,82	27,55	950,00	10,20	19,00	14,63	7,63	11,36	13,27	0,14	
4417,00	4122,93	159,09	188,57	950,00	10,20	19,00	14,70	7,70	11,47	13,39	0,14	
4511,00	4206,78	154,55	223,81	950,00	10,20	19,00	14,78	7,78	11,62	13,57	0,14	
4607,00	4292,92	156,36	240,00	950,00	10,20	19,00	14,88	7,88	11,78	13,75	0,14	
4700,00	4376,79	156,36	193,75	950,00	10,20	19,00	14,96	7,96	11,94	13,93	0,14	
4738,00	4411,14	159,09	140,74	1000,00	10,20	19,00	15,00	8,00	12,00	14,00	0,14	

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTC - 010 EN LA FORMACIÓN TENA

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN							ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES				
								[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ²]	[cP]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]		
4530,00	4136,70	106,82	16,04	950,00	10,00	22,47	14,05	4,78	14,20	17,13	0,17	
4589,00	4191,15	106,82	155,26	950,00	10,00	22,76	14,23	4,82	14,35	17,29	0,17	
4621,00	4220,75	100,00	29,53	960,00	10,00	22,91	14,32	4,84	14,43	17,38	0,18	
4625,00	4224,45	104,55	200,00	960,00	10,10	22,93	14,34	4,85	14,44	17,39	0,18	
4683,00	4278,53	165,91	214,81	1000,00	10,10	23,21	14,51	4,89	14,58	17,55	0,18	
4719,00	4312,21	111,36	48,00	1000,00	10,10	23,38	14,62	4,91	14,68	17,65	0,18	
4813,00	4400,64	161,36	195,83	1000,00	10,10	23,83	14,90	4,98	14,91	17,90	0,19	
4855,00	4440,22	168,18	190,91	1000,00	10,10	24,03	15,02	5,00	15,02	18,02	0,19	

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTA - 021 EN LA FORMACIÓN TENA

PROFUNDIDAD (MD)	PROFUNDIDAD (TVD)	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN							ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GELES				
								[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	
[ft]	[ft]	[RPM]	[gal/min]	[ft/hr]	[lb/gal]	[lb/100ft ²]	[cP]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]		
4568,00	4142,26	130,00	268,57	1050,00	10,30	21,81	14,33	4,85	7,70	8,78	0,18	
4662,00	4222,50	130,00	247,37	1020,00	10,30	22,18	14,54	4,90	7,79	8,85	0,18	
4687,00	4243,96	130,00	250,00	1020,00	10,40	22,28	14,59	4,91	7,82	8,86	0,18	
4724,00	4275,45	130,00	370,00	1020,00	10,40	22,42	14,68	4,93	7,86	8,89	0,18	
4756,00	4302,77	130,00	246,15	1020,00	10,40	22,55	14,75	4,94	7,89	8,92	0,18	
4765,00	4310,45	130,00	300,00	1020,00	10,40	22,59	14,77	4,95	7,90	8,92	0,18	
4850,00	4383,04	130,00	303,57	1020,00	10,40	22,92	14,96	4,99	7,98	8,99	0,18	
4853,00	4385,60	130,00	60,00	1020,00	10,40	22,93	14,96	4,99	7,98	8,99	0,18	
4870,00	4400,18	130,00	340,00	1020,00	10,40	23,00	15,00	5,00	8,00	9,00	0,18	

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTA - 022 EN LA FORMACIÓN TENA

PROFUNDIDAD (MD) [ft]	PROFUNDIDAD (TVD) [ft]	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN							ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN [RPM]	ROP [gal/min]	GALONAJE [ft/hr]	DENSIDAD [lb/gal]	PUNTO CEDENTE [lb/100ft ²]	VISCOSIDAD PLÁSTICA [cP]	GELES				
								10 SEG [lb/100ft ²]	10 MIN [lb/100ft ²]	30 MIN [lb/100ft ²]		
4466,00	4106,82	130,00	218,60	1050,00	10,20	20,19	12,89	6,70	9,70	13,40	0,16	
4561,00	4188,76	130,00	256,76	1030,00	10,20	20,61	13,15	6,77	9,77	13,54	0,16	
4653,00	4268,12	130,00	242,11	1030,00	10,20	21,02	13,40	6,84	9,84	13,67	0,17	
4748,00	4350,12	130,00	237,50	1030,00	10,20	21,44	13,66	6,91	9,91	13,81	0,17	
4842,00	4431,37	130,00	200,00	1030,00	10,20	21,86	13,91	6,98	9,98	13,95	0,17	
4874,00	4459,07	120,00	188,24	1020,00	10,20	22,00	14,00	7,00	10,00	14,00	0,17	

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL POZO TPTA - 024 EN LA FORMACIÓN TENA

PROFUNDIDAD (MD) [ft]	PROFUNDIDAD (TVD) [ft]	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN							ECD - DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN
		ROTACIÓN [RPM]	ROP [gal/min]	GALONAJE [ft/hr]	DENSIDAD [lb/gal]	PUNTO CEDENTE [lb/100ft ²]	VISCOSIDAD PLÁSTICA [cP]	GELES				
								10 SEG [lb/100ft ²]	10 MIN [lb/100ft ²]	30 MIN [lb/100ft ²]		
4473,00	4113,30	140,00	293,75	1040,00	10,40	20,80	17,71	4,91	8,72	12,54	0,16	
4567,00	4195,01	140,00	268,57	1030,00	10,40	21,10	18,04	4,93	8,79	12,66	0,16	
4661,00	4276,78	140,00	268,57	1010,00	10,50	21,41	18,36	4,95	8,86	12,77	0,16	
4755,00	4358,64	140,00	293,75	1000,00	10,50	21,71	18,69	4,98	8,93	12,89	0,16	
4845,00	4437,08	140,00	272,73	1000,00	10,50	22,00	19,00	5,00	9,00	13,00	0,17	

ANEXO C

PASOS PARA LA SUAVIZACIÓN DE ROP, REALIZACIÓN DE PRUEBA DE VALORES ATÍPICOS, MATRIZ DE CORRELACIÓN, PRUEBA DE NORMALIDAD Y TRANSFORMACIÓN DE BOX-COX

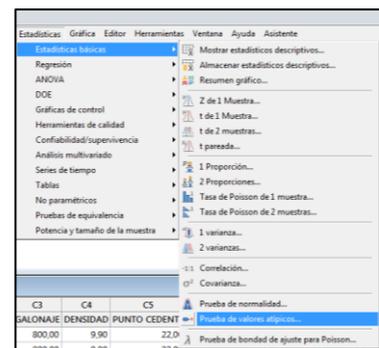
1. En Microsoft Excel se construye una gráfica de dispersión con los valores de ROP, se grafica una línea de tendencia de tipo polinómica del grado que más se ajuste y con la ecuación se calculan los nuevos valores de ROP.
2. La muestra con todas las observaciones se ingresa en la hoja de trabajo de MINITAB 18, como se muestra en la siguiente figura:

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GEL 10 S	GEL 10 M	GEL 30 M	ECD - MW
1	150,00	246,95	800,00	9,90	22,00	13,09	6,09	8,65	10,17	0,15
2	152,27	229,30	800,00	9,90	22,00	13,18	6,18	8,81	10,35	0,15
3	161,36	218,32	800,00	9,90	22,00	13,19	6,19	8,84	10,38	0,15
4	143,18	212,68	800,00	9,90	22,00	13,26	6,26	8,96	10,53	0,15
5	140,91	211,21	800,00	9,90	22,00	13,36	6,36	9,12	10,71	0,15

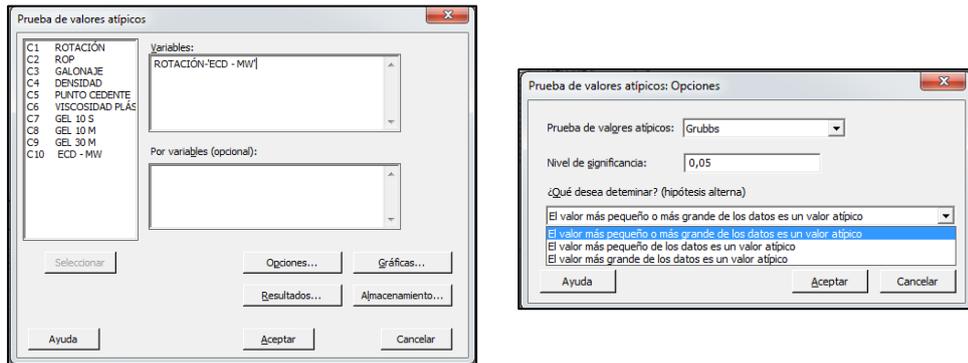
Los valores de ROP corresponden a los valores suavizados

3. Para realizar la prueba de valores atípicos se siguen los siguientes pasos:

- Dentro del menú ESTADÍSTICAS, se escoge ESTADÍSTICAS BÁSICAS y luego PRUEBA DE VALORES ATÍPICOS, como se muestra en la figura:

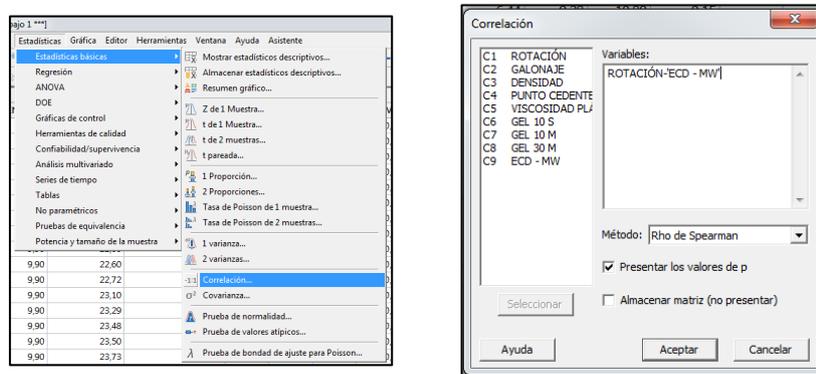


- Aparece el siguiente cuadro, en el que se seleccionan todas las variables, dentro de OPCIONES en la parte inferior derecha se escoge la hipótesis alterna; primero se hace la prueba para los valores más pequeños y luego para los más grandes.



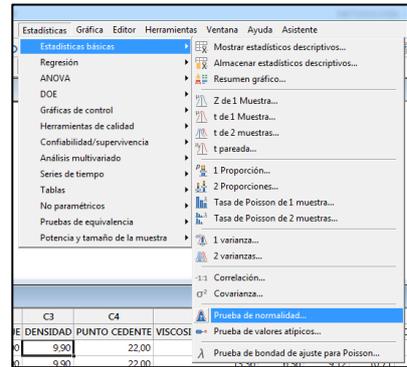
4. Para calcular la matriz de correlación se siguen los siguientes pasos:

- Dentro del menú ESTADÍSTICAS, se escoge ESTADÍSTICAS BÁSICAS y luego CORRELACIÓN, aparece un cuadro en el que se seleccionan todas las variables y se escoge el método RHO DE SPEARMAN.

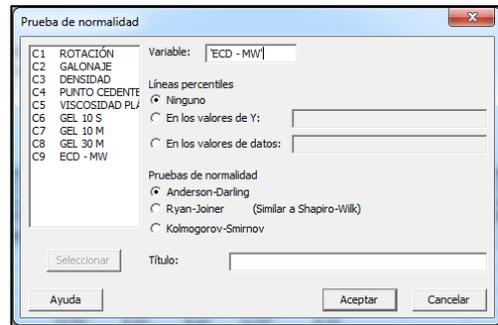


5. Para realizar la prueba de normalidad de la variable de respuesta ECD – MW, se siguen los siguientes pasos:

- Dentro del menú ESTADÍSTICAS, se escoge ESTADÍSTICAS BÁSICAS y luego PRUEBA DE NORMALIDAD, como se muestra en la figura:

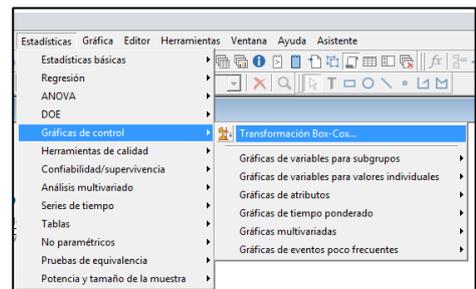


- Aparece el siguiente cuadro, en el que se selecciona la variable de respuesta ECD - MW y se escoge la prueba de ANDERSON-DARLING por ser más efectiva que las otras.

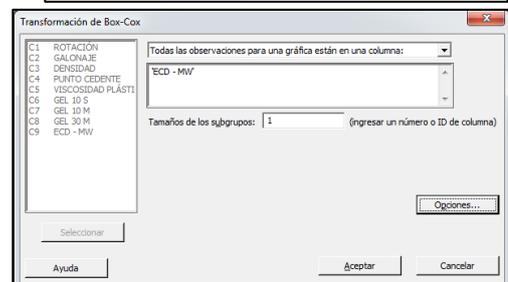


6. Para realizar la transformación de Box-Cox, se siguen los siguientes pasos:

- Dentro del menú ESTADÍSTICAS, se escoge GRÁFICAS DE CONTROL y luego TRANSFORMACIÓN DE BOX-COX, como se muestra en la figura



- Aparece el siguiente cuadro, en el que se selecciona la variable de respuesta ECD - MW y en el tamaño de subgrupos se ingresa 1.

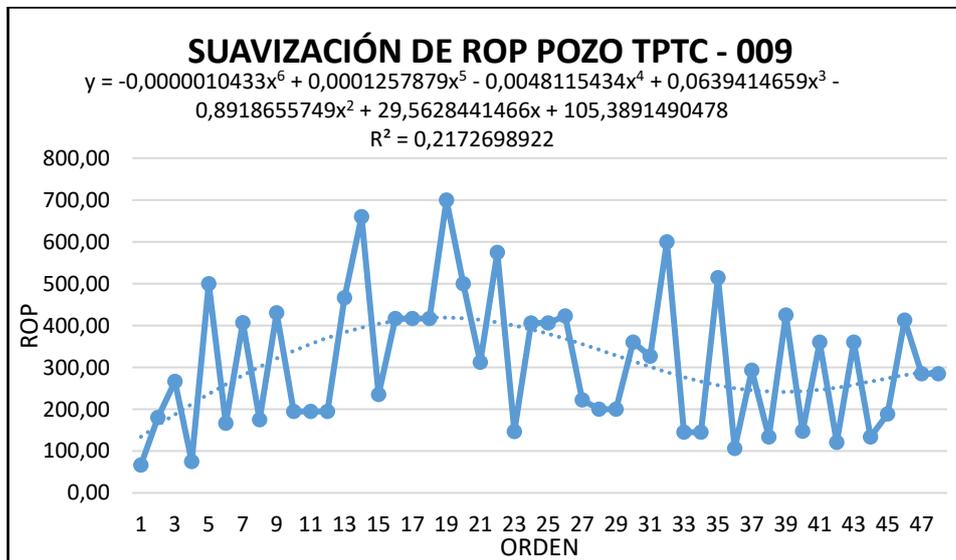
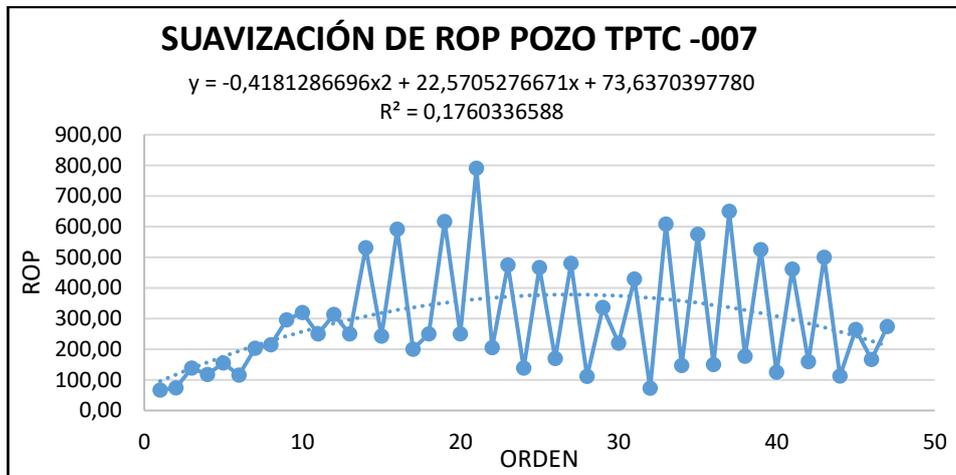


ANEXO D

PRUEBA DE VALORES ATÍPICOS, MATRIZ DE CORRELACIÓN, PRUEBA DE NORMALIDAD Y TRANSFORMACION DE BOX-COX POR FORMACIÓN

FORMACIÓN INDIFERENCIADO

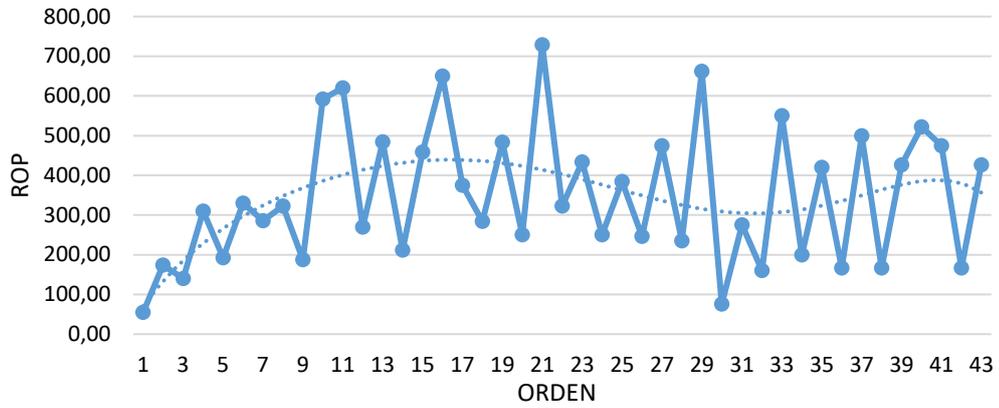
Suavización de ROP



SUAVIZACIÓN DE ROP POZO TPTC -010

$$y = -0,0000051666x^6 + 0,0006149677x^5 - 0,0273301511x^4 + 0,6011402121x^3 - 8,2972316471x^2 + 83,7148647726x - 5,6692576769$$

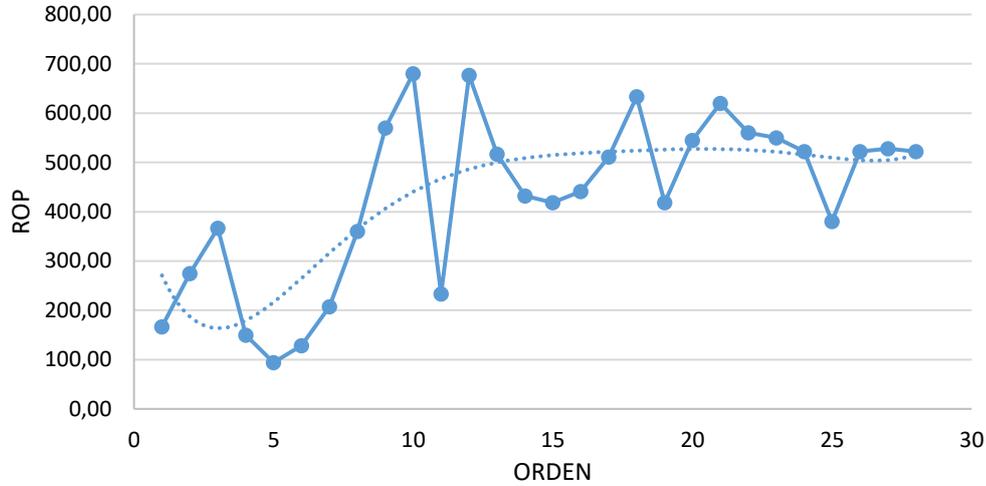
$$R^2 = 0,2229069717$$

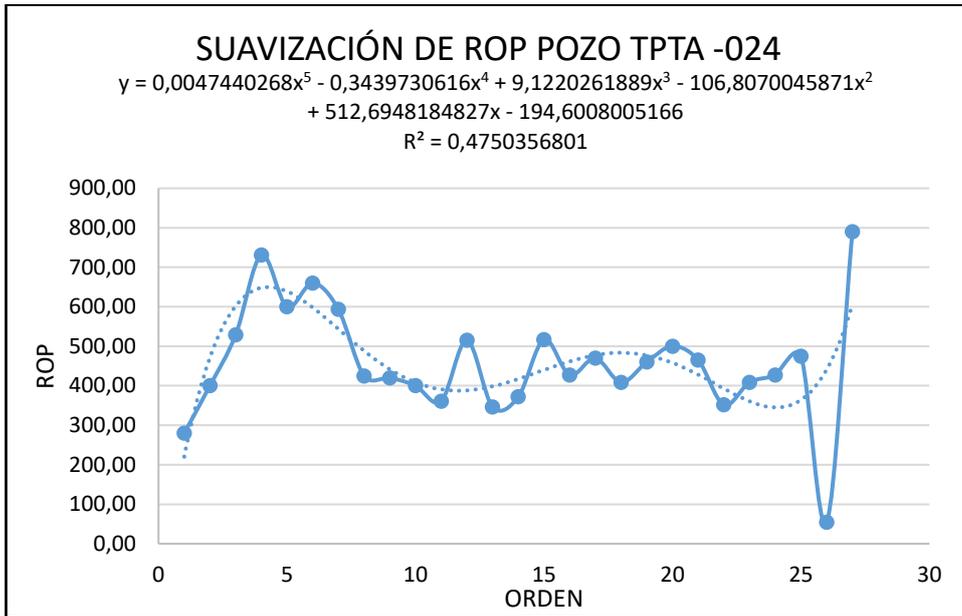


SUAVIZACIÓN DE ROP POZO TPTA - 021

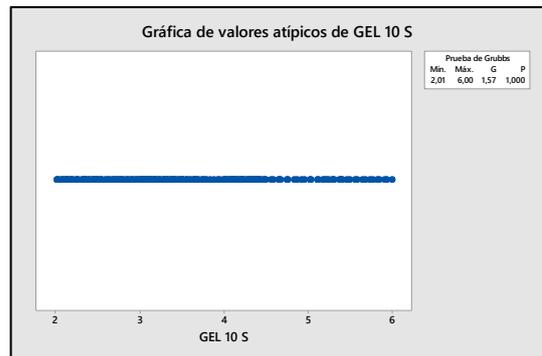
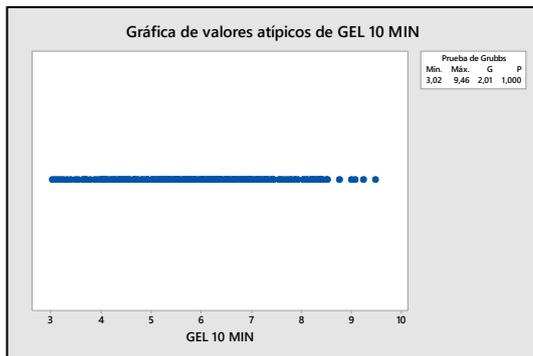
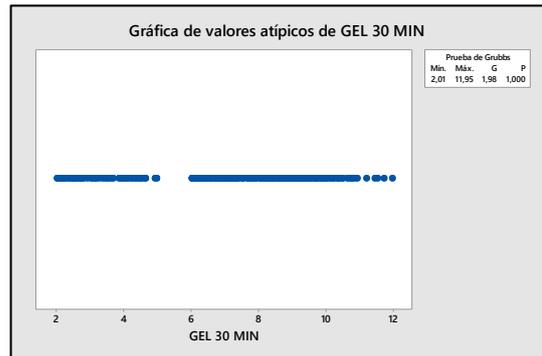
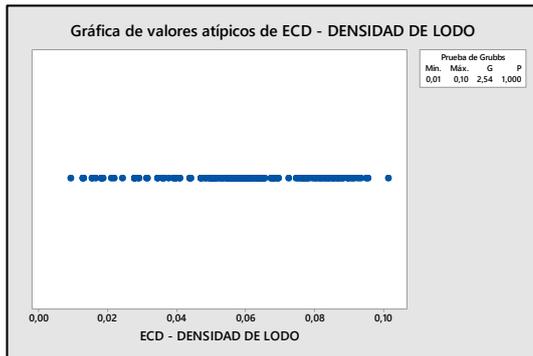
$$y = 0,0000810533x^5 - 0,0080482963x^5 + 0,3162889436x^4 - 6,1659263306x^3 + 59,6066873784x^2 - 223,3763541936x + 440,1853974658$$

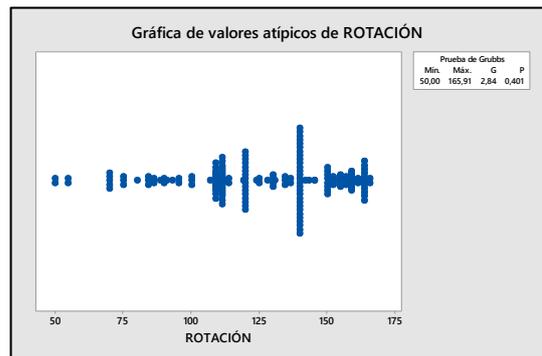
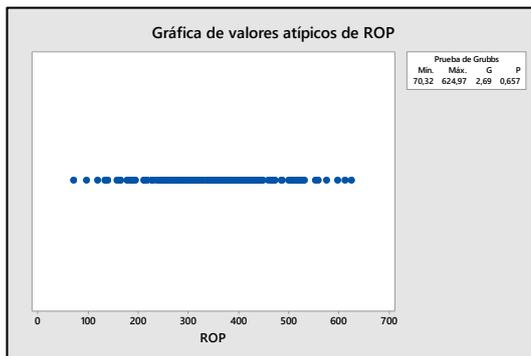
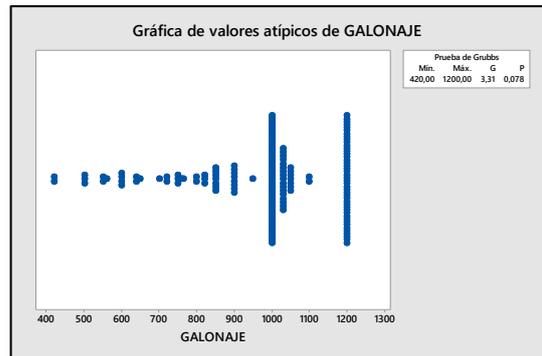
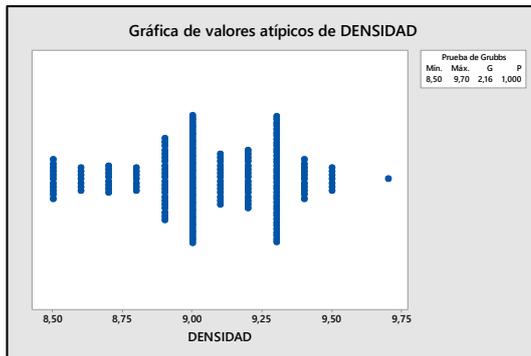
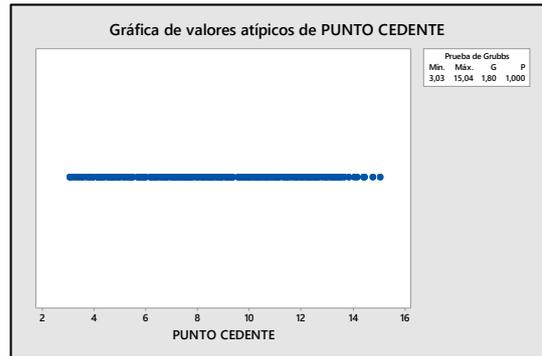
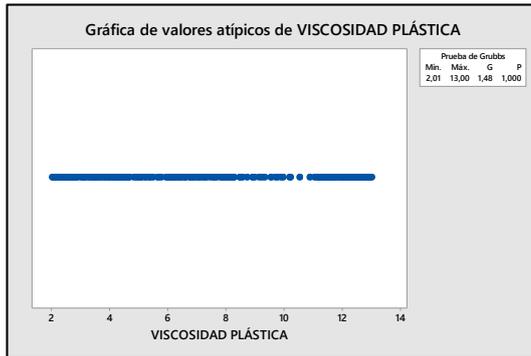
$$R^2 = 0,5502558648$$



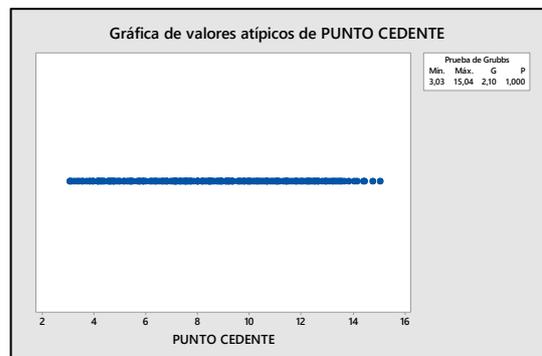
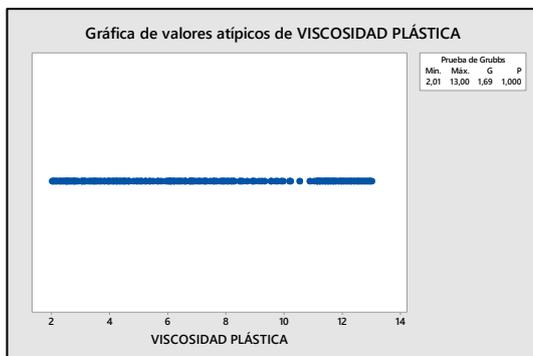
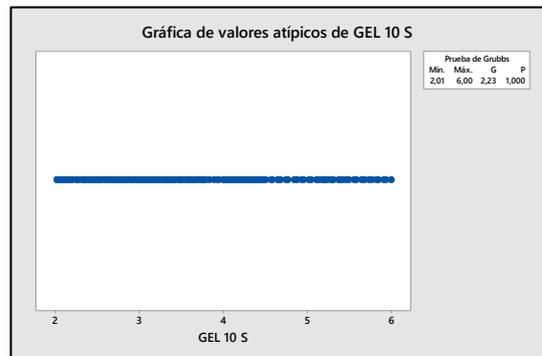
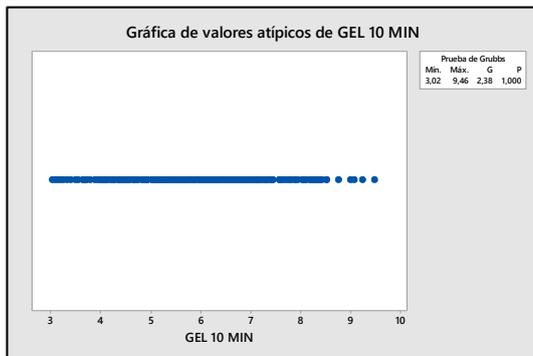
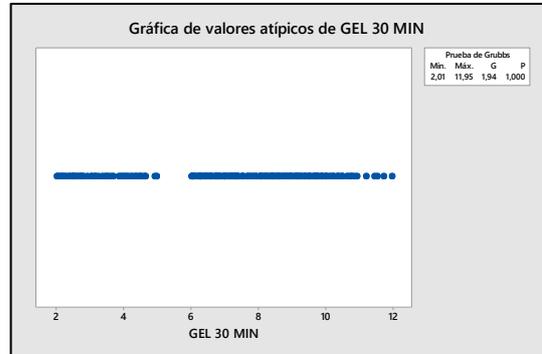
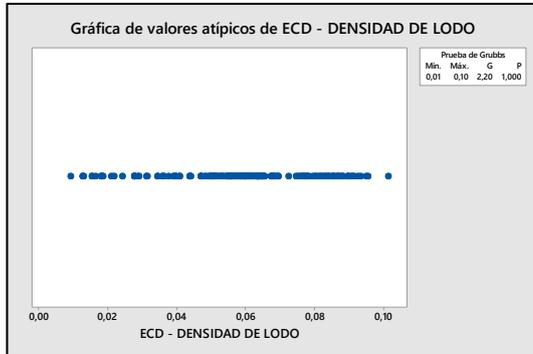


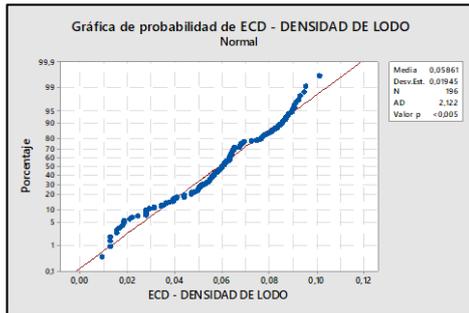
Prueba de valores atípicos: Valor más pequeño





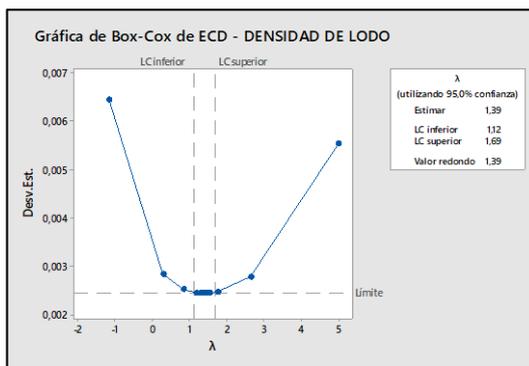
Prueba de valores atípicos: Valor más grande





La gráfica muestra que el valor p es menor que el nivel de significancia de 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (los datos siguen una distribución normal) y se concluye que la variable de respuesta no sigue una distribución normal.

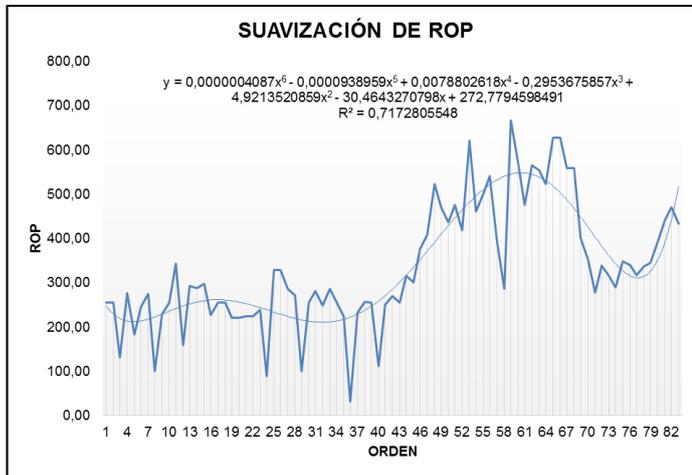
Transformación de Box-Cox



Aparece la siguiente gráfica en la que el lambda óptimo es 1.39 y el estimado es 1.39. Se utiliza el estimado de 1.39 para ajustar la variable de respuesta a una distribución normal, es decir, los valores de la variable de respuesta se elevarán a ese valor de potencia cuando se analice el diseño de superficie de respuesta.

FORMACIÓN ORTEGUAZA

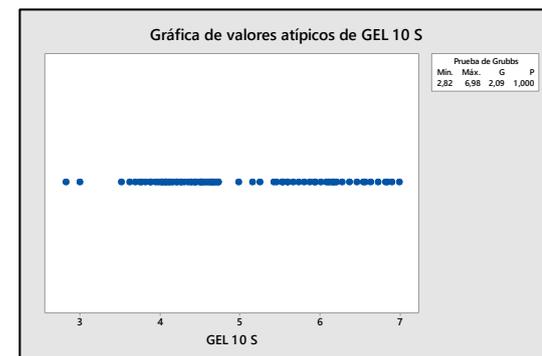
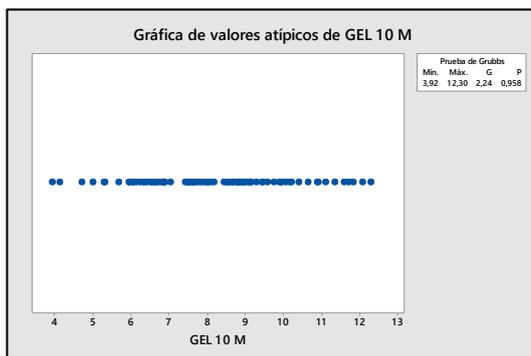
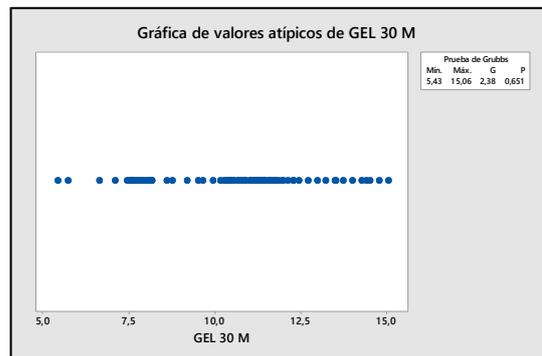
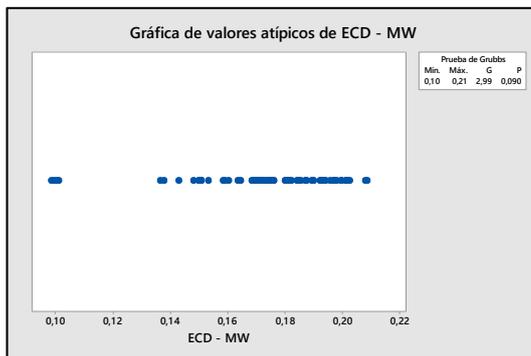
Suavización de ROP

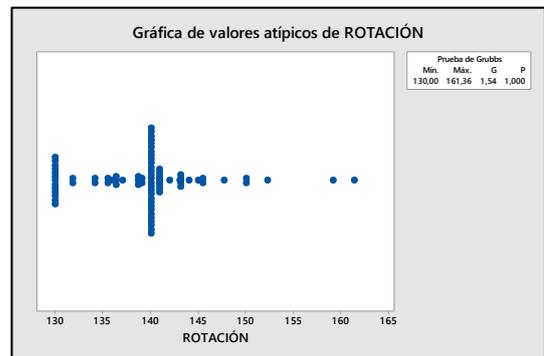
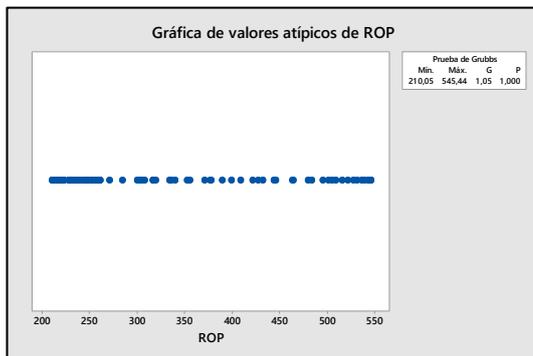
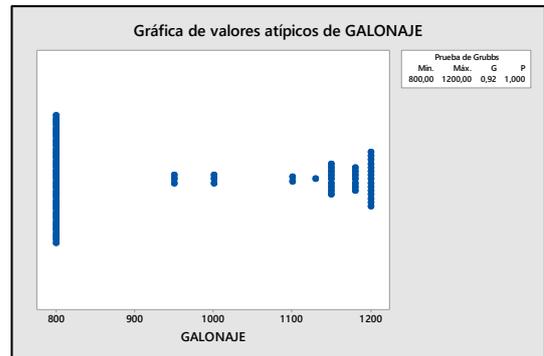
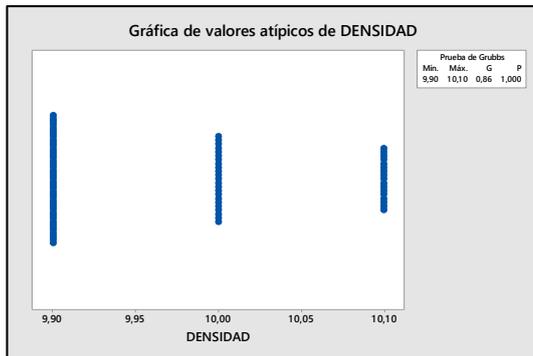
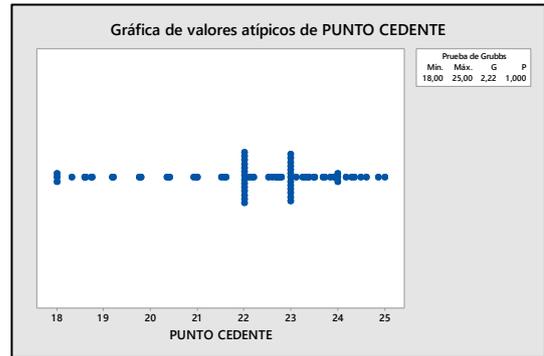
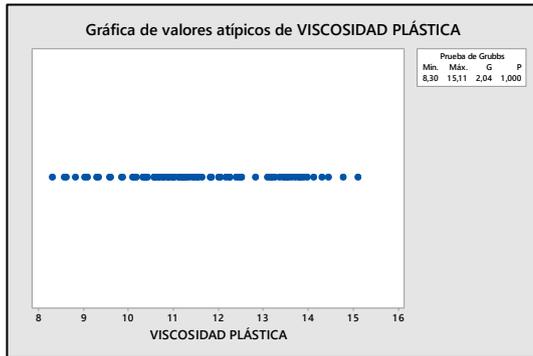


COMENTARIO:

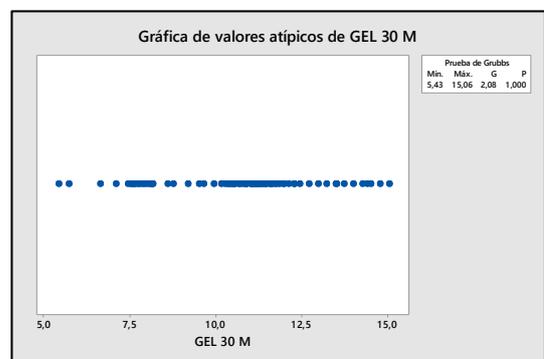
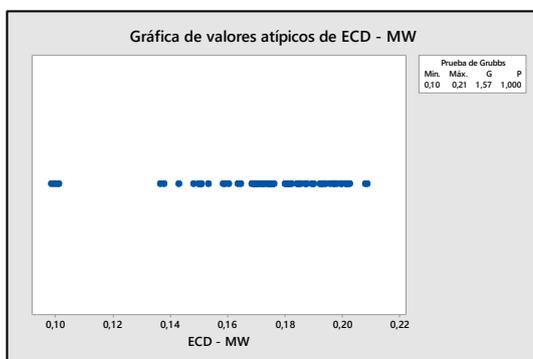
La gráfica de dispersión de ROP se suaviza con una ecuación polinómica de 6to orden

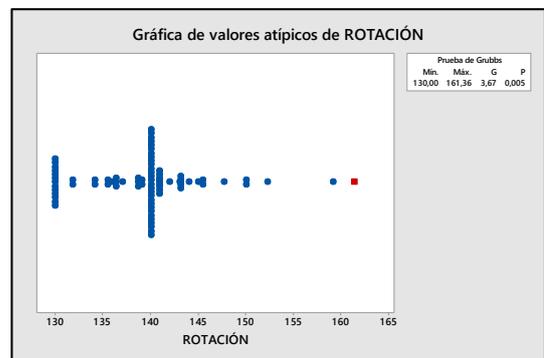
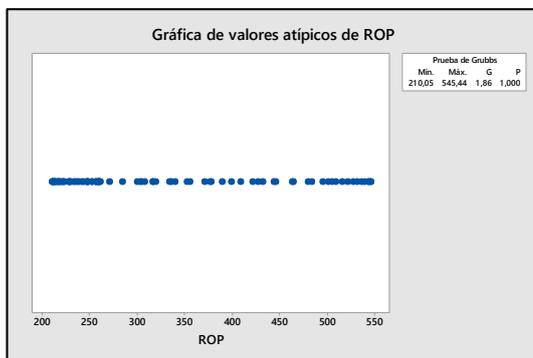
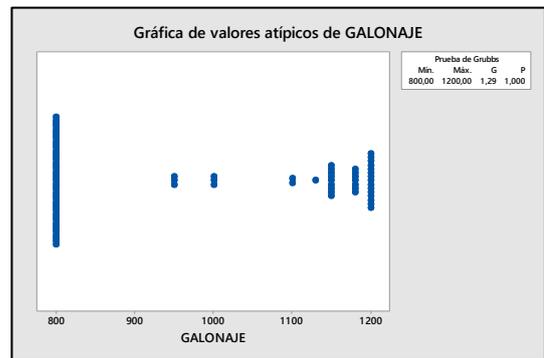
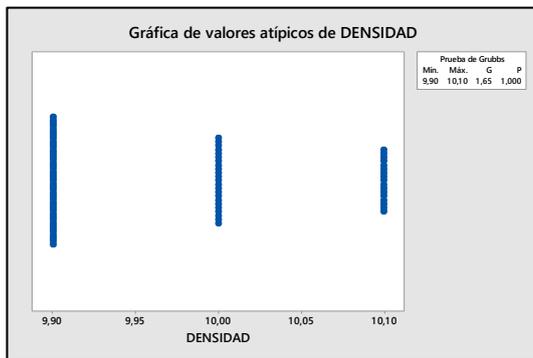
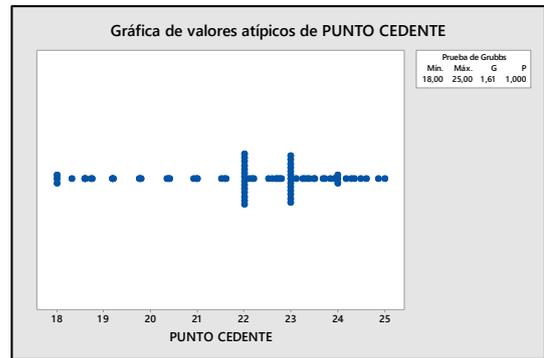
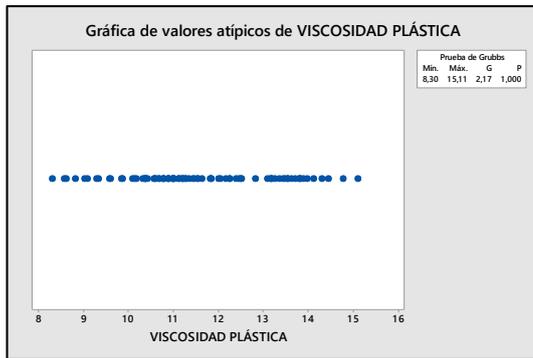
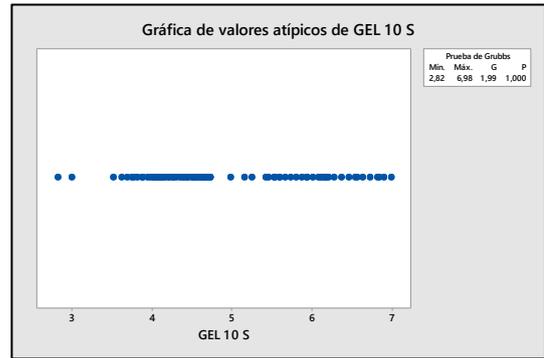
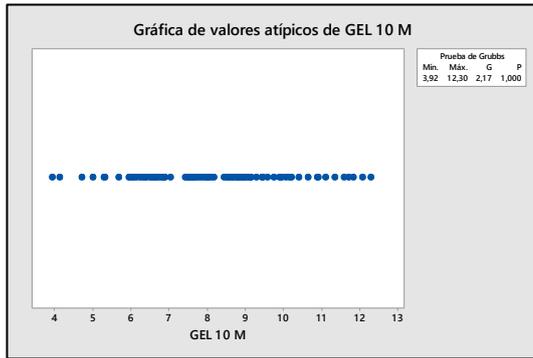
Prueba de valores atípicos: Valor más pequeño



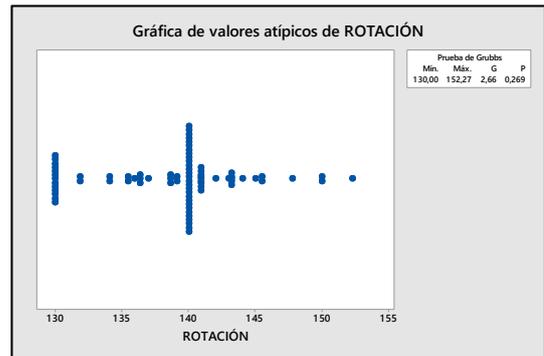
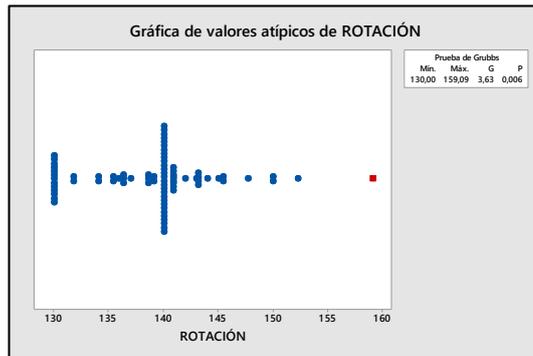


Prueba de valores atípicos: Valor más grande





COMENTARIO: Los datos más pequeños no son valores atípicos, solo el dato más grande de la variable ROTACIÓN es un valor atípico, este se elimina, se realiza nuevamente la prueba y se repite el proceso hasta ya no tener valores atípicos.



COMENTARIO: la última prueba muestra que ya no existen valores atípicos en ROTACIÓN

Matriz de correlación:

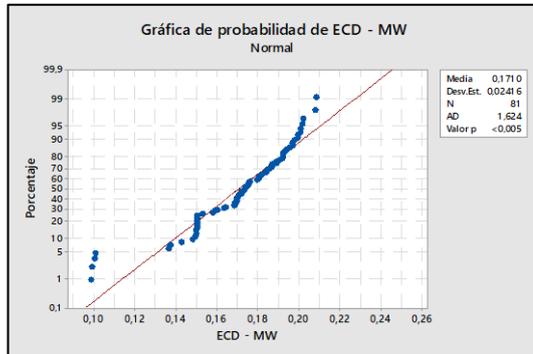
	ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD
ROP	-0,415	0,000		
GALONAJE	-0,319	0,779	0,004	0,000
DENSIDAD	-0,392	0,829	0,858	0,000
PUNTO CEDENTE	-0,091	-0,354	-0,511	-0,245
VISCOSIDAD PLÁST	0,420	0,001	0,000	0,027
GEL 10 S	0,095	-0,142	-0,025	0,119
GEL 10 M	0,400	0,207	0,825	0,288
GEL 30 M	0,281	0,057	0,076	0,082
	0,011	0,611	0,498	0,467
	0,841	-0,233	-0,199	-0,202
	0,000	0,036	0,075	0,071
	0,747	-0,125	-0,081	-0,080
	0,000	0,267	0,472	0,479

	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁST	GEL 10 S	GEL 10 M
VISCOSIDAD PLÁST	0,021	0,849		
GEL 10 S	-0,078	0,398	0,268	
GEL 10 M	0,491	0,000	0,016	0,928
GEL 30 M	-0,036	0,027	0,066	0,000
	0,747	0,811		
	0,090	-0,057		
	0,426	0,613		

Contenido de la celda
Rho de Spearman
Valor p

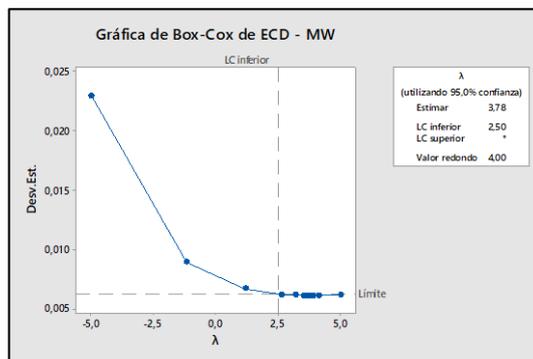
COMENTARIO: En la matriz de correlación, la densidad está correlacionada con ROP y Galonaje; mientras que Gel 10 M está correlacionado con Rotación y Gel 30 M con Gel 10 M.

Prueba de normalidad de la variable de respuesta



La gráfica muestra que el valor p es menor que el nivel de significancia de 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (los datos siguen una distribución normal) y se concluye que la variable de respuesta no sigue una distribución normal.

Transformación de Box-Cox

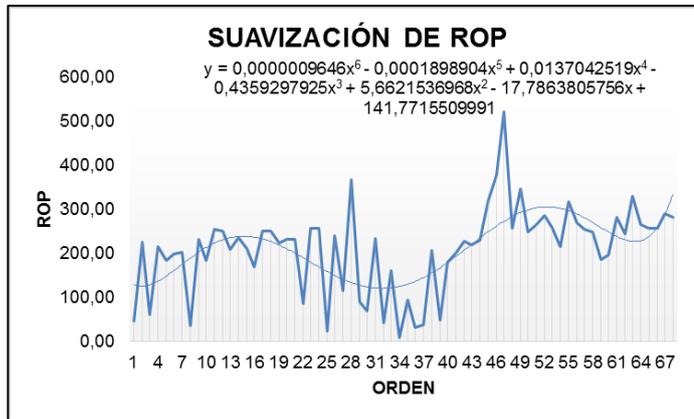


Aparece la siguiente gráfica en la que el lambda óptimo es 3.78 y el estimado es 4. Se utiliza el estimado de 4 para ajustar la variable de respuesta a una distribución normal, es decir, los valores de la variable de respuesta se elevarán a la cuarta potencia cuando

se analice el diseño de superficie de respuesta

FORMACIÓN TIYUYACU

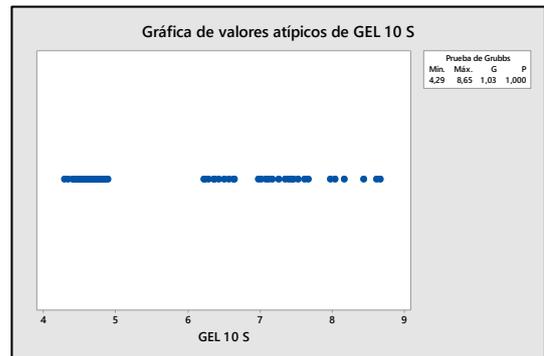
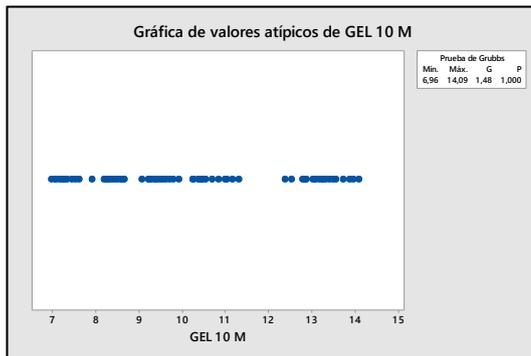
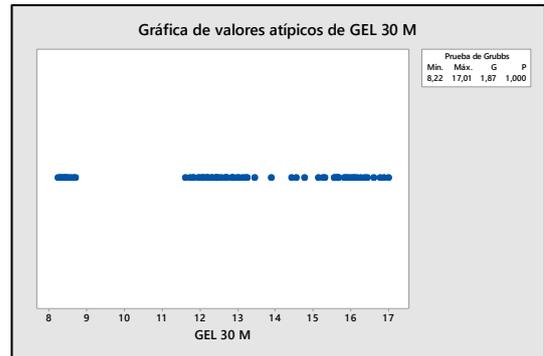
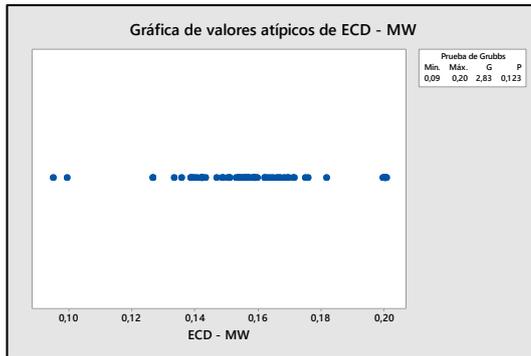
Suavización de ROP

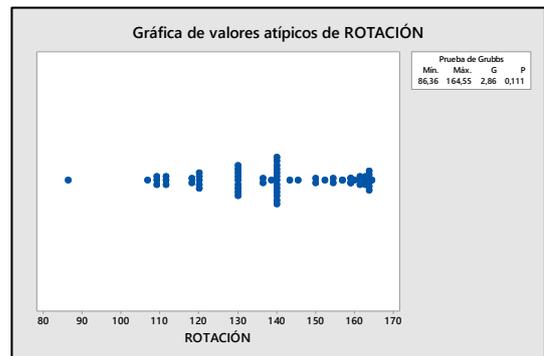
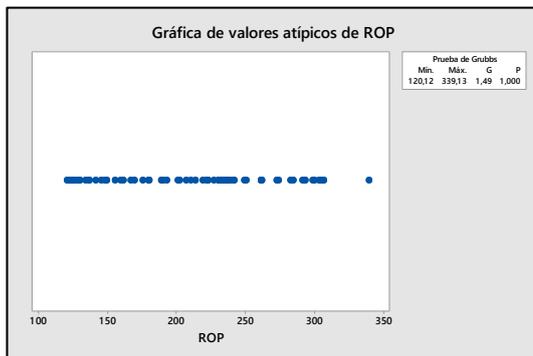
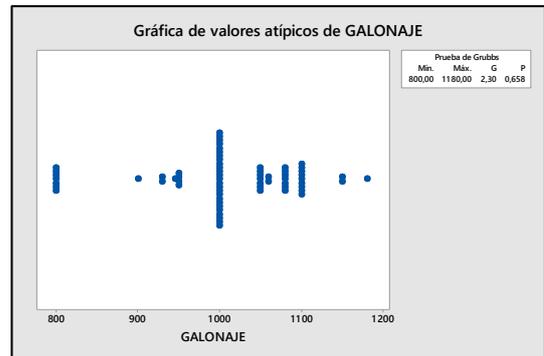
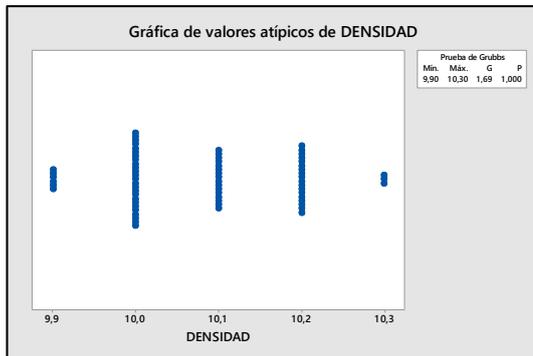
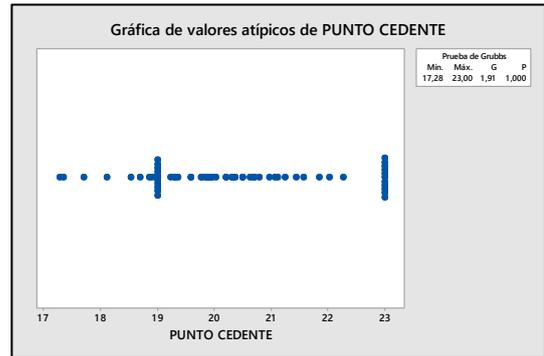
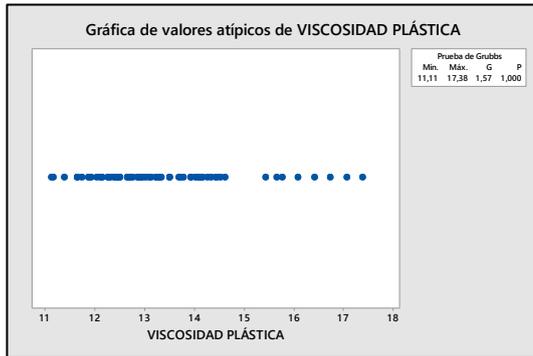


COMENTARIO:

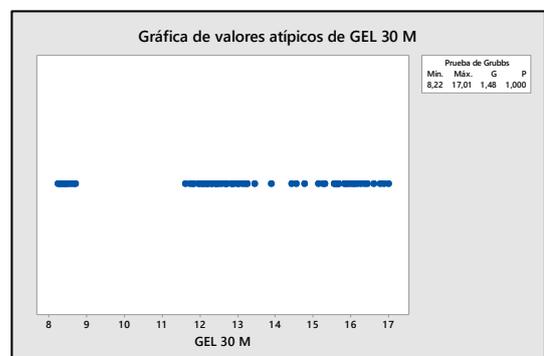
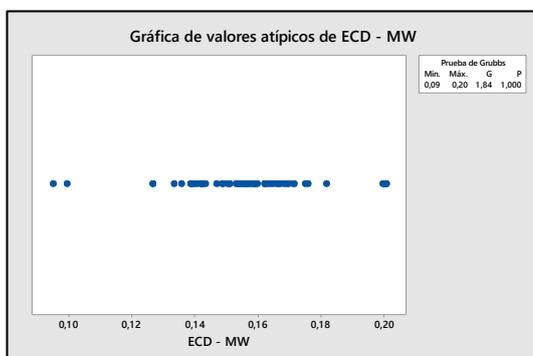
La gráfica de dispersión de ROP se suaviza con una ecuación polinómica de 6to orden

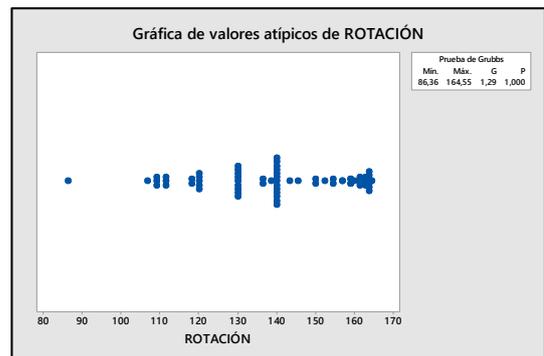
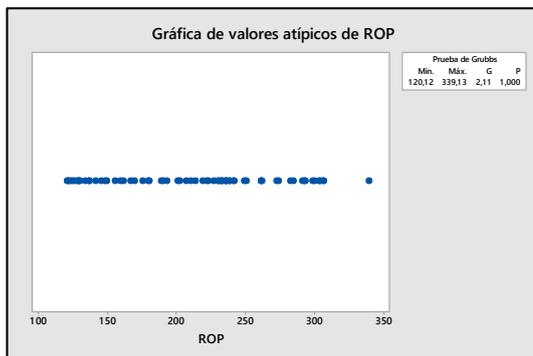
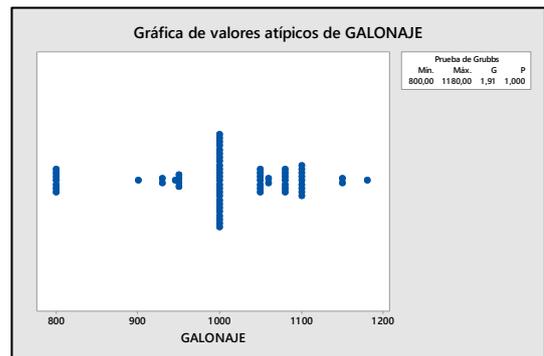
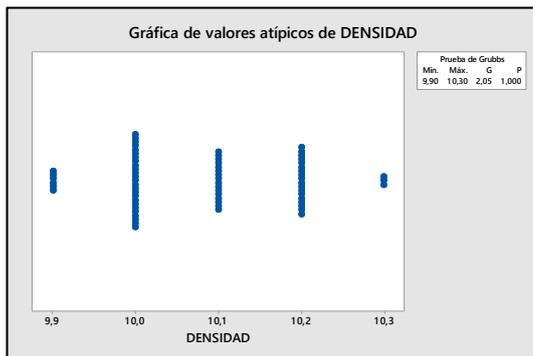
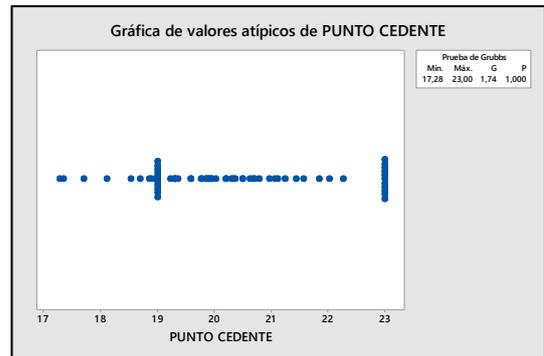
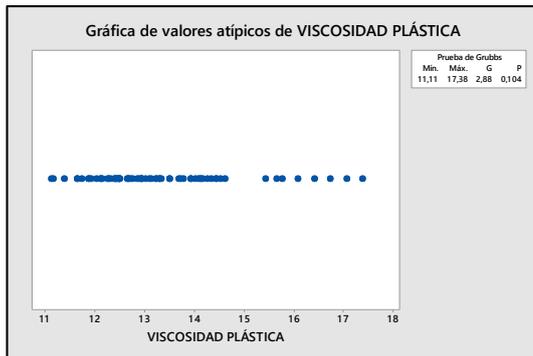
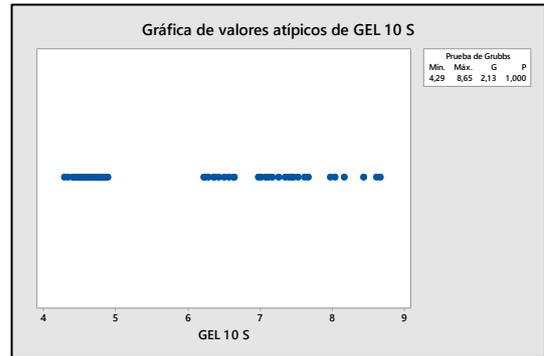
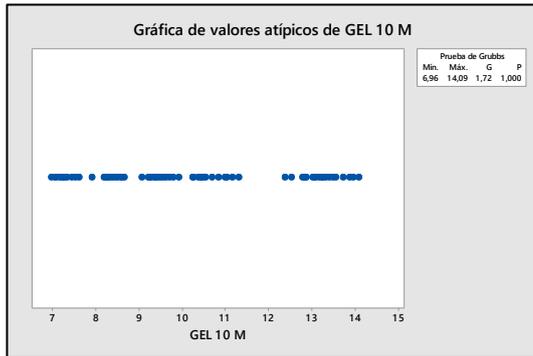
Prueba de valores atípicos: Valor más pequeño





Prueba de valores atípicos: Valor más grande





COMENTARIO: Los datos más pequeños ni los más grandes de cada variable no son valores atípicos.

Matriz de correlación:

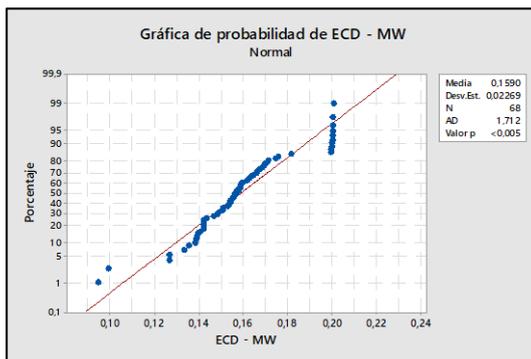
	ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD
ROP	-0,095			
	0,440			
GALONAJE	-0,268	0,717		
	0,027	0,000		
DENSIDAD	-0,181	0,664	0,645	
	0,139	0,000	0,000	
PUNTO CEDENTE	0,048	-0,120	-0,293	-0,265
	0,698	0,330	0,015	0,029
VISCOSIDAD PLÁST	-0,101	-0,090	0,157	0,411
	0,411	0,467	0,202	0,000
GEL 10 S	0,535	0,269	-0,004	0,174
	0,000	0,027	0,972	0,156
GEL 10 M	0,072	-0,763	-0,727	-0,524
	0,560	0,000	0,000	0,000
GEL 30 M	0,065	-0,599	-0,646	-0,494
	0,598	0,000	0,000	0,000

	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁST	GEL 10 S	GEL 10 M
VISCOSIDAD PLÁST	-0,152			
	0,216			
GEL 10 S	0,087	0,039		
	0,481	0,752		
GEL 10 M	0,200	-0,022	-0,167	
	0,102	0,857	0,174	
GEL 30 M	0,401	-0,237	-0,141	0,928
	0,001	0,052	0,251	0,000

Contenido de la celda
Rho de Spearman
Valor p

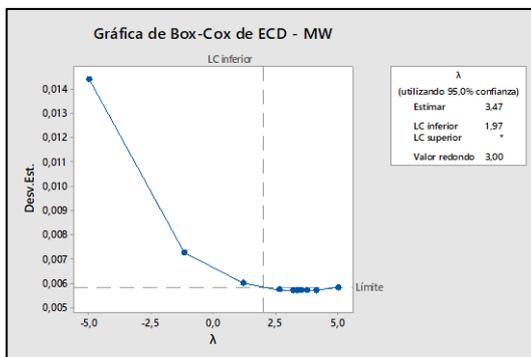
COMENTARIO: En la matriz de correlación, el Gel 30 M está correlacionado con Gel 10 M.

Prueba de normalidad de la variable de respuesta



La gráfica muestra que el valor p es menor que el nivel de significancia de 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (los datos siguen una distribución normal) y se concluye que la variable de respuesta no sigue una distribución normal.

Transformación de Box-Cox



Aparece la siguiente gráfica en la que el lambda óptimo es 3.47 y el estimado es 3. Se utiliza el estimado de 3 para ajustar la variable de respuesta a una distribución normal, es decir, los valores de la variable de respuesta se elevarán a la cuarta potencia cuando se analice el diseño de superficie de respuesta.

se analice el diseño de superficie de respuesta.

FORMACIÓN TENA

Prueba de valores atípicos: Valor más pequeño

Prueba de valores atípicos: Valor más grande

Esta se realizó manualmente analizando las curvas de dispersión.

Se eliminaron datos donde presentaban un bajo ROP y datos que presentaban ROTACIÓN por encima de 160 RPM.

Matriz de correlación:

Existen dos matrices de correlación debido a que se realizaron experimentos individuales de PROPIEDADES DE FLUIDO con variable de respuesta y PARÁMETROS DE PERFORACIÓN con variable de respuesta.

Correlaciones				
	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁST	GEL 10 S
PUNTO CEDENTE	0,316			
	0,116			
VISCOSIDAD PLÁST	0,706	0,040		
	0,000	0,846		
GEL 10 S	-0,564	-0,828	-0,404	
	0,003	0,000	0,041	
GEL 10 MIN	-0,798	-0,389	-0,223	0,480
	0,000	0,049	0,273	0,013
GEL 30 MIN	-0,664	-0,362	-0,036	0,443
	0,000	0,069	0,862	0,023
ECD - DENSIDAD D	0,285	0,970	-0,113	-0,767
	0,158	0,000	0,584	0,000

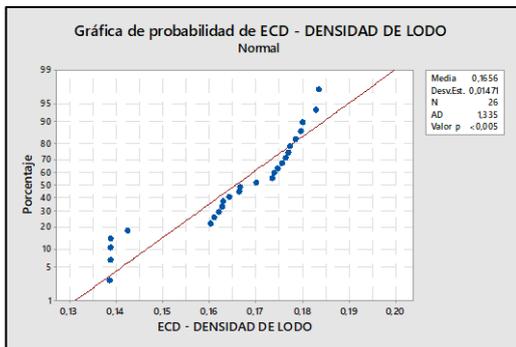
	GEL 10 MIN	GEL 30 MIN
GEL 30 MIN	0,881	
	0,000	
ECD - DENSIDAD D	-0,490	-0,451
	0,011	0,021

COMENTARIO: Notamos correlación entre Gel 10 S y Punto cedente, Gel 10 Min con Gel 30 Min.

Correlaciones			
	ROTACIÓN	ROP	GALONAJE
ROP	-0,023		
	0,911		
GALONAJE	-0,361	0,335	
	0,070	0,094	
ECD - DENSIDAD D	-0,750	0,456	0,250
	0,000	0,019	0,219

COMENTARIO: No existen correlaciones entre las variables.

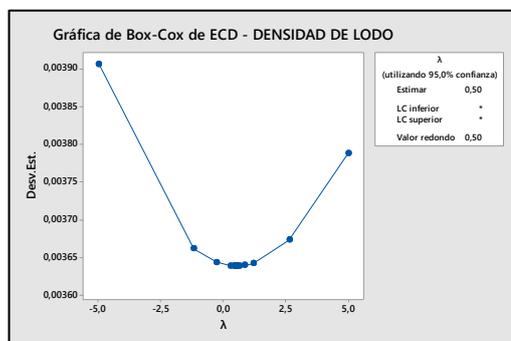
Prueba de normalidad de la variable de respuesta



distribución normal.

La gráfica muestra que el valor p es menor que el nivel de significancia de 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (los datos siguen una distribución normal) y se concluye que la variable de respuesta no sigue una

Transformación de Box-Cox



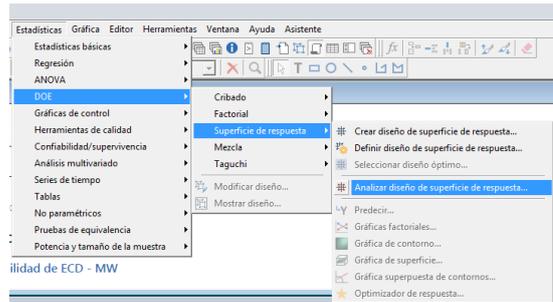
a la raíz cuadrada cuando se analice el diseño de superficie de respuesta

Aparece la siguiente gráfica en la que el lambda óptimo es 0.5 y el estimado es 0.5. Se utiliza el estimado de 0.5 para ajustar la variable de respuesta a una distribución normal, es decir, los valores de la variable de respuesta se elevarán

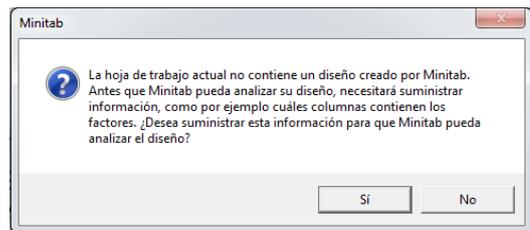
ANEXO E

PASOS PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DEL DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

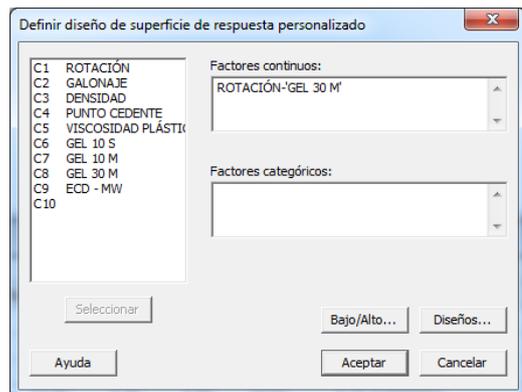
1. Dentro del menú ESTADÍSTICAS, se escoge DOE, luego SUPERFICIE DE RESPUESTA y por último ANALIZAR DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA, como se muestra en la figura.



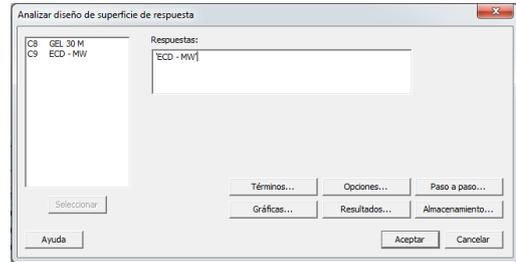
2. Aparece un cuadro en el que se marca SI



3. Aparece el siguiente cuadro, en el que se seleccionan los factores continuos e independientes, no existen factores categóricos.



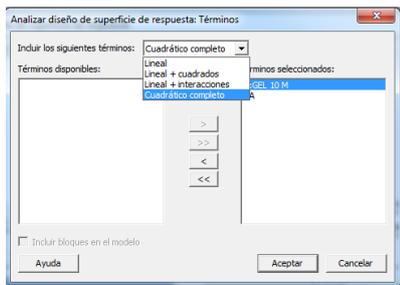
4. Una vez ingresados los factores, aparece otro cuadro para la variable de respuesta:



- En la parte inferior derecha del

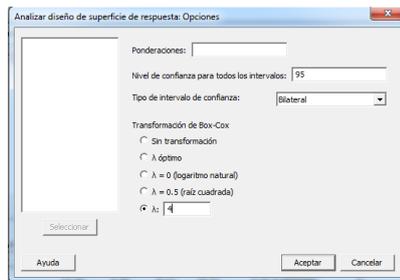
cuadro aparecen 6 pestañas: Términos, Opciones, Paso a paso, Gráficas, Resultados y Almacenamiento. En cada una de estas se hacen ciertas modificaciones como se detalla a continuación.

TÉRMINOS



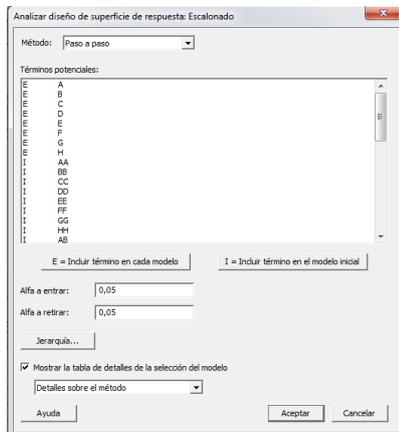
En la parte superior se observa que existen 4 formas diferentes de hacer el modelo, se empezará desde la última hasta llegar a la primera

OPCIONES



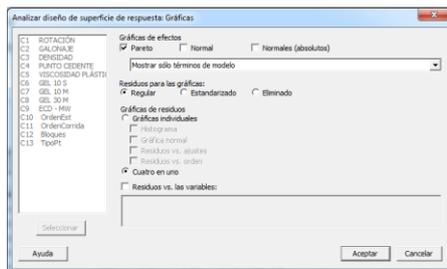
En este cuadro se ingresa el valor de lambda óptimo que se encontró con la transformación de Box-Cox

PASO A PASO



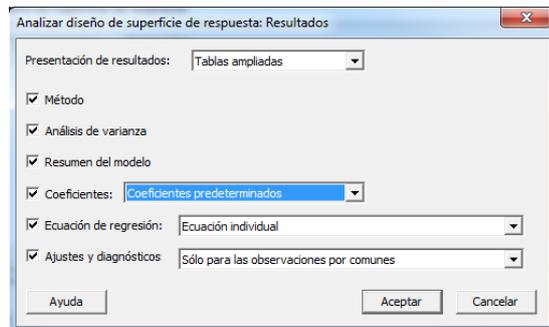
Se escoge el método PASO A PASO, los factores continuos se los incluye en cada modelo, los demás términos se incluyen en el modelo inicial; el alfa es 0.05 y lo demás se modifica a conveniencia

GRÁFICAS



Solo se indica que las gráficas de residuos aparezcan cuatro en uno

RESULTADOS



Se modifica la presentación de resultados en tablas ampliadas y la ecuación de regresión sea ecuación individual.

ALMACENAMIENTO

No se hacen modificaciones

ANEXO F

MODELOS DE REGRESIÓN POR CADA UNA DE LAS FORMACIONES

FORMACIÓN INDIFERENCIADO

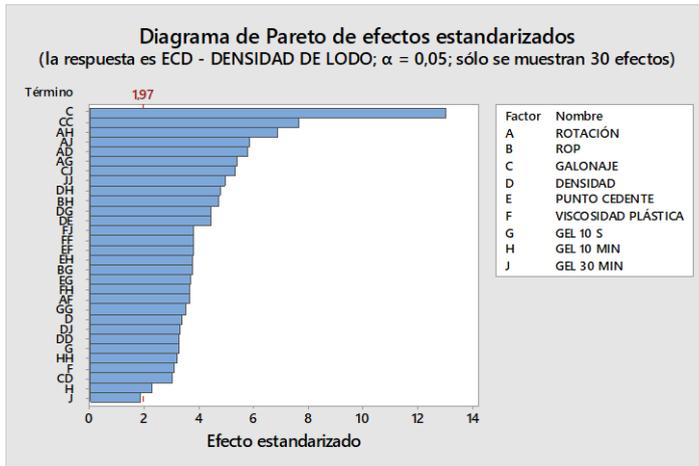
MODELO 1

Se realizó un modelo cuadrático completo con Paso a Paso a un valor p menor a 0,05 que incluye a los términos que cumplen la condición de valor p y además mantiene los términos lineales de cada factor. Se obtuvo un modelo con buenos valores de R^2 , R^2 (ajustado) y R^2 (predicción) que describen muy bien los datos.

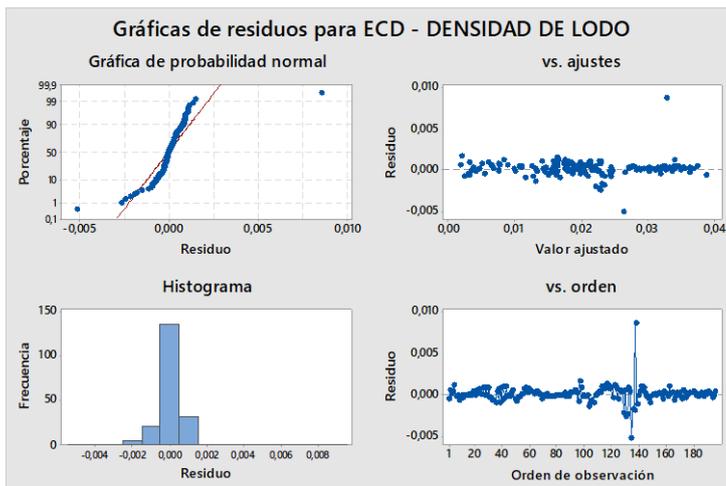
Resumen del modelo para respuesta transformada

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	PRESS	R-cuad. (pred)
0,0010282	98,82%	98,58%	0,0005581	96,14%

El diagrama de Pareto muestra que la mayoría de términos son significativos para la variable de respuesta y en el orden que se muestran los términos lineales son técnicamente correctos.



Las gráficas de Residuos muestran que los residuos son cercanos a cero pero no llevan una distribución normal de datos.



Los valores de FIV son muy altos, que indica la multicolinealidad de los términos con los demás. Esto hace un modelo poco estable que lo consideramos no ideal para el propósito del proyecto.

Término	Valor T	Valor p	FIV
Constante	5,01	0,000	
ROTACIÓN	0,42	0,671	3,86
ROP	1,15	0,253	13,70
GALONAJE	13,02	0,000	58,32
DENSIDAD	-3,40	0,001	128,22
PUNTO CEDENTE	1,02	0,309	2457,91
VISCOSIDAD PLÁSTICA	-3,06	0,003	15173,08
GEL 10 S	3,24	0,001	23917,62
GEL 10 MIN	-2,29	0,024	19679,66
GEL 30 MIN	-1,85	0,065	2652,76
GALONAJE*GALONAJE	7,64	0,000	14,00
DENSIDAD*DENSIDAD	3,26	0,001	38,22
VISCOSIDAD PLÁSTICA*VISCOSIDAD PLÁSTICA	-3,80	0,000	11219,19
GEL 10 S*GEL 10 S	3,51	0,001	105129,72
GEL 10 MIN*GEL 10 MIN	-3,20	0,002	31487,12
GEL 30 MIN*GEL 30 MIN	-4,96	0,000	6680,53
ROTACIÓN*DENSIDAD	5,77	0,000	19,57
ROTACIÓN*VISCOSIDAD PLÁSTICA	-3,64	0,000	32,95
ROTACIÓN*GEL 10 S	5,39	0,000	48,61
ROTACIÓN*GEL 10 MIN	-6,89	0,000	93,91
ROTACIÓN*GEL 30 MIN	5,86	0,000	73,49
ROP*GEL 10 S	3,73	0,000	31,03
ROP*GEL 10 MIN	-4,74	0,000	33,56
GALONAJE*DENSIDAD	3,04	0,003	113,76
GALONAJE*GEL 30 MIN	5,32	0,000	37,13
DENSIDAD*PUNTO CEDENTE	-4,41	0,000	61,01
DENSIDAD*GEL 10 S	4,42	0,000	96,89
DENSIDAD*GEL 10 MIN	-4,75	0,000	338,10
DENSIDAD*GEL 30 MIN	3,29	0,001	201,08
PUNTO CEDENTE*VISCOSIDAD PLÁSTICA	3,77	0,000	15834,93
PUNTO CEDENTE*GEL 10 S	-3,69	0,000	202914,93
PUNTO CEDENTE*GEL 10 MIN	3,74	0,000	107209,90
VISCOSIDAD PLÁSTICA*GEL 10 MIN	-3,67	0,000	14679,19
VISCOSIDAD PLÁSTICA*GEL 30 MIN	3,81	0,000	11644,05

Los valores P son muy altos para Rotación y Punto cedente, lo que es técnicamente falso. Esto puede deberse a que se corrió el modelo con todos los factores, sin considerar que ciertos factores están correlacionados, esto hace que el modelo sea poco confiable.

Fuente	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	0,000433	409,99	0,000
Lineal	0,000084	79,27	0,000
ROTACIÓN	0,000000	0,18	0,671
ROP	0,000001	1,31	0,253
GALONAJE	0,000179	169,53	0,000
DENSIDAD	0,000012	11,55	0,001
PUNTO CEDENTE	0,000001	1,04	0,309
VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,000010	9,38	0,003
GEL 10 S	0,000011	10,50	0,001
GEL 10 MIN	0,000006	5,22	0,024
GEL 30 MIN	0,000004	3,44	0,065
Cuadrado	0,000015	14,13	0,000
GALONAJE*GALONAJE	0,000062	58,38	0,000
DENSIDAD*DENSIDAD	0,000011	10,65	0,001
VISCOSIDAD PLÁSTICA*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,000015	14,48	0,000
GEL 10 S*GEL 10 S	0,000013	12,30	0,001
GEL 10 MIN*GEL 10 MIN	0,000011	10,23	0,002
GEL 30 MIN*GEL 30 MIN	0,000026	24,57	0,000
Interacción de 2 factores	0,000008	7,85	0,000
ROTACIÓN*DENSIDAD	0,000035	33,28	0,000
ROTACIÓN*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,000014	13,22	0,000
ROTACIÓN*GEL 10 S	0,000031	29,06	0,000
ROTACIÓN*GEL 10 MIN	0,000050	47,51	0,000
ROTACIÓN*GEL 30 MIN	0,000036	34,30	0,000
ROP*GEL 10 S	0,000015	13,92	0,000
ROP*GEL 10 MIN	0,000024	22,45	0,000
GALONAJE*DENSIDAD	0,000010	9,27	0,003
GALONAJE*GEL 30 MIN	0,000030	28,33	0,000
DENSIDAD*PUNTO CEDENTE	0,000021	19,42	0,000
DENSIDAD*GEL 10 S	0,000021	19,51	0,000
DENSIDAD*GEL 10 MIN	0,000024	22,60	0,000
DENSIDAD*GEL 30 MIN	0,000011	10,85	0,001
PUNTO CEDENTE*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,000015	14,20	0,000
PUNTO CEDENTE*GEL 10 S	0,000014	13,61	0,000
PUNTO CEDENTE*GEL 10 MIN	0,000015	13,96	0,000
VISCOSIDAD PLÁSTICA*GEL 10 MIN	0,000014	13,46	0,000
VISCOSIDAD PLÁSTICA*GEL 30 MIN	0,000015	14,52	0,000
Error	0,000001		
Total			

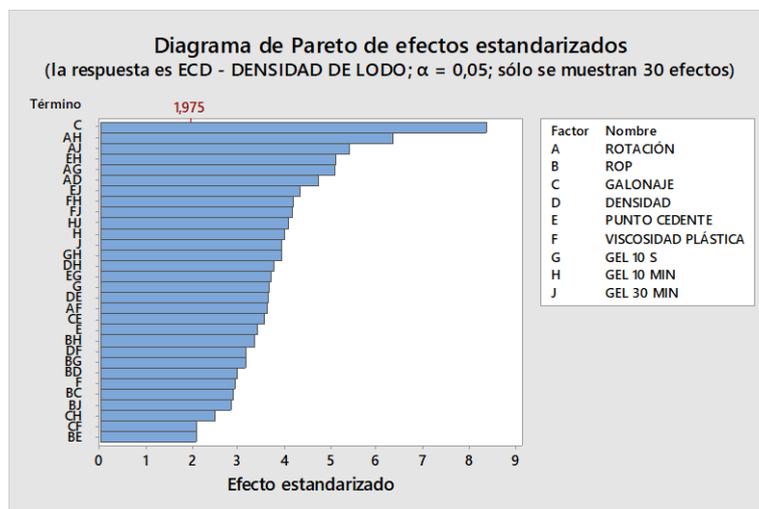
MODELO 2

Se realizó un modelo lineal + interacciones con Paso a Paso a un valor p menor a 0,05 que incluye a los términos que cumplen la condición de valor p y además mantiene los términos lineales de cada factor. Se obtuvo un modelo con buenos valores de R^2 , R^2 (ajustado) y R^2 (predicción) que describen muy bien los datos, pero que son menores a los del modelo anterior.

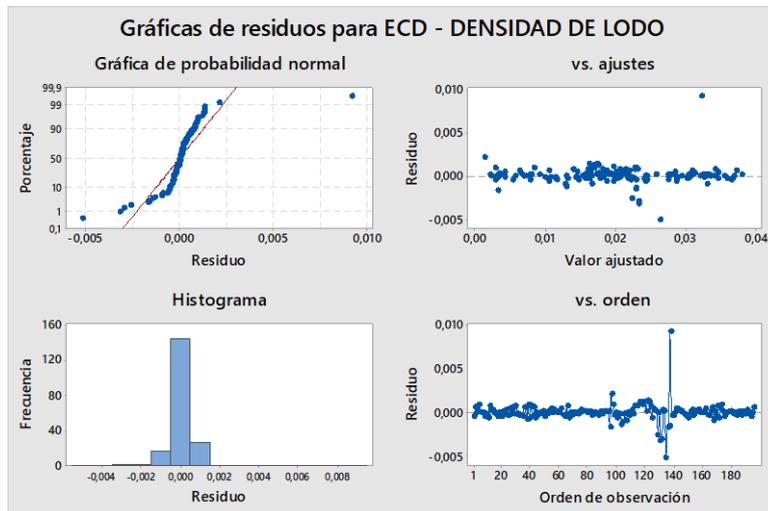
Resumen del modelo para respuesta transformada

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	PRESS	R-cuad. (pred)
0,0010754	98,71%	98,44%	0,0006057	95,82%

El diagrama de Pareto es mejor que el anterior, con todos los términos significativos y técnicamente correctos hasta cierto punto.



La gráfica de residuos posee residuos muy agrupados a cero y de manera aleatoria pero no posee una distribución normal.



Podemos notar que los valores FIV son muy altos, es decir, que continúan con alta multicolinealidad.

Término	Valor p	FIV
Constante	0,324	
ROTACIÓN	0,333	4,64
ROP	0,458	35,48
GALONAJE	0,000	246,28
DENSIDAD	0,167	64,81
PUNTO CEDENTE	0,001	1136,82
VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,004	3732,60
GEL 10 S	0,000	13434,92
GEL 10 MIN	0,000	41095,72
GEL 30 MIN	0,000	21510,77
ROTACIÓN*DENSIDAD	0,000	20,06
ROTACIÓN*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,000	45,87
ROTACIÓN*GEL 10 S	0,000	60,06
ROTACIÓN*GEL 10 MIN	0,000	97,65
ROTACIÓN*GEL 30 MIN	0,000	79,84
ROP*GALONAJE	0,004	40,99
ROP*DENSIDAD	0,003	33,14
ROP*PUNTO CEDENTE	0,038	124,82
ROP*GEL 10 S	0,002	63,73
ROP*GEL 10 MIN	0,001	153,03
ROP*GEL 30 MIN	0,005	36,67
GALONAJE*PUNTO CEDENTE	0,000	288,27
GALONAJE*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,038	421,14
GALONAJE*GEL 10 S	0,040	1177,51
GALONAJE*GEL 10 MIN	0,014	362,77
DENSIDAD*PUNTO CEDENTE	0,000	29,86
DENSIDAD*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,002	46,56
DENSIDAD*GEL 10 MIN	0,000	20,89
PUNTO CEDENTE*GEL 10 S	0,000	23047,29
PUNTO CEDENTE*GEL 10 MIN	0,000	7214,94
PUNTO CEDENTE*GEL 30 MIN	0,000	58348,00
VISCOSIDAD PLÁSTICA*GEL 10 MIN	0,000	25710,48
VISCOSIDAD PLÁSTICA*GEL 30 MIN	0,000	53906,28
GEL 10 S*GEL 10 MIN	0,000	28476,91
GEL 10 MIN*GEL 30 MIN	0,000	19761,78

Los valores p de los términos lineales de ROP, rotación y densidad siguen alto, por lo que el modelo sugiere que sean eliminados ya que no tienen mucha significancia. Recordamos que en este modelo aún se tienen a todos los factores sin considerar la correlación que hay entre ellos.

Fuente	Valor F	Valor p
Modelo	363,35	0,000
Lineal	99,51	0,000
ROTACIÓN	0,94	0,333
ROP	0,55	0,458
GALONAJE	69,98	0,000
DENSIDAD	1,93	0,167
PUNTO CEDENTE	11,73	0,001
VISCOSIDAD PLÁSTICA	8,59	0,004
GEL 10 S	13,48	0,000
GEL 10 MIN	15,93	0,000
GEL 30 MIN	15,45	0,000
Interacción de 2 factores	18,56	0,000
ROTACIÓN*DENSIDAD	22,48	0,000
ROTACIÓN*VISCOSIDAD PLÁSTICA	13,11	0,000
ROTACIÓN*GEL 10 S	25,84	0,000
ROTACIÓN*GEL 10 MIN	40,42	0,000
ROTACIÓN*GEL 30 MIN	29,10	0,000
ROP*GALONAJE	8,34	0,004
ROP*DENSIDAD	8,97	0,003
ROP*PUNTO CEDENTE	4,35	0,038
ROP*GEL 10 S	9,92	0,002
ROP*GEL 10 MIN	11,28	0,001
ROP*GEL 30 MIN	8,04	0,005
GALONAJE*PUNTO CEDENTE	12,73	0,000
GALONAJE*VISCOSIDAD PLÁSTICA	4,37	0,038
GALONAJE*GEL 10 S	4,27	0,040
GALONAJE*GEL 10 MIN	6,18	0,014
DENSIDAD*PUNTO CEDENTE	13,28	0,000
DENSIDAD*VISCOSIDAD PLÁSTICA	9,99	0,002
DENSIDAD*GEL 10 MIN	14,22	0,000
PUNTO CEDENTE*GEL 10 S	13,74	0,000
PUNTO CEDENTE*GEL 10 MIN	26,23	0,000
PUNTO CEDENTE*GEL 30 MIN	18,86	0,000
VISCOSIDAD PLÁSTICA*GEL 10 MIN	17,66	0,000
VISCOSIDAD PLÁSTICA*GEL 30 MIN	17,29	0,000
GEL 10 S*GEL 10 MIN	15,41	0,000
GEL 10 MIN*GEL 30 MIN	16,66	0,000
Error		
Total		

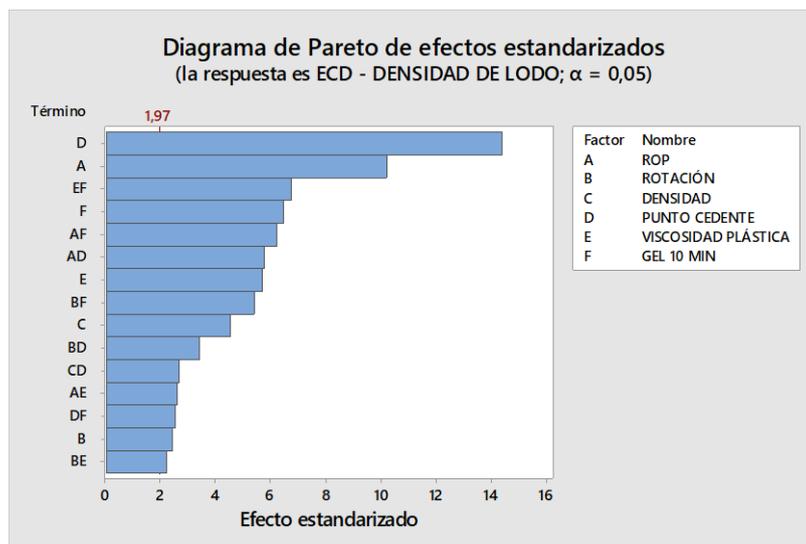
MODELO 3

Se realizó un modelo lineal + interacciones con Paso a Paso a un valor p menor a 0,05 que incluye a los términos que cumplen la condición de valor p y además mantiene los términos lineales de cada factor. Se obtuvo un modelo con buenos valores de R^2 , R^2 (ajustado) y R^2 (predicción) que describen muy bien los datos, pero que son menores a los del modelo anterior.

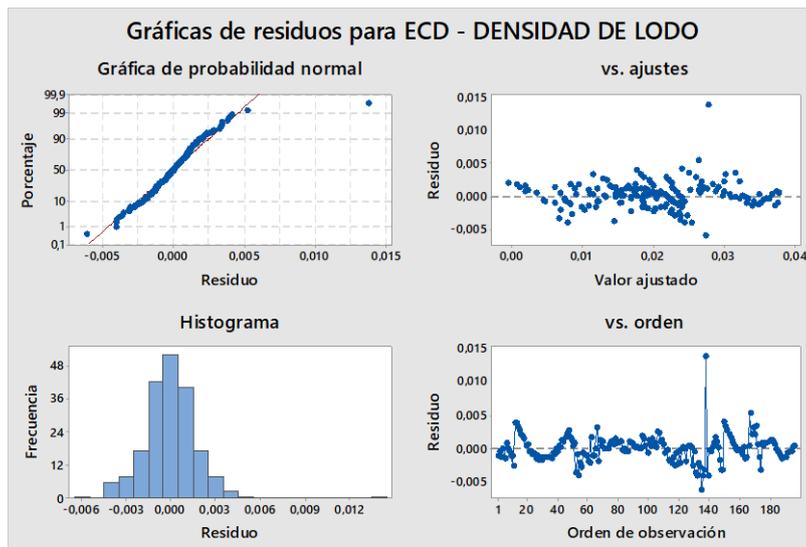
Resumen del modelo para respuesta transformada

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0020403	94,82%	94,39%	92,86%

El diagrama de Pareto nos muestra una mejor significación jerárquica de los factores que intervienen en la limpieza de hoyo en pozos de bajo ángulo. Además, todos los términos son significantes a la variable de respuesta.



Notamos cómo ha mejorado la tendencia a una distribución normal de los residuos. Los valores de residuos siguen una aleatoriedad y muy cercanos a cero.



Son muy buenos los valores p de todos los términos de la regresión, lo que nos garantiza que todos tienen significancia en la variable de respuesta y no se requiere eliminar a ninguno de ellos para una nueva corrida.

Análisis de varianza para respuesta transformada

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	0,013724	0,000915	219,79	0,000
Lineal	6	0,004532	0,000755	181,44	0,000
ROP	1	0,000433	0,000433	103,97	0,000
ROTACIÓN	1	0,000025	0,000025	5,99	0,015
DENSIDAD	1	0,000085	0,000085	20,47	0,000
PUNTO CEDENTE	1	0,000868	0,000868	208,41	0,000
VISCOSIDAD PLÁSTICA	1	0,000137	0,000137	32,88	0,000
GEL 10 MIN	1	0,000175	0,000175	42,04	0,000
Interacción de 2 factores	9	0,000623	0,000069	16,63	0,000
ROP*PUNTO CEDENTE	1	0,000138	0,000138	33,13	0,000
ROP*VISCOSIDAD PLÁSTICA	1	0,000028	0,000028	6,73	0,010
ROP*GEL 10 MIN	1	0,000161	0,000161	38,57	0,000
ROTACIÓN*PUNTO CEDENTE	1	0,000049	0,000049	11,73	0,001
ROTACIÓN*VISCOSIDAD PLÁSTICA	1	0,000021	0,000021	5,02	0,026
ROTACIÓN*GEL 10 MIN	1	0,000122	0,000122	29,36	0,000
DENSIDAD*PUNTO CEDENTE	1	0,000030	0,000030	7,28	0,008
PUNTO CEDENTE*GEL 10 MIN	1	0,000027	0,000027	6,40	0,012
VISCOSIDAD PLÁSTICA*GEL 10 MIN	1	0,000188	0,000188	45,24	0,000
Error	180	0,000749	0,000004		
Total	195	0,014474			

Finalmente vemos como se reduce la multicolinealidad de los términos con FIV's bajos, para asegurar un modelo estable.

Coefficientes codificados para respuesta transformada

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	0,022244	0,000321	69,38	0,000	
ROP	0,006194	0,000607	10,20	0,000	2,55
ROTACIÓN	0,001228	0,000502	2,45	0,015	2,62
DENSIDAD	0,002421	0,000535	4,52	0,000	2,45
PUNTO CEDENTE	0,013436	0,000931	14,44	0,000	10,65
VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,003171	0,000553	5,73	0,000	5,71
GEL 10 MIN	-0,00662	0,00102	-6,48	0,000	10,14
ROP*PUNTO CEDENTE	-0,00994	0,00173	-5,76	0,000	5,92
ROP*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,00328	0,00126	2,59	0,010	3,54
ROP*GEL 10 MIN	0,01119	0,00180	6,21	0,000	4,91
ROTACIÓN*PUNTO CEDENTE	0,00643	0,00188	3,42	0,001	13,60
ROTACIÓN*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,001638	0,000731	2,24	0,026	3,51
ROTACIÓN*GEL 10 MIN	-0,00994	0,00183	-5,42	0,000	10,62
DENSIDAD*PUNTO CEDENTE	-0,00362	0,00134	-2,70	0,008	2,18
PUNTO CEDENTE*GEL 10 MIN	0,00449	0,00177	2,53	0,012	8,73
VISCOSIDAD PLÁSTICA*GEL 10 MIN	-0,00966	0,00144	-6,73	0,000	7,61

La formación utilizará este modelo para la optimización de la variable de respuesta.

ANEXO G

FORMACIÓN ORTEGUAZA

MODELO 1: CUADRÁTICO COMPLETO

Coefficientes codificados para respuesta transformada

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-50,908	0,173	-293,58	0,000	
ROTACIÓN	2,062	0,468	4,41	0,000	1476278,41
ROP	-0,02399	0,00807	-2,97	0,005	999,63
GALONAJE	0,632	0,131	4,83	0,000	458421,35
PUNTO CEDENTE	1,099	0,238	4,63	0,000	511188,23
VISCOSIDAD PLÁSTICA	-1,313	0,281	-4,68	0,000	566539,84
GEL 10 S	-1,463	0,344	-4,25	0,000	920875,95
GEL 10 M	-2,379	0,682	-3,49	0,001	3115140,82
ROTACIÓN*ROTACIÓN	0,00423	0,00310	1,36	0,180	44,59
ROP*ROP	-0,00111	0,00690	-0,16	0,873	176,97
GALONAJE*GALONAJE	0,0019	0,0157	0,12	0,904	686,77
PUNTO CEDENTE*PUNTO CEDENTE	-0,0699	0,0362	-1,93	0,060	3473,99
VISCOSIDAD PLÁSTICA*VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,184	0,134	-1,38	0,174	36618,21
GEL 10 S*GEL 10 S	0,0306	0,0885	0,35	0,731	17265,63
GEL 10 M*GEL 10 M	-0,511	0,366	-1,40	0,169	283668,90
ROTACIÓN*ROP	0,0056	0,0229	0,24	0,808	1594,06
ROTACIÓN*GALONAJE	2,065	0,476	4,34	0,000	1244446,23
ROTACIÓN*PUNTO CEDENTE	0,0194	0,0166	1,17	0,248	641,97
ROTACIÓN*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,0154	0,0255	0,61	0,548	398,26
ROTACIÓN*GEL 10 S	-0,0096	0,0167	-0,57	0,570	391,54
ROTACIÓN*GEL 10 M	-0,00010	0,00249	-0,04	0,968	8,88
ROP*GALONAJE	-0,00043	0,00573	-0,07	0,941	216,94
ROP*PUNTO CEDENTE	0,00757	0,00669	1,13	0,264	187,51
ROP*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,0314	0,0112	2,81	0,007	576,51
ROP*GEL 10 S	0,0323	0,0131	2,47	0,017	885,04
ROP*GEL 10 M	-0,0520	0,0251	-2,07	0,044	2219,78
GALONAJE*PUNTO CEDENTE	1,008	0,223	4,52	0,000	269336,30
GALONAJE*VISCOSIDAD PLÁSTICA	-1,161	0,254	-4,57	0,000	351741,59
GALONAJE*GEL 10 S	-1,226	0,246	-4,99	0,000	442869,32
GALONAJE*GEL 10 M	-2,623	0,678	-3,87	0,000	2787048,69
PUNTO CEDENTE*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,169	0,110	1,54	0,132	23746,49
PUNTO CEDENTE*GEL 10 S	0,0850	0,0801	1,06	0,294	9084,27
PUNTO CEDENTE*GEL 10 M	-0,0207	0,0735	-0,28	0,780	8506,56
VISCOSIDAD PLÁSTICA*GEL 10 S	-0,1131	0,0915	-1,24	0,223	14851,17
VISCOSIDAD PLÁSTICA*GEL 10 M	0,772	0,453	1,70	0,095	170788,50
GEL 10 S*GEL 10 M	0,058	0,121	0,48	0,637	27981,73

En este modelo existe elevada multicolinealidad, se realizará nuevamente el modelo sin los términos que tienen los más altos valores de FIV

MODELO 2: CUADRÁTICO COMPLETO SIN TÉRMINOS DE ALTO VALOR DE FIV

Coefficientes codificados para respuesta transformada

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-51,6651	0,0039	-13208,44	0,000	
ROTACIÓN	-0,01040	0,00858	-1,21	0,230	177,56
ROP	-0,01827	0,00348	-5,25	0,000	66,22
GALONAJE	0,02212	0,00178	12,39	0,000	30,37
PUNTO CEDENTE	0,04012	0,00395	10,15	0,000	50,50
VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,00994	0,00667	-1,49	0,142	114,31
GEL 10 S	0,00260	0,00550	0,47	0,638	83,85
GEL 10 M	0,02449	0,00975	2,51	0,015	227,48
ROTACIÓN*ROTACIÓN	-0,00077	0,00376	-0,20	0,839	23,32
ROP*ROP	-0,00694	0,00195	-3,55	0,001	5,08
GALONAJE*GALONAJE	-0,02686	0,00308	-8,71	0,000	9,52
PUNTO CEDENTE*PUNTO CEDENTE	0,00047	0,00229	0,21	0,838	4,96
ROTACIÓN*ROP	-0,0155	0,0103	-1,50	0,139	115,57
ROTACIÓN*PUNTO CEDENTE	-0,01223	0,00300	-4,08	0,000	7,53
ROTACIÓN*VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,0041	0,0140	-0,29	0,769	42,72
ROTACIÓN*GEL 10 S	-0,00343	0,00855	-0,40	0,690	36,58
ROTACIÓN*GEL 10 M	0,00199	0,00304	0,66	0,514	4,74
ROP*GALONAJE	0,00813	0,00240	3,39	0,001	13,56
ROP*PUNTO CEDENTE	-0,00549	0,00404	-1,36	0,179	24,49
ROP*VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,00060	0,00430	-0,14	0,890	30,55
ROP*GEL 10 S	0,00230	0,00954	0,24	0,810	167,91
ROP*GEL 10 M	0,0412	0,0129	3,19	0,002	209,36

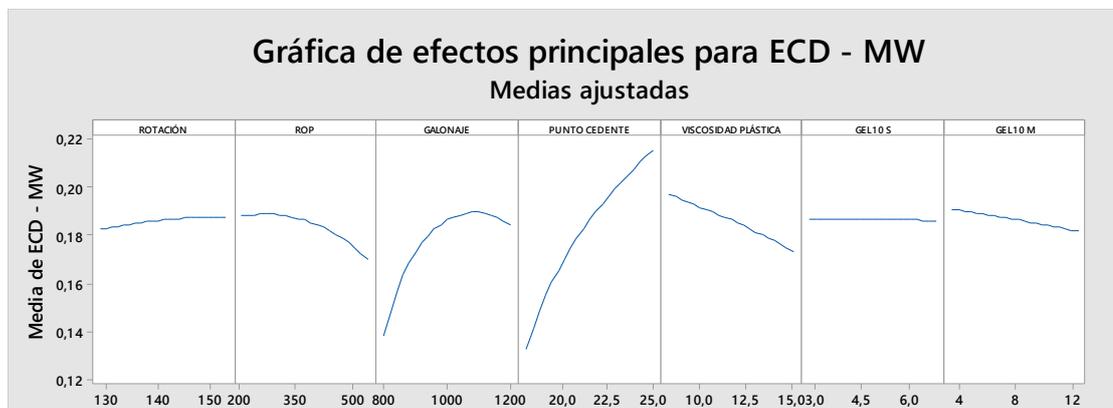
Se redujeron los valores de FIV considerablemente, sin embargo se hará un nuevo modelo sin los términos cuyos valores de FIV son mayores a 100

MODELO 3: CUADRÁTICO COMPLETO SIN TÉRMINOS CUYOS VALORES DE FIV SON MAYORES A 100

Coeficientes codificados para respuesta transformada

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-51,6626	0,0020	-25920,46	0,000	
ROTACIÓN	0,00318	0,00145	2,19	0,032	4,45
ROP	-0,01098	0,00188	-5,86	0,000	16,96
GALONAJE	0,02056	0,00151	13,62	0,000	19,13
PUNTO CEDENTE	0,04813	0,00163	29,59	0,000	7,53
VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,01567	0,00174	-8,98	0,000	6,88
GEL 10 S	-0,00006	0,00265	-0,02	0,984	17,22
GEL 10 M	-0,00595	0,00183	-3,26	0,002	7,01
ROTACIÓN*ROTACIÓN	-0,00124	0,00245	-0,51	0,615	8,70
ROP*ROP	-0,00876	0,00199	-4,40	0,000	4,64
GALONAJE*GALONAJE	-0,02331	0,00297	-7,86	0,000	7,74
PUNTO CEDENTE*PUNTO CEDENTE	0,00136	0,00202	0,67	0,504	3,38
ROTACIÓN*PUNTO CEDENTE	-0,01303	0,00316	-4,12	0,000	7,35
ROTACIÓN*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,01357	0,00906	1,50	0,139	15,83
ROTACIÓN*GEL 10 S	-0,01335	0,00723	-1,84	0,070	23,05
ROTACIÓN*GEL 10 M	0,00003	0,00304	0,01	0,991	4,19
ROP*GALONAJE	0,00559	0,00234	2,38	0,020	11,41
ROP*PUNTO CEDENTE	0,00078	0,00223	0,35	0,729	6,54
ROP*VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,00931	0,00315	-2,96	0,004	14,41

Se redujeron los valores de FIV, se hará una gráfica de efectos principales:

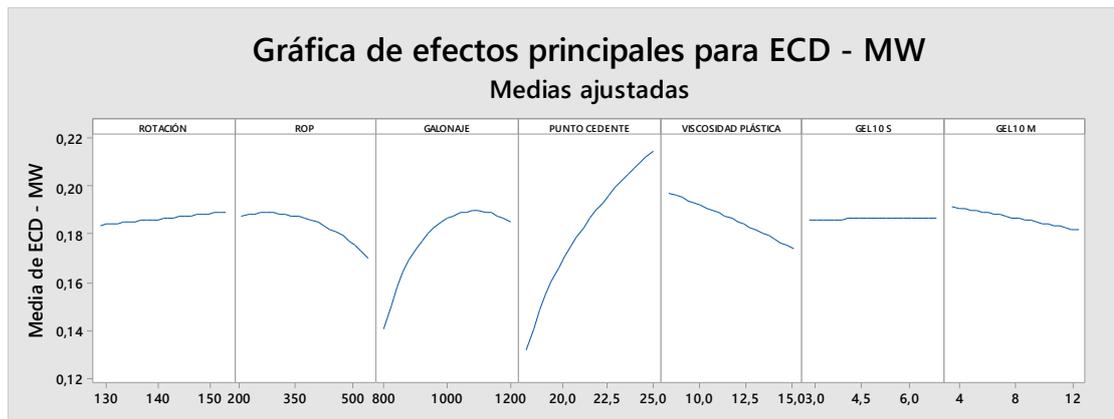


Los efectos principales de las variables son contrarios al fundamento teórico

MODELO 4: CUADRÁTICO COMPLETO CON LOS TÉRMINOS MÁS SIGNIFICATIVOS DEL MODELO 3

Coeficientes codificados para respuesta transformada

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-51,6623	0,0017	-30915,22	0,000	
ROTACIÓN	0,00349	0,00112	3,11	0,003	2,80
ROP	-0,01045	0,00160	-6,54	0,000	12,98
GALONAJE	0,02025	0,00133	15,21	0,000	15,67
PUNTO CEDENTE	0,04745	0,00124	38,41	0,000	4,58
VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,01564	0,00167	-9,35	0,000	6,67
GEL 10 S	0,00073	0,00197	0,37	0,713	10,00
GEL 10 M	-0,00634	0,00119	-5,32	0,000	3,15
ROP*ROP	-0,00883	0,00185	-4,77	0,000	4,23
GALONAJE*GALONAJE	-0,02268	0,00268	-8,48	0,000	6,64
ROTACIÓN*PUNTO CEDENTE	-0,01377	0,00236	-5,84	0,000	4,31
ROTACIÓN*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,01496	0,00730	2,05	0,044	10,82
ROTACIÓN*GEL 10 S	-0,01573	0,00411	-3,82	0,000	7,85
ROP*GALONAJE	0,00491	0,00210	2,34	0,022	9,66
ROP*VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,00789	0,00200	-3,94	0,000	6,13

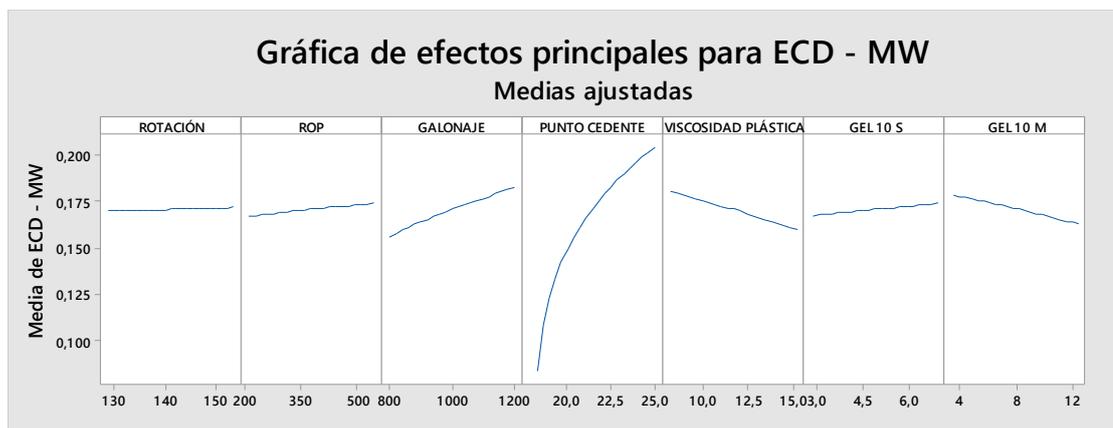


Nuevamente los efectos principales contradicen la teoría, se hará un modelo lineal

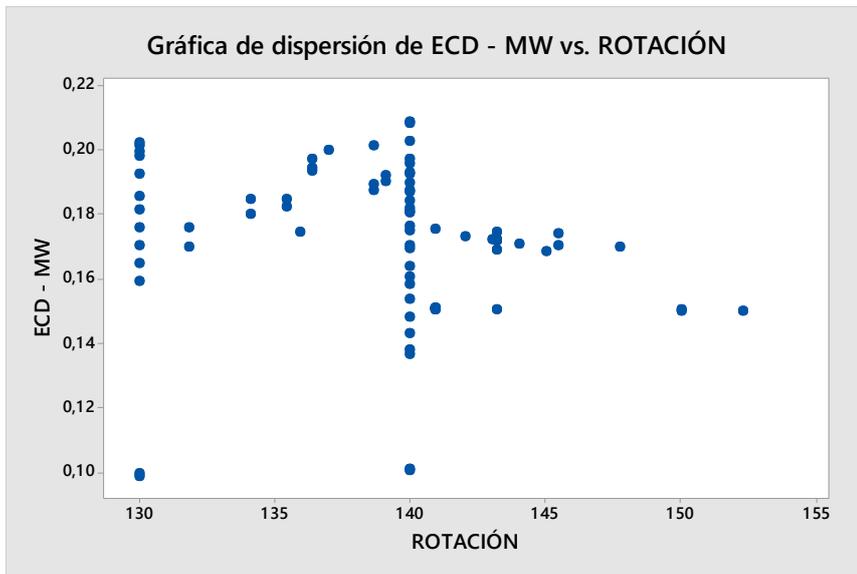
MODELO 5: LINEAL

Coefficientes codificados para respuesta transformada

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-51,6810	0,0009	-60141,13	0,000	
ROTACIÓN	0,00097	0,00195	0,50	0,620	2,28
ROP	0,00357	0,00157	2,27	0,026	3,36
GALONAJE	0,01317	0,00125	10,53	0,000	3,69
PUNTO CEDENTE	0,04624	0,00134	34,61	0,000	1,43
VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,01063	0,00150	-7,07	0,000	1,44
GEL 10 S	0,00333	0,00145	2,30	0,024	1,44
GEL 10 M	-0,00766	0,00176	-4,35	0,000	1,84

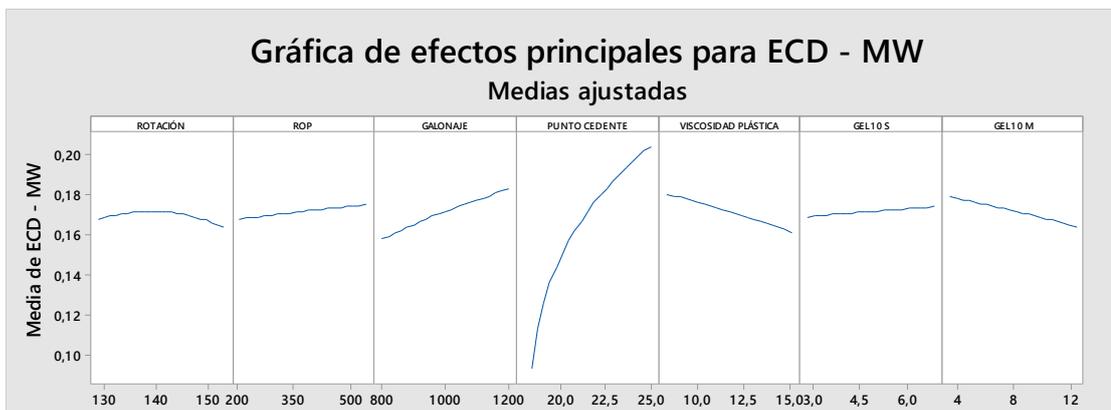


No existe multicolinealidad y los efectos de las variables concuerdan con la teoría, sin embargo, se observa que el efecto de la ROTACIÓN es mínimo. Se hará una gráfica de dispersión de rotación:



En la gráfica se observa que la rotación tiene una tendencia cuadrática, por lo tanto, se agregará el término cuadrático de ROTACIÓN al modelo lineal para analizar las gráficas de efectos.

MODELO 6: LINEAL + CUADRADO DE ROTACIÓN



El efecto de ROTACIÓN es más notable.

Coefficientes codificados para respuesta transformada

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-51,6801	0,0009	-58006,71	0,000	
ROTACIÓN	-0,00162	0,00214	-0,76	0,451	2,94
ROP	0,00384	0,00152	2,52	0,014	3,38
GALONAJE	0,01288	0,00121	10,63	0,000	3,73
PUNTO CEDENTE	0,04594	0,00129	35,50	0,000	1,44
VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,00995	0,00147	-6,75	0,000	1,49
GEL 10 S	0,00267	0,00142	1,88	0,064	1,49
GEL 10 M	-0,00748	0,00170	-4,40	0,000	1,84
ROTACIÓN*ROTACIÓN	-0,00504	0,00198	-2,55	0,013	1,72

No existe multicolinealidad

Resumen del modelo para respuesta transformada

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0051008	95,25%	94,72%	93,49%

El modelo se ajusta en un 95.25%

Este es uno de los modelos para la formación ORTEGUAZA

Para encontrar el otro modelo para la formación ORTEGUAZA, se hará un modelo cuadrático completo y uno lineal + interacciones para identificar los términos con mayores valores de FIV, luego se hará un modelo cuadrático completo sin los términos que se identificaron en los dos modelos anteriores.

MODELO: CUADRÁTICO COMPLETO

Coefficientes codificados para respuesta transformada

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-51,6996	0,0050	-10241,53	0,000	
ROTACIÓN	-0,01695	0,00841	-2,01	0,048	5,00
ROP	0,00295	0,00645	0,46	0,649	6,68
DENSIDAD	0,01426	0,00650	2,19	0,032	9,09
ROTACIÓN*ROTACIÓN	-0,00755	0,00938	-0,80	0,424	4,27
ROP*ROP	0,00512	0,00889	0,58	0,566	3,08
DENSIDAD*DENSIDAD	0,02959	0,00813	3,64	0,001	4,60
ROTACIÓN*ROP	-0,0369	0,0229	-1,61	0,112	16,65
ROTACIÓN*DENSIDAD	0,0346	0,0168	2,06	0,043	15,49
ROP*DENSIDAD	0,0067	0,0105	0,64	0,523	6,58

Los términos con los valores de FIV más altos son: Rotación con ROP (AB) y Rotación con densidad (AC).

MODELO: LINEAL + INTERACCIONES

Coefficientes codificados para respuesta transformada

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-51,6892	0,0033	-15746,77	0,000	
ROTACIÓN	-0,00575	0,00494	-1,16	0,248	1,49
ROP	-0,00412	0,00548	-0,75	0,454	4,18
DENSIDAD	0,02673	0,00492	5,43	0,000	4,53
ROTACIÓN*ROP	-0,0251	0,0237	-1,06	0,294	15,47
ROTACIÓN*DENSIDAD	0,0347	0,0179	1,94	0,056	15,13
ROP*DENSIDAD	0,03898	0,00588	6,62	0,000	1,79

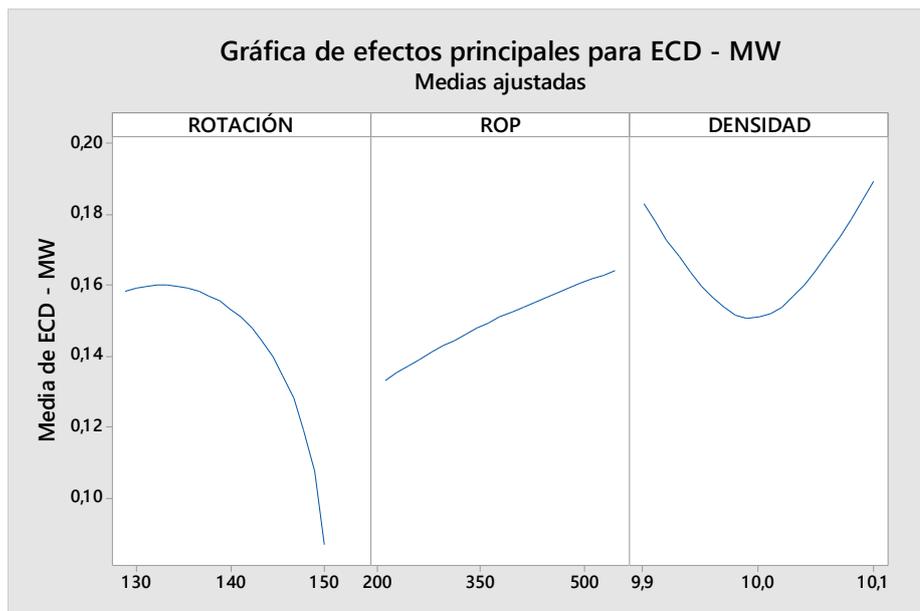
Los términos con los valores de FIV más altos son: Rotación con ROP (AB) y Rotación con densidad (AC).

MODELO: CUADRÁTICO COMPLETO SIN AB Y AC

Coefficientes codificados para respuesta transformada

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-51,6983	0,0039	-13267,72	0,000	
ROTACIÓN	-0,01940	0,00515	-3,77	0,000	1,84
ROP	0,01064	0,00486	2,19	0,032	3,72
DENSIDAD	0,00410	0,00387	1,06	0,292	3,16
ROTACIÓN*ROTACIÓN	-0,01309	0,00586	-2,23	0,029	1,63
DENSIDAD*DENSIDAD	0,03536	0,00463	7,64	0,000	1,46

No hay multicolinealidad



Los efectos de las variables concuerdan en con la teoría.

Este será el 2do modelo para la formación ORTEGUAZA

FORMACIÓN TIYUYACU

MODELO 1: CUADRÁTICO COMPLETO

Término	EE del		Valor T	Valor p	FIV
	Coef	coef.			
Constante	-27,826	0,108	-257,67	0,000	
ROTACIÓN	-0,00177	0,00344	-0,51	0,613	132,34
ROP	0,0099	0,0102	0,97	0,344	1549,75
GALONAJE	0,01271	0,00551	2,31	0,031	330,68
DENSIDAD	0,0123	0,0154	0,80	0,432	3281,31
PUNTO CEDENTE	0,0193	0,0364	0,53	0,601	19167,54
VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,206	0,206	-1,00	0,329	414614,62
GEL 10 S	0,404	0,373	1,08	0,290	2687692,25
GEL 10 M	-0,266	0,262	-1,01	0,321	1293111,79
ROTACIÓN*ROTACIÓN	0,00079	0,00178	0,44	0,662	20,20
ROP*ROP	0,00491	0,00836	0,59	0,563	376,24
GALONAJE*GALONAJE	-0,00656	0,00318	-2,06	0,051	50,60
DENSIDAD*DENSIDAD	0,00256	0,00361	0,71	0,486	55,81
PUNTO CEDENTE*PUNTO CEDENTE	0,0591	0,0654	0,90	0,376	27919,90
VISCOSIDAD PLÁSTICA*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,181	0,197	0,92	0,367	134520,40
GEL 10 S*GEL 10 S	-0,212	0,274	-0,77	0,448	392806,75
GEL 10 M*GEL 10 M	0,495	0,423	1,17	0,253	904085,29
ROTACIÓN*ROP	0,00125	0,00332	0,38	0,709	60,09
ROTACIÓN*GALONAJE	-0,00036	0,00219	-0,17	0,870	15,66
ROTACIÓN*DENSIDAD	-0,00727	0,00785	-0,93	0,364	336,88
ROTACIÓN*PUNTO CEDENTE	-0,00030	0,00593	-0,05	0,960	283,11
ROTACIÓN*VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,00017	0,00804	-0,02	0,983	277,72
ROTACIÓN*GEL 10 S	-0,00050	0,00512	-0,10	0,923	233,24
ROTACIÓN*GEL 10 M	-0,00203	0,00518	-0,39	0,698	115,79
ROP*GALONAJE	-0,00029	0,00661	-0,04	0,966	122,81
ROP*DENSIDAD	-0,0141	0,0123	-1,15	0,263	628,03
ROP*PUNTO CEDENTE	-0,0002	0,0130	-0,02	0,987	398,25
ROP*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,0102	0,0107	0,95	0,353	438,19
ROP*GEL 10 S	0,00247	0,00898	0,28	0,785	694,23
ROP*GEL 10 M	0,0065	0,0147	0,44	0,663	777,13
GALONAJE*DENSIDAD	-0,00018	0,00667	-0,03	0,979	133,59
GALONAJE*PUNTO CEDENTE	0,01470	0,00381	3,86	0,001	41,61
GALONAJE*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,01779	0,00610	2,92	0,008	151,54
GALONAJE*GEL 10 S	-0,00829	0,00396	-2,09	0,048	90,14
GALONAJE*GEL 10 M	-0,00423	0,00551	-0,77	0,451	96,06
DENSIDAD*PUNTO CEDENTE	0,0149	0,0159	0,94	0,359	835,88
DENSIDAD*VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,0064	0,0144	-0,45	0,660	615,72
DENSIDAD*GEL 10 S	-0,0230	0,0366	-0,63	0,537	8120,38
DENSIDAD*GEL 10 M	0,0305	0,0505	0,60	0,551	9740,05
PUNTO CEDENTE*VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,174	0,187	-0,93	0,360	214972,76
PUNTO CEDENTE*GEL 10 S	-0,121	0,159	-0,77	0,452	136887,87
PUNTO CEDENTE*GEL 10 M	0,237	0,286	0,83	0,415	287111,27
VISCOSIDAD PLÁSTICA*GEL 10 S	0,394	0,439	0,90	0,379	1167018,31
VISCOSIDAD PLÁSTICA*GEL 10 M	-1,02	1,03	-0,99	0,333	4480181,88
GEL 10 S*GEL 10 M	0,074	0,226	0,33	0,747	644332,99

En este modelo existe elevada multicolinealidad, los términos con valores más altos de FIV son: PUNTO CEDENTE CON PUNTO CEDENTE (EE),

VISCOSIDAD PLÁSTICA CON VISCOSIDAD PLÁSTICA (FF), GEL 10 S CON GEL 10 S (GG), GEL 10 M CON GEL 10 M (HH), ROP CON DENSIDAD (BD), ROP CON PUNTO CEDENTE (BE), ROP CON VISCOSIDAD PLÁSTICA (BF), ROP CON GEL 10 S (BG), ROP CON GEL 10 M (BH), DENSIDAD CON PUNTO CEDENTE (DE), DENSIDAD CON VISCOSIDAD PLÁSTICA (DF), DENSIDAD CON GEL 10 S (DG), DENSIDAD CON GEL 10 M (DH), PUNTO CEDENTE CON VISCOSIDAD PLÁSTICA (EF), PUNTO CEDENTE CON GEL 10 S (EG), PUNTO CEDENTE CON GEL 10 M (EH), VISCOSIDAD PLÁSTICA CON GEL 10 S (FG), VISCOSIDAD PLÁSTICA CON GEL 10 M (FH), GEL 10 S CON GEL 10 M (GH).

MODELO 2: LINEAL + INTERACCIONES

Coefficientes codificados para respuesta transformada

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-27,7029	0,0055	-5007,51	0,000	
ROTACIÓN	-0,00140	0,00278	-0,50	0,620	82,34
ROP	-0,00342	0,00315	-1,09	0,285	139,84
GALONAJE	0,00526	0,00377	1,39	0,173	147,30
DENSIDAD	0,00156	0,00827	0,19	0,852	896,03
PUNTO CEDENTE	0,01782	0,00593	3,01	0,005	483,64
VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,02431	0,00863	-2,82	0,008	691,93
GEL 10 S	-0,0150	0,0202	-0,74	0,464	7514,07
GEL 10 M	0,0331	0,0308	1,07	0,291	16978,63
ROTACIÓN*ROP	0,00100	0,00293	0,34	0,735	44,41
ROTACIÓN*GALONAJE	0,00140	0,00169	0,83	0,413	8,91
ROTACIÓN*DENSIDAD	-0,00333	0,00492	-0,68	0,503	125,39
ROTACIÓN*PUNTO CEDENTE	0,00280	0,00505	0,56	0,583	195,30
ROTACIÓN*VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,00659	0,00701	-0,94	0,355	200,72
ROTACIÓN*GEL 10 S	0,00076	0,00456	0,17	0,870	175,89
ROTACIÓN*GEL 10 M	-0,00186	0,00495	-0,38	0,710	100,46
ROP*GALONAJE	-0,00793	0,00478	-1,66	0,107	60,95
ROP*DENSIDAD	-0,00158	0,00574	-0,28	0,784	130,55
ROP*PUNTO CEDENTE	0,01377	0,00626	2,20	0,035	88,08
ROP*VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,00035	0,00549	-0,06	0,950	109,12
ROP*GEL 10 S	-0,00291	0,00315	-0,92	0,362	81,21
ROP*GEL 10 M	-0,00869	0,00499	-1,74	0,092	85,63
GALONAJE*DENSIDAD	-0,00515	0,00581	-0,89	0,382	96,35
GALONAJE*PUNTO CEDENTE	0,01373	0,00356	3,85	0,001	34,54
GALONAJE*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,01373	0,00442	3,11	0,004	75,62
GALONAJE*GEL 10 S	-0,01231	0,00359	-3,43	0,002	70,33
GALONAJE*GEL 10 M	-0,00755	0,00508	-1,49	0,147	77,60
DENSIDAD*PUNTO CEDENTE	-0,00122	0,00972	-0,13	0,901	297,11
DENSIDAD*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,00423	0,00961	0,44	0,663	261,88
DENSIDAD*GEL 10 S	0,0057	0,0245	0,23	0,817	3453,81
DENSIDAD*GEL 10 M	-0,0097	0,0317	-0,31	0,760	3651,56
PUNTO CEDENTE*VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,00416	0,00581	-0,72	0,479	197,63
PUNTO CEDENTE*GEL 10 S	0,01134	0,00833	1,36	0,183	359,01
PUNTO CEDENTE*GEL 10 M	-0,0162	0,0138	-1,17	0,251	641,39
VISCOSIDAD PLÁSTICA*GEL 10 S	-0,0566	0,0262	-2,16	0,039	3950,66
VISCOSIDAD PLÁSTICA*GEL 10 M	0,0462	0,0284	1,62	0,115	3222,76
GEL 10 S*GEL 10 M	0,0179	0,0127	1,41	0,169	1932,20

También existe multicolinealidad, siendo los siguientes términos, los que tienen valores más altos de FIV: GEL 10 S CON GEL 10 M (GH), VISCOSIDAD PLÁSTICA CON GEL 10 M (FH), VISCOSIDAD PLÁSTICA

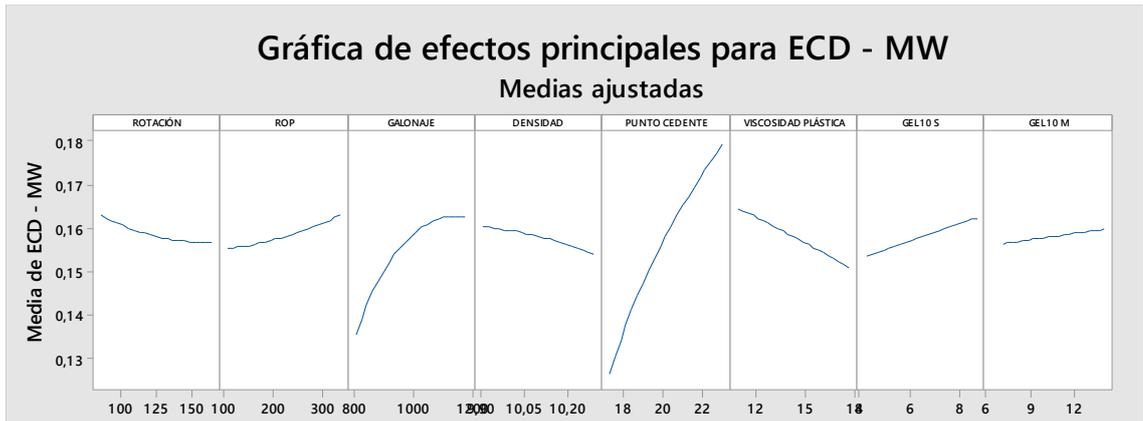
CON GEL 10 S (FG), DENSIDAD CON GEL 10 M (DH), DENSIDAD CON GEL 10 S (DG)

MODELO 3: CUADRÁTICO COMPLETO SIN LOS TÉRMINOS QUE TIENEN MAYORES VALORES DE FIV

Coefficientes codificados para respuesta transformada

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-27,6962	0,0014	-20427,71	0,000	
ROTACIÓN	-0,00314	0,00235	-1,34	0,188	62,92
ROP	0,00389	0,00127	3,06	0,004	24,56
GALONAJE	0,01181	0,00244	4,85	0,000	66,01
DENSIDAD	-0,00311	0,00218	-1,42	0,162	67,15
PUNTO CEDENTE	0,02510	0,00153	16,43	0,000	34,51
VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,00631	0,00213	-2,97	0,005	45,16
GEL 10 S	0,00444	0,00160	2,78	0,008	50,34
GEL 10 M	0,00173	0,00148	1,17	0,249	41,89
ROTACIÓN*ROTACIÓN	0,00186	0,00137	1,35	0,184	12,25
ROP*ROP	0,00131	0,00132	0,99	0,328	9,56
GALONAJE*GALONAJE	-0,00727	0,00171	-4,26	0,000	14,83
DENSIDAD*DENSIDAD	-0,00081	0,00137	-0,59	0,555	8,16
ROTACIÓN*ROP	-0,00366	0,00217	-1,68	0,100	26,28
ROTACIÓN*GALONAJE	-0,00362	0,00151	-2,39	0,021	7,68
ROTACIÓN*DENSIDAD	0,00411	0,00292	1,41	0,167	47,64
ROTACIÓN*PUNTO CEDENTE	0,01523	0,00197	7,74	0,000	31,84
ROTACIÓN*VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,01687	0,00343	-4,92	0,000	51,50
ROTACIÓN*GEL 10 S	0,00355	0,00173	2,05	0,047	27,24
ROTACIÓN*GEL 10 M	-0,00784	0,00215	-3,65	0,001	20,34
ROP*GALONAJE	-0,00573	0,00307	-1,87	0,068	26,97
GALONAJE*DENSIDAD	0,00318	0,00257	1,24	0,223	20,24
GALONAJE*PUNTO CEDENTE	0,00691	0,00136	5,10	0,000	5,37
GALONAJE*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,01898	0,00213	8,90	0,000	18,93
GALONAJE*GEL 10 S	-0,01209	0,00191	-6,33	0,000	21,38
GALONAJE*GEL 10 M	-0,00739	0,00232	-3,18	0,003	17,45

Los valores de FIV son bajos en comparación con los modelos anteriores.



Los efectos de las variables guardan relación con el fundamento teórico

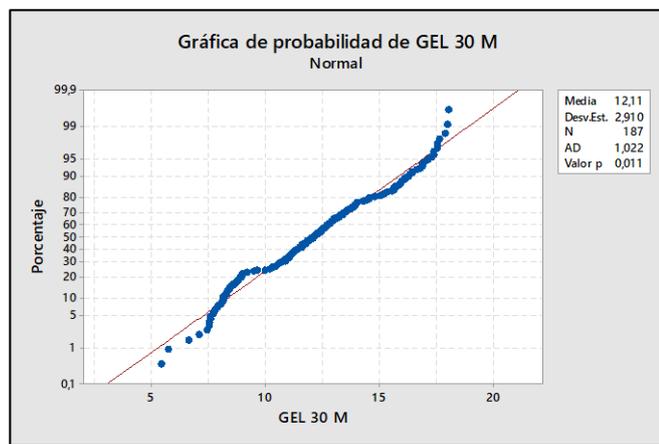
Resumen del modelo para respuesta transformada

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0011662	99,87%	99,79%	96,75%

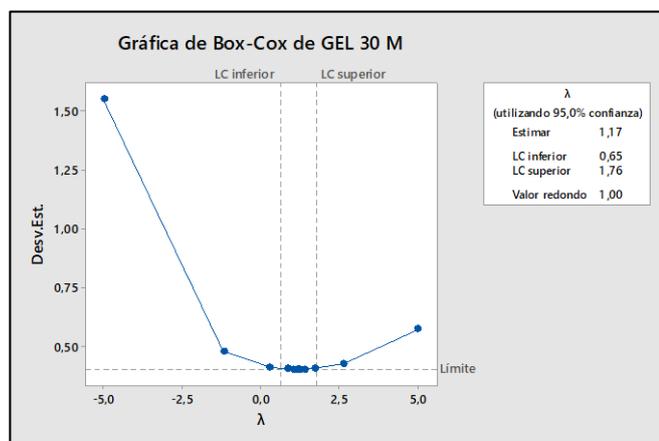
El modelo se ajusta un 99.87%.

Este modelo se utilizará para la formación TIYUYACU

Debido a que Gel 30 M está correlacionado con Gel 10 M, se hará un modelo de regresión que será utilizado en las formaciones Orteguzza, Tiyuyacu y Tena para calcular el valor de Gel 30 M a partir del valor del Gel 10 M



Debido a que la variable de respuesta (Gel 30M) no tiene una distribución normal, se hará una transformación de Box-Cox



Coeficientes para respuesta transformada

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-0,370	0,537	-0,69	0,492	
GEL 10 M	2,0110	0,0552	36,46	0,000	1,00

Resumen del modelo para respuesta transformada

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1,82043	87,79%	87,72%	87,59%

No existe multicolinealidad y el modelo se ajusta en un 87.79%

FORMACIÓN TENA

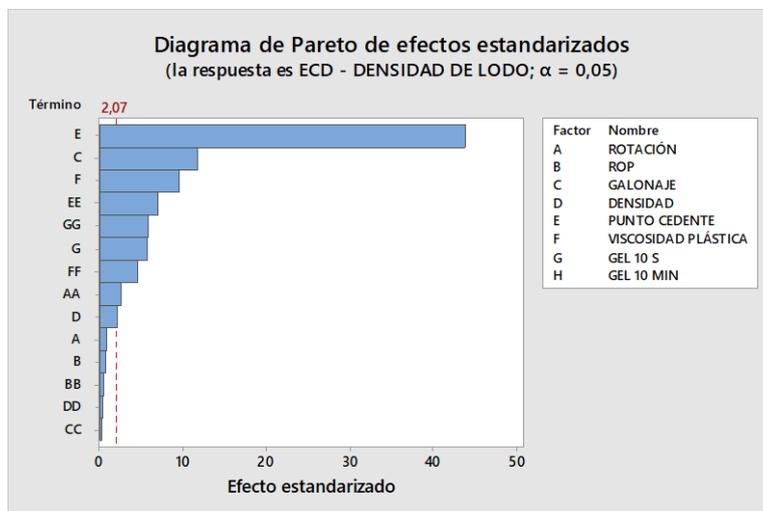
MODELO 1

Se realizó un modelo cuadrático completo con Paso a Paso a un valor p menor a 0,05 que incluye a los términos que cumplen la condición de valor p y además mantiene los términos lineales de cada factor. Se obtuvo un modelo con buenos valores de R^2 , R^2 (ajustado) y R^2 (predicción) que describen muy bien los datos.

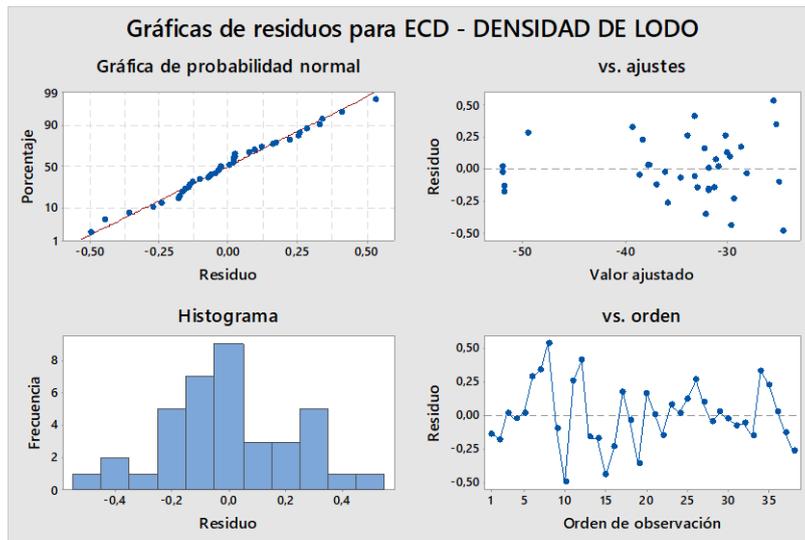
Resumen del modelo para respuesta transformada

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	PRESS	R-cuad. (pred)
0,290178	99,92%	99,87%	7,62125	99,69%

El modelo muestra un diagrama de Pareto con significancia de términos no conformes a lo técnicamente real. Ya que se quiere maximizar también el ROP no podemos tomar el modelo porque el nivel de significancia es muy bajo.



Las gráficas de residuos cumplen muy bien los supuestos.



Se tienen FIV's muy bajos que asegura la poca multicolinealidad de los términos del modelo de regresión.

Término	Valor p	FIV
Constante	0,000	
ROTACIÓN	0,392	5,73
ROP	0,497	2,60
GALONAJE	0,000	6,61
DENSIDAD	0,043	10,33
PUNTO CEDENTE	0,000	9,38
VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,000	6,91
GEL 10 S	0,000	12,59
ROTACIÓN*ROTACIÓN	0,013	9,85
ROP*ROP	0,574	1,81
GALONAJE*GALONAJE	0,857	4,16
DENSIDAD*DENSIDAD	0,647	6,55
PUNTO CEDENTE*PUNTO CEDENTE	0,000	7,75
VISCOSIDAD PLÁSTICA*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,000	4,84
GEL 10 S*GEL 10 S	0,000	8,47

Conforme al diagrama de Pareto se tiene a la rotación y ROP con poca significancia.

Fuente	Valor F	Valor p
Modelo	2068,09	0,000
Lineal	672,42	0,000
ROTACIÓN	0,76	0,392
ROP	0,48	0,497
GALONAJE	139,38	0,000
DENSIDAD	4,61	0,043
PUNTO CEDENTE	1909,37	0,000
VISCOSIDAD PLÁSTICA	90,17	0,000
GEL 10 S	32,39	0,000
Cuadrado	45,15	0,000
ROTACIÓN*ROTACIÓN	7,23	0,013
ROP*ROP	0,33	0,574
GALONAJE*GALONAJE	0,03	0,857
DENSIDAD*DENSIDAD	0,22	0,647
PUNTO CEDENTE*PUNTO CEDENTE	48,00	0,000
VISCOSIDAD PLÁSTICA*VISCOSIDAD PLÁSTICA	20,32	0,000
GEL 10 S*GEL 10 S	34,32	0,000
Error		
Total		

MODELO 2

Se realizan modelos separados, uno entre las propiedades del fluido y la variable de respuesta y otro entre los parámetros de perforación y la variable de respuesta.

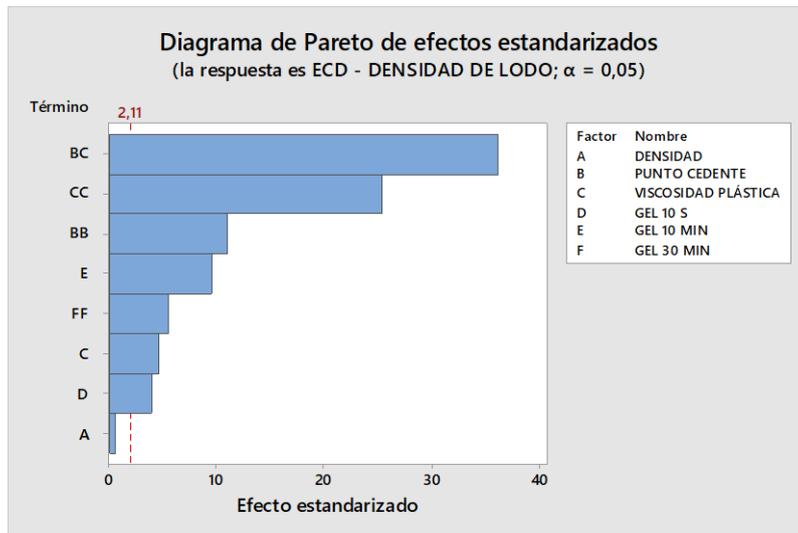
Se obtiene un buen resumen del modelo para el ajuste de datos y la predicción de nuevas respuestas.

Resumen del modelo para respuesta transformada

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	PRESS	R-cuad. (pred)
0,0010192	99,79%	99,70%	0,0000389	99,54%

El diagrama de Pareto muestra una significancia jerárquica acorde a lo técnico.

La densidad como era de esperarlo posee una baja significancia lo que contribuirá únicamente como referencia para la optimización que se hará por profundidad y densidad.



Los valores de FIV's son relativamente bajos y garantiza un modelo estable.

Coefficientes codificados para respuesta transformada

Término	Coef	EE del coef.	IC de 95%	Valor T
Constante	0,37020	0,00132	(0,36741; 0,37300)	279,41
DENSIDAD	-0,00126	0,00202	(-0,00552; 0,00300)	-0,62
VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,00807	0,00176	(0,00437; 0,01178)	4,60
GEL 10 S	0,00597	0,00151	(0,00279; 0,00915)	3,96
GEL 10 MIN	-0,01493	0,00157	(-0,01824; -0,01162)	-9,53
PUNTO CEDENTE*PUNTO CEDENTE	0,01766	0,00162	(0,01425; 0,02108)	10,93
VISCOSIDAD PLÁSTICA*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,05235	0,00206	(0,04800; 0,05671)	25,36
GEL 30 MIN*GEL 30 MIN	0,01284	0,00232	(0,00794; 0,01774)	5,53
PUNTO CEDENTE*VISCOSIDAD PLÁSTICA	-0,05980	0,00166	(-0,06329; -0,05630)	-36,07

Término	Valor p	FIV
Constante	0,000	
DENSIDAD	0,541	27,48
VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,000	23,45
GEL 10 S	0,001	33,93
GEL 10 MIN	0,000	20,03
PUNTO CEDENTE*PUNTO CEDENTE	0,000	9,90
VISCOSIDAD PLÁSTICA*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,000	8,53
GEL 30 MIN*GEL 30 MIN	0,000	27,73
PUNTO CEDENTE*VISCOSIDAD PLÁSTICA	0,000	6,81

En el análisis de varianza notamos que únicamente la densidad es poco significativa a la variable de respuesta.

Análisis de varianza para respuesta transformada

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.
Modelo	8	0,008498	99,79%	0,008498	0,001062
Lineal	4	0,007012	82,34%	0,000795	0,000199
DENSIDAD	1	0,000702	8,24%	0,000000	0,000000
VISCOSIDAD PLÁSTICA	1	0,001621	19,04%	0,000022	0,000022
GEL 10 S	1	0,004658	54,70%	0,000016	0,000016
GEL 10 MIN	1	0,000031	0,36%	0,000094	0,000094
Cuadrado	3	0,000134	1,58%	0,000989	0,000330
PUNTO CEDENTE*PUNTO CEDENTE	1	0,000130	1,53%	0,000124	0,000124
VISCOSIDAD PLÁSTICA*VISCOSIDAD PLÁSTICA	1	0,000003	0,03%	0,000668	0,000668
GEL 30 MIN*GEL 30 MIN	1	0,000002	0,02%	0,000032	0,000032
Interacción de 2 factores	1	0,001352	15,87%	0,001352	0,001352
PUNTO CEDENTE*VISCOSIDAD PLÁSTICA	1	0,001352	15,87%	0,001352	0,001352
Error	17	0,000018	0,21%	0,000018	0,000001
Total	25	0,008515	100,00%		

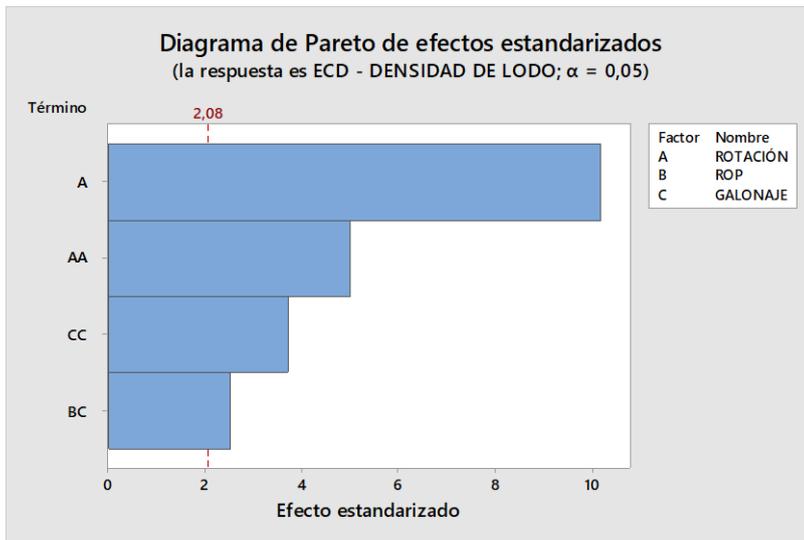
Fuente	Valor F	Valor p
Modelo	1022,56	0,000
Lineal	191,39	0,000
DENSIDAD	0,39	0,541
VISCOSIDAD PLÁSTICA	21,15	0,000
GEL 10 S	15,71	0,001
GEL 10 MIN	90,77	0,000
Cuadrado	317,51	0,000
PUNTO CEDENTE*PUNTO CEDENTE	119,41	0,000
VISCOSIDAD PLÁSTICA*VISCOSIDAD PLÁSTICA	643,20	0,000
GEL 30 MIN*GEL 30 MIN	30,62	0,000
Interacción de 2 factores	1301,08	0,000
PUNTO CEDENTE*VISCOSIDAD PLÁSTICA	1301,08	0,000
Error		
Total		

El modelo realizado con los parámetros de perforación se ajusta adecuadamente. Es de interés notar que el R^2 (predicción) es bajo comparado con los anteriores manejados, pero igual estadísticamente es un buen porcentaje para predecir resultados.

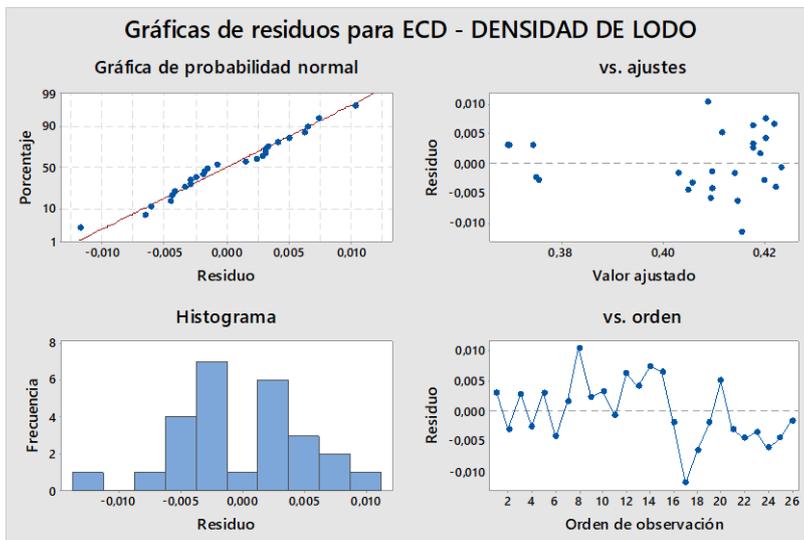
Resumen del modelo para respuesta transformada

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	PRESS	R-cuad. (pred)
0,0055579	92,38%	90,93%	0,0009607	88,72%

El diagrama de Pareto muestra una significancia jerárquica adecuado según lo técnico. Todos los términos del modelo poseen significancia por lo que no se requiere eliminar ninguno para una nueva corrida de modelo.



Las gráficas de residuo poseen una buena tendencia a una distribución normal y los residuos son cercanos a cero y de manera aleatoria.



Los valores p de los términos son todos adecuados respecto al nivel de significancia de 0,05.

Análisis de varianza para respuesta transformada

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Modelo	4	0,007867	92,38%	0,007867	0,001967	63,67
Lineal	1	0,005873	68,97%	0,003190	0,003190	103,26
ROTACIÓN	1	0,005873	68,97%	0,003190	0,003190	103,26
Cuadrado	2	0,001798	21,11%	0,001737	0,000869	28,12
ROTACIÓN*ROTACIÓN	1	0,001472	17,28%	0,000774	0,000774	25,06
GALONAJE*GALONAJE	1	0,000326	3,83%	0,000424	0,000424	13,74
Interacción de 2 factores	1	0,000196	2,30%	0,000196	0,000196	6,33
ROP*GALONAJE	1	0,000196	2,30%	0,000196	0,000196	6,33
Error	21	0,000649	7,62%	0,000649	0,000031	
Total	25	0,008515	100,00%			

Fuente	Valor p
Modelo	0,000
Lineal	0,000
ROTACIÓN	0,000
Cuadrado	0,000
ROTACIÓN*ROTACIÓN	0,000
GALONAJE*GALONAJE	0,001
Interacción de 2 factores	0,020
ROP*GALONAJE	0,020
Error	
Total	

Los valores FIV's describen un modelo totalmente bajo en multicolinealidad, lo que asegura buena estabilidad en las respuestas a la variabilidad de los datos.

Coefficientes codificados para respuesta transformada

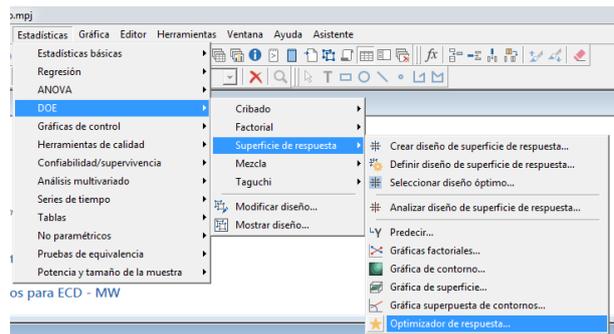
Término	Coef	EE del		IC de 95%	Valor T	Valor p	FIV
		coef.					
Constante	0,41855	0,00169		(0,41505; 0,42205)	248,37	0,000	
ROTACIÓN	-0,02387	0,00235		(-0,02876; -0,01899)	-10,16	0,000	1,17
ROTACIÓN*ROTACIÓN	-0,02025	0,00405		(-0,02866; -0,01184)	-5,01	0,000	2,00
GALONAJE*GALONAJE	-0,01287	0,00347		(-0,02009; -0,00565)	-3,71	0,001	1,43
ROP*GALONAJE	0,01327	0,00527		(0,00230; 0,02423)	2,52	0,020	1,70

Se utiliza este modelo para la optimización de la formación Tena.

ANEXO G

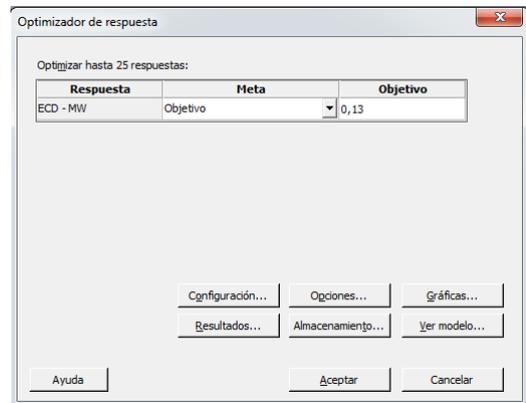
PASOS PARA REALIZAR LA OPTIMIZACIÓN Y ENCONTRAR LOS VALORES INICIALES Y FINALES DE LAS VARIABLES RELACIONADAS A LAS PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN

1. Dentro del menú ESTADÍSTICAS, se escoge DOE, luego SUPERFICIE DE RESPUESTA y por último OPTIMIZADOR DE



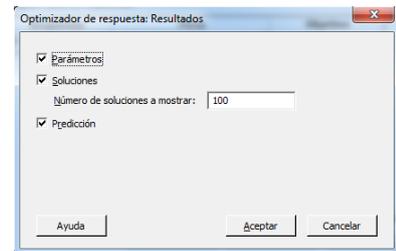
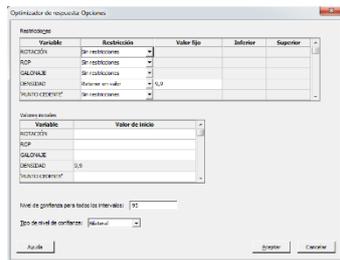
RESPUESTA, como se muestra en la figura

2. Aparece el siguiente cuadro en el que se elige objetivo y se coloca el límite inferior o superior del rango operativo medio. En la parte inferior aparecen cuadros de CONFIGURACION, OPCIONES,



GRÁFICAS, RESULTADOS, ALMACENAMIENTO Y VER MODELO, únicamente se realizan cambios en OPCIONES Y RESULTADOS.

- En OPCIONES se ingresan las restricciones de cada variable, para los valores iniciales será únicamente el valor de DENSIDAD, mientras que para los valores finales existirán restricciones para la DENSIDAD y demás propiedades del fluido de perforación. En RESULTADOS se especifica 100 soluciones a mostrar.



ANEXO H

VALORES INICIALES Y FINALES DE LAS PROPIEDADES DEL FLUIDO DE FORMACIÓN

FORMACIÓN INDIFERENCIADO

Se procede a analizar las profundidades de entrada a la formación, se selecciona estratégicamente una profundidad promedio de 500 ft y una densidad de inicio promedia de 8,9 ppg.

Los valores iniciales de las propiedades del fluido se tomarán con una corrida de optimización con un objetivo de ECD – DENSIDAD DE LODO de 0,2.

Soluciones

Solución	ROP	ROTACIÓN	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GEL 10 MIN	ECD - DENSIDAD DE LODO Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	300	50,000	8,9	3,03	2,01	3,02	0,0100936	1,00000
2	300	107,955	8,9	3,03	2,01	3,02	0,0214107	0,98265
3	300	163,366	8,9	3,03	2,01	3,02	0,0302934	0,87340

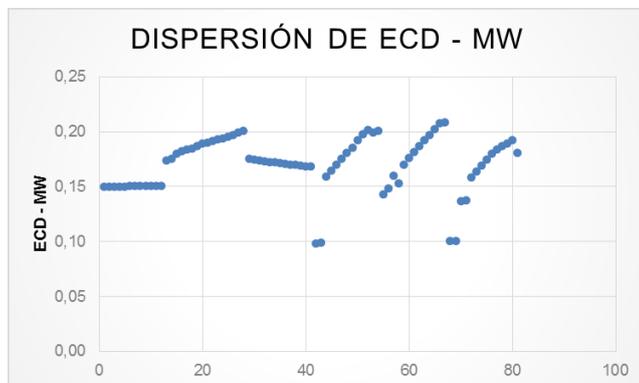
Los valores finales de las propiedades se toman de igual manera con una corrida de optimización y se identifican los valores más bajos posibles.

La corrida se hace con un objetivo de ECD – DENSIDAD DE LODO de 0,2 y ajustando un valor de densidad de 9,5

Soluciones

Solución	ROP	ROTACIÓN	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GEL 10 MIN	ECD - DENSIDAD DE LODO Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	300	165,910	9,5	14,4700	12,99	9,45	0,0633292	0,467071
2	300	165,910	9,5	14,4700	12,47	9,45	0,0644033	0,453859
3	300	165,910	9,5	14,4700	12,99	9,15	0,0679971	0,409658

FORMACIÓN ORTEGUAZA

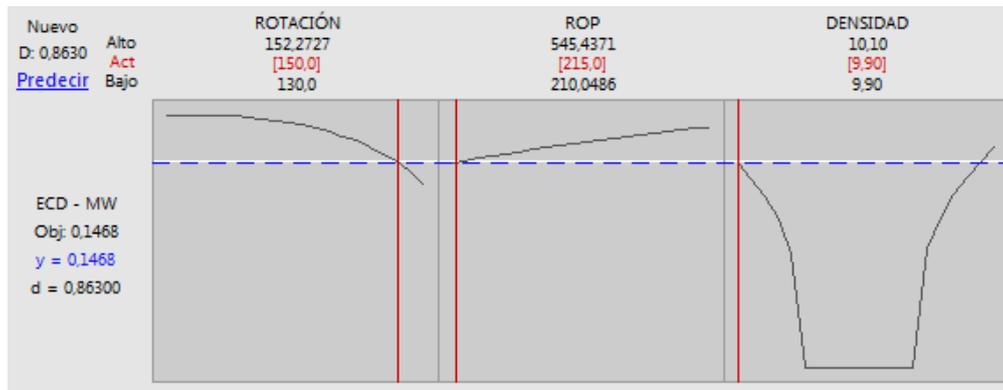


COMENTARIO:

De acuerdo a la gráfica, el rango operativo medio está entre 0.13 y 0.16

De acuerdo a los reportes finales de perforación de los pozos seleccionados, se determina que en promedio la formación Orteguaza empieza a los 2700 ft y termina a los 3700 ft, y la densidad del fluido de perforación va en un rango de 9.9 ppg a 10 ppg.

Debido a que en la formación Orteguaza se utilizan dos modelos, se hará una primera optimización con el modelo que relaciona ECD – MW con ROTACIÓN, ROP Y DENSIDAD, en este modelo se restringe el valor inicial de la densidad y se obtienen los siguientes resultados de ROTACIÓN y ROP:

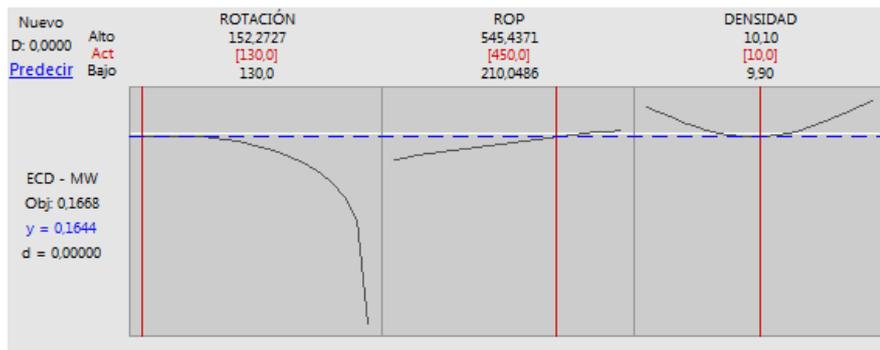


Los resultados de ROTACIÓN y ROP obtenidos junto con el valor de la variable de respuesta se ingresan en el 2do modelo que relaciona ECD – MW con ROTACIÓN, GALONAJE, ROP, PUNTO CEDENTE, VISCOSIDAD PLÁSTICA, GEL 10 S y GEL 10 M y se obtienen los siguientes resultados:

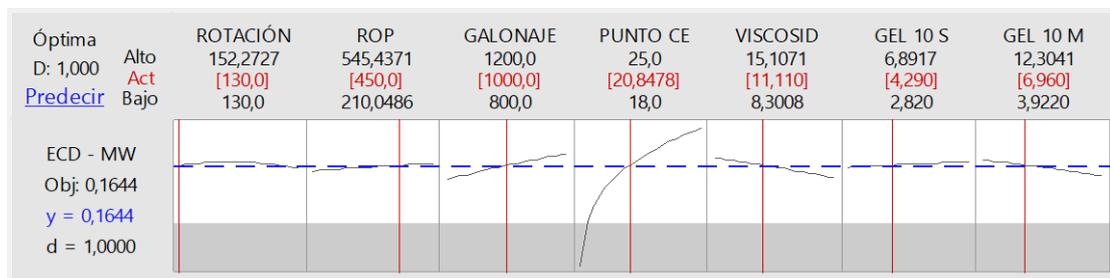
Solución	ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GEL 10 S	GEL 10 M	ECD - MW Ajuste
1	150	215	1135,54	20,9780	15,0791	6,75559	12,2185	0,146800
2	150	215	1197,67	18,4419	8,3315	2,83495	3,9853	0,146800
3	150	215	1170,68	19,6523	14,7590	6,82978	4,3164	0,146800
4	150	215	800,00	23,0363	15,1071	2,82000	12,3041	0,146800
5	150	215	1116,97	19,8192	9,3923	6,69869	12,3041	0,146800
6	150	215	1108,50	19,2906	9,5037	2,82862	5,0820	0,146800
7	150	215	1103,14	18,9557	9,5743	6,68716	5,1478	0,146800
8	150	215	801,59	21,2762	9,0854	6,76568	12,1890	0,146800
9	150	215	802,53	20,3161	9,2876	6,73319	4,8063	0,146800
10	150	215	1186,12	19,2357	8,4832	6,86238	12,1192	0,146800
11	150	215	1141,33	21,3388	15,0856	2,82345	12,1784	0,146800
12	150	215	986,56	20,6612	11,8807	4,82746	8,3348	0,146800
13	150	215	1122,48	20,1628	9,3199	2,83133	12,3041	0,146800
14	150	215	801,35	21,5756	15,0893	6,77581	4,5495	0,146800
15	150	215	801,09	21,9705	15,0927	2,82231	4,5310	0,146800
16	150	215	1169,62	19,7455	8,7002	2,87906	11,9872	0,146800
17	150	215	801,33	21,6623	9,0040	2,82281	12,2518	0,146800
18	150	215	802,30	20,6791	9,2112	2,82486	4,7181	0,146800
19	150	215	800,33	22,6289	15,1027	6,81145	12,2627	0,146800
20	150	215	1126,40	20,4073	15,0689	2,82613	4,8179	0,146800
21	150	215	1120,77	20,0563	15,0656	6,72440	4,9061	0,146800
22	150	215	1200,00	18,0742	8,3024	6,89138	4,3973	0,146797

Se selecciona la solución 2, estos corresponden a los valores iniciales de las propiedades del fluido de perforación.

Para encontrar los valores finales de las propiedades del fluido de perforación, se hace una optimización restringiendo el valor final de DENSIDAD en el modelo que relaciona ECD – MW con ROTACIÓN, ROP Y DENSIDAD, se obtienen los siguientes resultados de ROTACIÓN y ROP:

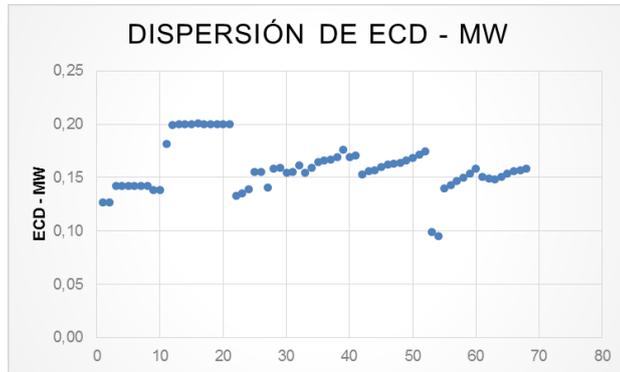


Los resultados de ROTACIÓN y ROP obtenidos junto con el valor de la variable de respuesta y los valores mínimos de las propiedades del fluido de perforación de la formación Tiyuyacu se ingresan en el 2do modelo y se obtienen los siguientes resultados:



Estos resultados corresponden a los valores finales de las propiedades del fluido de perforación.

FORMACIÓN TIYUYACU



COMENTARIO:

De acuerdo a la gráfica, el rango operativo medio está entre 0.13 y 0.16

De acuerdo a los reportes finales de perforación de los pozos seleccionados, se determina que en promedio la formación Tiyuyacu empieza a los 3700 ft y termina a los 4400 ft, y la densidad del fluido de perforación va en un rango de 10 ppg a 10.2 ppg.

En la optimización se restringe el valor inicial de la DENSIDAD y los valores de las demás propiedades del fluido de perforación corresponden a los valores finales de la formación Orteguzaza a excepción del punto cedente. Se obtienen los siguientes resultados:

Nuevo		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CE	VISCOSID	GEL 10 S	GEL 10 M
D: 0,9762	Alto	164,5455	339,1295	1180,0	10,30	23,0	17,3831	8,6520	14,0913
	Act	[150,0]	[150,0]	[1150,0]	[10,0]	[17,2772]	[11,120]	[4,290]	[6,970]
Predecir	Bajo	86,360	120,1218	800,0	9,90	17,2772	11,1138	4,2854	6,9630

ECD - MW									
Obj: 0,130									
y = 0,1292									
d = 0,97618									

Para encontrar los valores finales de las propiedades del fluido de perforación, se hace una optimización restringiendo el valor final de DENSIDAD junto con

el valor de la variable de respuesta y los valores mínimos de las propiedades del fluido de perforación de la formación Tena, se tienen los siguientes resultados:

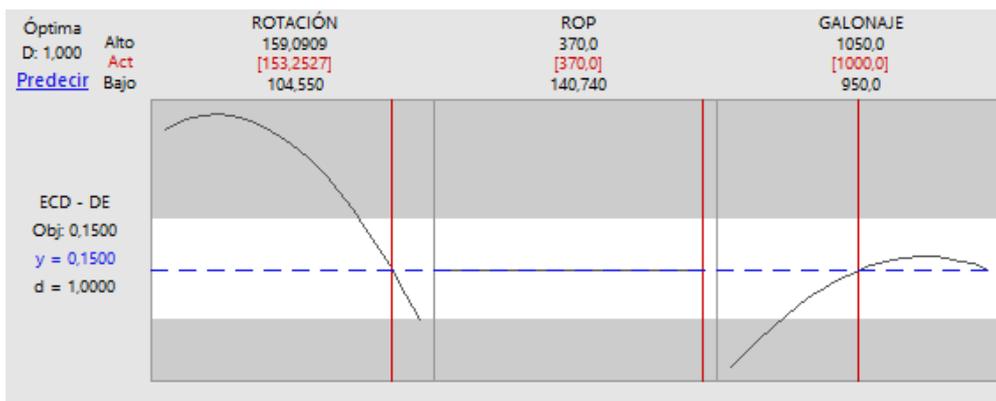


Estos son los valores finales de las propiedades del fluido de perforación.

FORMACIÓN TENA

Los valores iniciales son los máximos alcanzados por la formación Tiyuyacu a una densidad de entrada de 9,2 ppg.

Los valores finales serán los más pequeños posible obtenidos de una corrida de optimización a una densidad de 9,3 ppg que la densidad final de la sección.



Soluciones

Solución	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD			ECD - DENSIDAD DE LODO	
			PLÁSTICA	GEL 10 S	GEL 10 MIN	GEL 30 MIN	Ajuste
1	10,3	20,7500	15,5600	6,21500	9,8200	12,4681	0,140000
2	10,3	20,9881	15,9085	6,40290	10,1196	12,6013	0,140025
3	10,3	20,5289	15,2241	6,39781	9,8687	12,4200	0,140027
4	10,3	20,6382	15,2874	6,07388	9,6627	12,3600	0,140046
5	10,3	20,5000	15,1840	6,02000	9,5402	12,3675	0,140055
6	10,3	20,9955	15,1884	6,02000	10,1200	12,3628	0,140061
7	10,3	20,5390	15,7433	6,05096	9,7454	12,7725	0,140064
8	10,3	20,5568	15,2362	6,37900	9,7878	13,0800	0,140069
9	10,3	21,0000	15,9400	6,41000	10,1173	13,0800	0,139992
10	10,3	20,9510	15,2983	6,29740	10,0609	13,0800	0,140137
11	10,3	20,5210	15,8337	6,39851	10,1200	12,9045	0,140170
12	10,3	20,5050	15,9180	6,24925	10,1200	12,9899	0,140199
13	10,3	20,9236	15,2288	6,02000	9,9035	13,0742	0,139982
14	10,3	20,5107	15,8928	6,04722	9,9027	12,8867	0,140218
15	10,3	20,5000	15,9400	6,03384	10,0444	13,0665	0,139976
16	10,3	20,7694	15,9261	6,02000	9,7298	13,0800	0,140295
17	10,3	20,9992	15,8744	6,02000	9,6580	13,0800	0,140311
18	10,3	20,5000	15,2113	6,38042	9,6768	13,0800	0,140334
19	10,3	20,9990	15,8589	6,02000	9,6907	12,4230	0,140407
20	10,3	20,5000	15,2179	6,37421	9,7097	12,4300	0,140424
21	10,3	21,0000	15,9400	6,04362	9,8831	12,4240	0,139963
22	10,3	20,9983	15,7921	6,35126	9,8313	13,0800	0,140582
23	10,3	20,9559	15,2617	6,39608	10,1200	12,3872	0,140612
24	10,3	20,9981	15,7810	6,34684	9,8547	12,4834	0,140671
25	10,3	20,8912	15,3816	6,37564	9,7021	13,0800	0,141102
26	10,3	20,5610	15,6958	6,37668	9,6966	12,4251	0,141130
27	10,3	20,8838	15,3953	6,37330	9,7145	12,4317	0,141223
28	10,3	21,0000	15,1800	6,02168	10,1111	13,0800	0,139890
29	10,3	20,5056	15,1800	6,02429	9,5200	13,0800	0,139886
30	10,3	20,5000	15,9400	6,02349	10,1015	13,0800	0,139757
31	10,3	20,5415	15,1800	6,41000	9,9516	13,0798	0,139628
32	10,3	21,0000	15,9400	6,05299	9,9452	13,0798	0,139559
33	10,3	20,5854	15,1800	6,08541	9,7734	13,0796	0,139427

ANEXO I

OPTIMIZACIONES REALIZADAS POR FORMACIÓN PARA CALCULAR LOS TIEMPOS TOTALES DE PERFORACIÓN

FORMACIÓN INDIFERENCIADO

Optimizaciones para densidad de 8,93 ppg

Soluciones

Solución	ROP	ROTACIÓN	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GEL 10 MIN	ECD - DENSIDAD DE LODO Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	400	50,000	8,93	3,03000	2,01000	3,02000	0,0137531	1,00000
2	400	50,000	8,93	3,60000	2,01000	3,33000	0,0181667	1,00000
3	400	50,000	8,93	3,03000	2,01000	3,33000	0,0174773	1,00000
4	400	50,000	8,93	3,60000	2,53000	3,02000	0,0183573	1,00000
5	400	50,000	8,93	3,03000	2,53000	3,02000	0,0178131	1,00000

Optimizaciones para densidad de 8,95 ppg

Soluciones

Solución	ROP	ROTACIÓN	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GEL 10 MIN	ECD - DENSIDAD DE LODO Ajuste
1	400,000	50,000	8,95	3,60000	2,53000	3,33000	0,0221905
2	400,000	50,000	8,95	3,60000	2,53000	3,33000	0,0221905
3	400,000	50,000	8,95	4,03626	2,53000	3,33000	0,0226452
4	400,000	56,286	8,95	3,60000	2,53000	3,33000	0,0231839
5	400,000	50,000	8,95	3,60000	2,53000	3,63000	0,0251134
6	596,905	50,000	8,95	4,17000	2,53000	3,33000	0,0253372
7	400,000	50,000	8,95	3,60000	3,06000	3,33000	0,0254361
8	400,000	50,000	8,95	3,97938	2,53000	3,63000	0,0255701
9	592,660	50,000	8,95	3,99083	2,53000	3,33000	0,0257257
10	400,000	50,000	8,95	4,01223	3,06000	3,33000	0,0258438

Optimizaciones para densidad de 8,98 ppg

Soluciones

Solución	ROP	ROTACIÓN	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GEL 10 MIN	ECD - DENSIDAD DE LODO
							Ajuste
1	400,000	50,000	8,98	4,17000	3,06000	3,63000	0,0293902
2	400,000	50,000	8,98	4,56339	3,06000	3,63000	0,0298023
3	400,000	50,000	8,98	4,17000	3,06000	3,94000	0,0319822
4	400,000	50,000	8,98	4,17000	3,58000	3,63000	0,0320349
5	400,000	50,000	8,98	4,51825	3,06000	3,94000	0,0324041
6	400,000	50,000	8,98	4,55626	3,58000	3,63000	0,0324263
7	593,625	50,000	8,98	4,75000	3,06000	3,63000	0,0330291
8	589,520	50,000	8,98	4,61493	3,06000	3,63000	0,0332459
9	400,000	81,832	8,98	4,17000	3,06000	3,63000	0,0335776
10	524,323	50,000	8,98	4,64191	3,27548	3,66805	0,0337619
11	400,000	79,861	8,98	4,37523	3,06000	3,63000	0,0338351
12	400,000	50,000	8,98	4,17000	3,58000	3,94000	0,0343100

Optimizaciones para densidad de 9,01 ppg

Soluciones

Solución	ROP	ROTACIÓN	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GEL 10 MIN	ECD - DENSIDAD DE LODO
							Ajuste
1	400,000	50,000	9,01	4,75000	3,58000	3,94000	0,0356558
2	400,000	50,000	9,01	5,09218	3,58000	3,94000	0,0360262
3	400,000	50,000	9,01	4,75000	4,10000	3,94000	0,0378912
4	400,000	50,000	9,01	4,75000	3,58000	4,25000	0,0379495
5	400,000	50,000	9,01	5,08412	4,10000	3,94000	0,0382445
6	400,000	50,000	9,01	5,04207	3,58000	4,25000	0,0383122
7	590,899	50,000	9,01	5,32000	3,58000	3,94000	0,0398370
8	400,000	50,000	9,01	4,75000	4,10000	4,25000	0,0399110
9	400,000	87,351	9,01	4,75000	3,58000	3,94000	0,0399296
10	586,380	50,000	9,01	5,21943	3,58000	3,94000	0,0399326
11	400,000	84,571	9,01	4,93468	3,58000	3,94000	0,0401076

Optimizaciones para densidad de 9,04 ppg

Soluciones

Solución	ROP	ROTACIÓN	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GEL 10 MIN	ECD - DENSIDAD DE LODO Ajuste
1	400,000	50,000	9,04	5,32000	4,10000	4,25000	0,0411872
2	400,000	50,000	9,04	5,61551	4,10000	4,25000	0,0415205
3	400,000	50,000	9,04	5,32000	4,63000	4,25000	0,0431253
4	400,000	50,000	9,04	5,32000	4,10000	4,55000	0,0431792
5	400,000	50,000	9,04	5,60632	4,63000	4,25000	0,0434425
6	400,000	50,000	9,04	5,56180	4,10000	4,55000	0,0434883
7	400,000	50,000	9,04	5,32000	4,63000	4,55000	0,0448735
8	400,000	50,000	9,04	5,55189	4,63000	4,55000	0,0451655
9	400,000	92,929	9,04	5,32000	4,10000	4,25000	0,0454954
10	400,000	89,157	9,04	5,49581	4,10000	4,25000	0,0456204
11	587,652	50,000	9,04	5,89000	4,10000	4,25000	0,0458776
12	582,590	50,000	9,04	5,81373	4,10000	4,25000	0,0458867

Optimizaciones para densidad de 9,06 ppg

Soluciones

Solución	ROP	ROTACIÓN	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GEL 10 MIN	ECD - DENSIDAD DE LODO Ajuste
1	400,000	50,000	9,06	5,89000	4,63000	4,55000	0,0459346
2	400,000	50,000	9,06	6,12878	4,63000	4,55000	0,0462211
3	400,000	50,000	9,06	5,89000	5,15000	4,55000	0,0475585
4	400,000	50,000	9,06	5,89000	4,63000	4,86000	0,0477946
5	400,000	50,000	9,06	6,11870	5,15000	4,55000	0,0478292
6	400,000	50,000	9,06	6,06734	4,63000	4,86000	0,0480342
7	400,000	50,000	9,06	5,89000	5,15000	4,86000	0,0491891
8	400,000	50,000	9,06	6,05674	5,15000	4,86000	0,0494119
9	400,000	85,177	9,06	6,04454	4,63000	4,86000	0,0500232
10	400,000	98,547	9,06	5,89000	4,63000	4,55000	0,0503006
11	400,000	93,701	9,06	6,05436	4,63000	4,55000	0,0503692
12	400,000	79,789	9,06	6,13838	4,88667	4,86000	0,0507295
13	456,927	50,000	9,06	6,12079	4,79345	4,86000	0,0507408
14	465,036	50,000	9,06	5,99571	4,80701	4,82980	0,0508101
15	400,434	113,108	9,06	5,89000	4,63000	4,86000	0,0510060
16	578,385	50,000	9,06	6,39968	4,63000	4,55000	0,0510123
17	462,239	50,000	9,06	6,29469	4,87200	4,83509	0,0510683
18	584,025	50,000	9,06	6,46000	4,63000	4,55000	0,0510684
19	472,573	83,381	9,06	5,91271	4,68058	4,55000	0,0514879
20	400,000	129,677	9,06	5,89000	4,63000	4,86000	0,0518140
21	400,000	91,667	9,06	6,00916	5,15000	4,55000	0,0518684

Optimizaciones para densidad de 9,09 ppg

Soluciones

Solución	ROP	ROTACIÓN	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GEL 10 MIN	ECD - DENSIDAD DE LODO Ajuste
1	400,000	50,000	9,09	6,46000	5,15000	4,86000	0,0504082
2	400,000	50,000	9,09	6,63897	5,15000	4,86000	0,0506326
3	400,000	50,000	9,09	6,46000	5,67000	4,86000	0,0517746
4	400,000	50,000	9,09	6,62808	5,67000	4,86000	0,0519832
5	400,000	50,000	9,09	6,46000	5,15000	5,17000	0,0520965
6	400,000	50,000	9,09	6,57103	5,15000	5,17000	0,0522522
7	400,000	50,000	9,09	6,46000	5,67000	5,17000	0,0532471
8	400,000	50,000	9,09	6,55992	5,67000	5,17000	0,0533860
9	400,000	105,422	9,09	6,46000	5,15000	4,86000	0,0548054
10	400,000	98,891	9,09	6,61949	5,15000	4,86000	0,0548108
11	458,339	50,000	9,09	7,00727	5,15000	5,17000	0,0549572
12	456,178	50,000	9,09	6,64063	5,38598	5,15773	0,0551458
13	400,000	119,283	9,09	6,53800	5,15000	5,17000	0,0553064
14	573,141	50,000	9,09	6,99294	5,15000	4,86000	0,0558305
15	579,472	50,000	9,09	7,03000	5,15000	4,86000	0,0559580
16	400,000	145,780	9,09	6,46000	5,15000	5,17000	0,0560632
17	400,000	96,659	9,09	6,57275	5,67000	4,86000	0,0560777
18	400,000	101,951	9,09	6,46000	5,67000	4,86000	0,0561677

Optimizaciones para densidad de 9,12 ppg

12	456,956	50,000	9,12	7,40010	5,76000	5,46999	0,0589587
13	400,000	112,899	9,12	7,03000	5,76000	5,17000	0,0590876
14	400,000	127,696	9,12	7,11398	5,76000	5,47000	0,0592208
15	400,000	123,038	9,12	7,05294	6,20000	5,47000	0,0599076
16	400,000	109,626	9,12	7,03000	6,20000	5,17000	0,0600799
17	400,000	164,314	9,12	7,03000	5,76000	5,47000	0,0601175
18	549,563	50,000	9,12	7,23672	5,76000	5,17000	0,0601304
19	535,136	50,000	9,12	7,20360	6,20000	5,17000	0,0608500
20	450,235	109,154	9,12	7,03000	5,83106	5,17000	0,0608988
21	400,000	153,616	9,12	7,03000	6,20000	5,47000	0,0610176
22	461,033	110,622	9,12	7,03000	5,76000	5,17000	0,0611853
23	461,592	92,345	9,12	7,61000	5,76000	5,17000	0,0611913
24	515,102	50,000	9,12	7,10326	5,76000	5,47000	0,0613216
25	563,234	50,000	9,12	7,60910	6,20000	5,17000	0,0615388
26	505,494	50,000	9,12	7,04297	6,20000	5,47000	0,0618738

Optimizaciones para densidad de 9,15 ppg

18	533,751	50,000	9,15	7,79751	6,20000	5,47000	0,0632863
19	400,000	108,361	9,15	7,70923	6,72000	5,47000	0,0633225
20	400,000	117,973	9,15	7,61000	6,72000	5,47000	0,0636103
21	452,080	88,420	9,15	8,18000	6,20000	5,47000	0,0637745
22	400,000	164,537	9,15	7,61000	6,72000	5,78000	0,0639084
23	519,481	50,000	9,15	7,75592	6,72000	5,47000	0,0639455
24	438,355	115,087	9,15	7,61000	6,33982	5,47000	0,0640096
25	551,767	50,000	9,15	7,69304	6,29342	5,51901	0,0646321
26	492,130	50,000	9,15	7,61729	6,72000	5,78000	0,0647664
27	437,402	95,462	9,15	8,18000	6,72000	5,47000	0,0651256
28	455,435	123,054	9,15	8,18000	6,20000	5,78000	0,0661038
29	547,210	50,000	9,15	8,16157	6,20000	5,78000	0,0662023
30	442,524	126,547	9,15	8,18000	6,40314	5,78000	0,0662407

Optimizaciones para densidad de 9,17 ppg

27	487,268	50,000	9,17	8,28183	7,21819	6,09	0,0676077	0,414447
28	444,906	130,013	9,17	8,75000	6,72000	6,09	0,0686223	0,401968
29	431,107	135,342	9,17	8,75000	6,93370	6,09	0,0686879	0,401162
30	536,515	50,000	9,17	8,73416	6,72000	6,09	0,0692208	0,394607
31	531,439	164,747	9,17	8,18000	6,72000	6,09	0,0712073	0,370174
32	523,854	164,321	9,17	8,18000	7,24000	6,09	0,0722231	0,357680

Optimizaciones para densidad de 9,2 ppg

26	400,000	164,065	9,2	9,32000	7,24000	6,39	0,0702356	0,382125
27	433,013	122,738	9,2	9,32000	7,24000	6,39	0,0702791	0,381590
28	417,925	140,624	9,2	9,32000	7,46964	6,39	0,0706031	0,377605
29	400,000	163,701	9,2	9,32000	7,77000	6,39	0,0711809	0,370498
30	524,110	50,000	9,2	9,31841	7,24000	6,39	0,0718176	0,362668
31	519,481	165,009	9,2	8,75000	7,24000	6,39	0,0730248	0,347819
32	510,780	164,554	9,2	8,75000	7,77000	6,39	0,0737797	0,338535

Optimizaciones para densidad de 9,23 ppg

29	495,979	164,955	9,23	9,32000	8,29000	6,70000	0,0748064	
30	503,923	129,302	9,23	9,32000	7,92177	6,39000	0,0751256	
31	508,721	96,141	9,23	9,89000	8,29000	6,39000	0,0756525	
32	509,311	163,599	9,23	9,89000	7,77000	6,70000	0,0770978	

Optimizaciones para densidad de 9,25 ppg

27	491,032	50,000	9,25	10,4532	8,29000	7,0	0,0755518	0,316738
28	486,968	126,828	9,25	9,8900	8,46369	6,7	0,0761794	0,309019
29	490,049	87,569	9,25	10,4600	8,81000	6,7	0,0764353	0,305872
30	502,623	98,003	9,25	10,4600	8,29000	6,7	0,0769746	0,299238
31	481,678	136,750	9,25	10,4600	8,29896	7,0	0,0769773	0,299206
32	492,943	163,861	9,25	10,4600	8,29000	7,0	0,0780984	0,285417

Optimizaciones para densidad de 9,28 ppg

25	468,833	50,544	9,28	11,0161	8,81000	7,31	0,0766302	0,303475
26	479,373	50,000	9,28	11,0400	8,93553	7,31	0,0771893	0,296598
27	461,254	112,059	9,28	11,0400	8,90191	7,31	0,0772517	0,295830
28	482,834	83,327	9,28	11,0400	8,81000	7,00	0,0774607	0,293260
29	400,000	162,439	9,28	11,0400	8,81000	7,00	0,0775503	0,292158
30	480,644	140,364	9,28	10,4600	8,81000	7,00	0,0777697	0,289459
31	400,000	161,952	9,28	11,0400	9,34000	7,00	0,0780965	0,285439
32	473,765	164,282	9,28	11,0400	8,81000	7,31	0,0786521	0,278606

Optimizaciones para densidad de 9,31 ppg

23	459,361	55,230	9,31	11,6100	9,34000	7,31000	0,0770192	
24	442,447	51,291	9,31	11,5773	9,34000	7,62000	0,0770625	
25	455,499	50,000	9,31	11,6100	9,72915	7,62000	0,0776324	
26	460,222	117,674	9,31	11,0400	9,34000	7,31000	0,0776502	
27	489,157	50,000	9,31	11,6100	9,45502	7,31000	0,0782179	

Optimizaciones para densidad de 9,34 ppg

21	434,609	50,000	9,34	11,7884	9,8600	7,62000	0,0767105
22	438,368	55,820	9,34	11,6100	9,8600	7,62000	0,0767553
23	448,556	50,000	9,34	11,6100	10,2479	7,62000	0,0770615
24	416,291	164,742	9,34	12,1800	10,3800	7,92000	0,0776273
25	424,119	163,403	9,34	11,6100	10,3800	7,62000	0,0777425
26	434,182	50,000	9,34	12,1800	10,0707	7,92000	0,0779715

Optimizaciones para densidad de 9,36 ppg

20	400,315	50,417	9,36	12,7500	10,3800	8,23000	0,0773804
21	423,646	50,000	9,36	12,7251	10,9000	7,92000	0,0775120
22	415,828	164,739	9,36	12,1800	10,3800	7,92000	0,0776336
23	432,351	50,000	9,36	12,3150	10,9000	8,16026	0,0778352
24	428,683	50,000	9,36	12,7288	10,5897	7,92000	0,0780804
25	400,000	163,525	9,36	12,7500	10,3800	7,92000	0,0800796

Optimizaciones para densidad de 9,39 ppg

7	400,000	165,374	9,39	12,7500	11,4300	8,23000	0,0768313
8	400,000	165,748	9,39	12,7500	11,0239	8,23000	0,0769143
9	400,000	165,910	9,39	13,3200	11,4300	8,54000	0,0769469
10	400,000	165,910	9,39	13,3200	11,2378	8,54000	0,0770482
11	400,000	50,000	9,39	13,3200	11,4300	8,23000	0,0770938
12	400,000	50,293	9,39	13,3200	11,4300	8,30678	0,0771804
13	400,000	50,000	9,39	13,3200	10,9000	8,23000	0,0778138

Optimizaciones para densidad de 9,42 ppg

4	400	52,099	9,42	13,3200	11,9500	8,73336	0,0765793	0,304101
5	400	165,830	9,42	13,3200	11,9500	8,54000	0,0766568	0,303147
6	400	165,910	9,42	13,3200	11,7637	8,54000	0,0767552	0,301937
7	400	165,910	9,42	13,9000	11,9500	8,84000	0,0769006	0,300149
8	400	165,910	9,42	13,9000	11,4300	8,84000	0,0773410	0,294732
9	400	50,293	9,42	13,3200	11,4300	8,54000	0,0774024	0,293977
10	400	52,574	9,42	13,3200	11,4300	8,60383	0,0774430	0,293477

Optimizaciones para densidad de 9,45 ppg

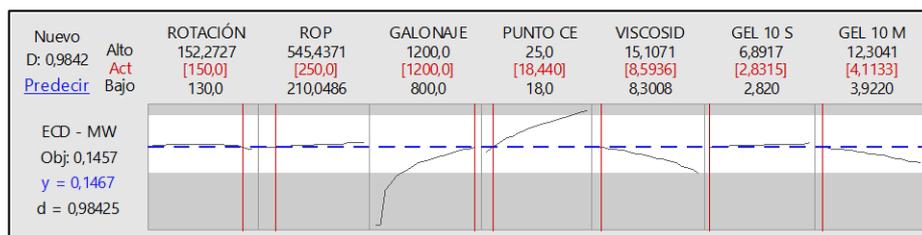
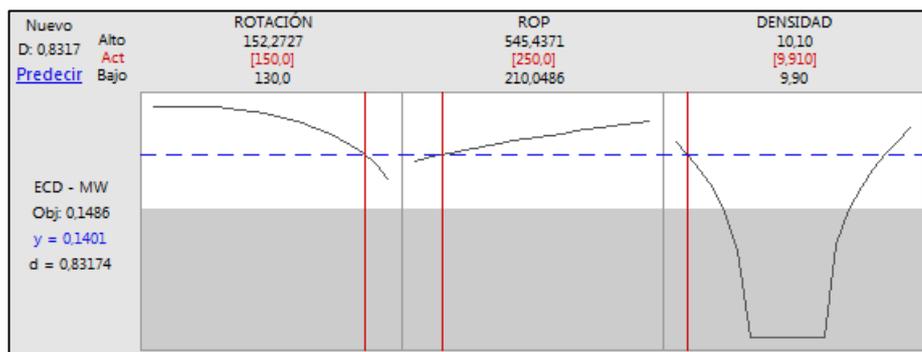
Soluciones

Solución	ROP	ROTACIÓN	DENSIDAD	PUNTO CEDENTE	VISCOSIDAD PLÁSTICA	GEL 10 MIN	ECD - DENSIDAD DE LODO Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	400	165,910	9,45	13,9000	12,47	9,15000	0,0726814	0,352043
2	400	165,910	9,45	13,9000	11,95	9,15000	0,0733073	0,344345
3	400	165,910	9,45	13,9000	12,47	8,84000	0,0764092	0,306193

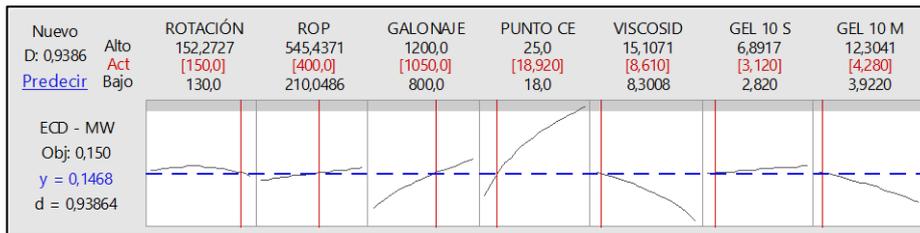
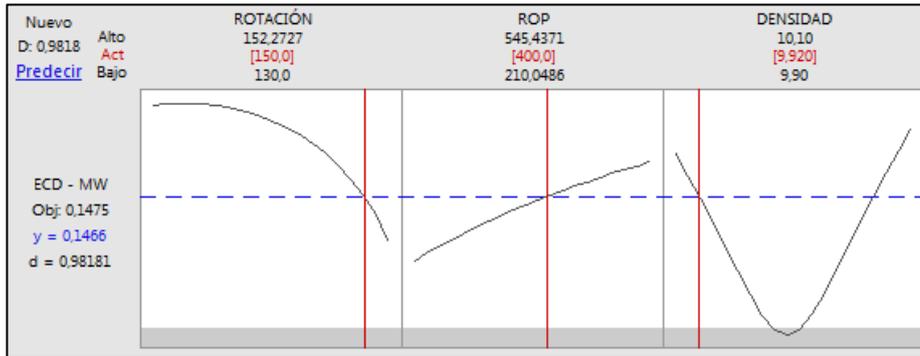
FORMACIÓN ORTEGUAZA

En esta formación se realizan 9 optimizaciones.

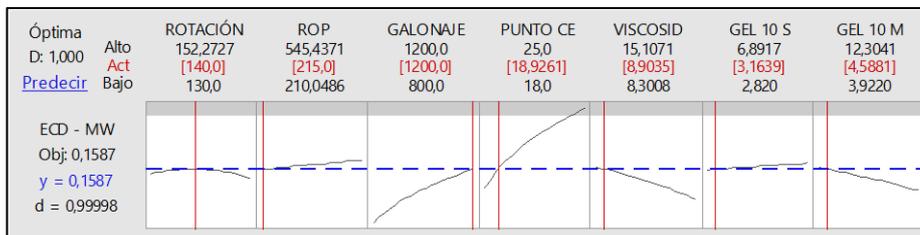
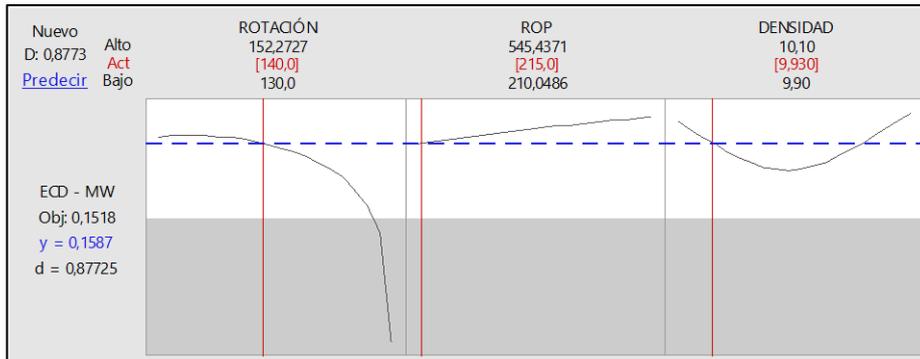
Optimizaciones para densidad de 9.91 ppg



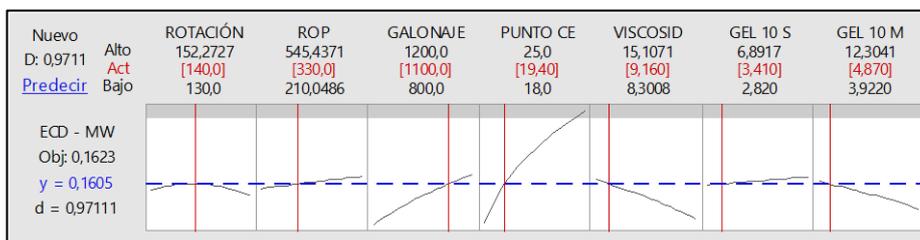
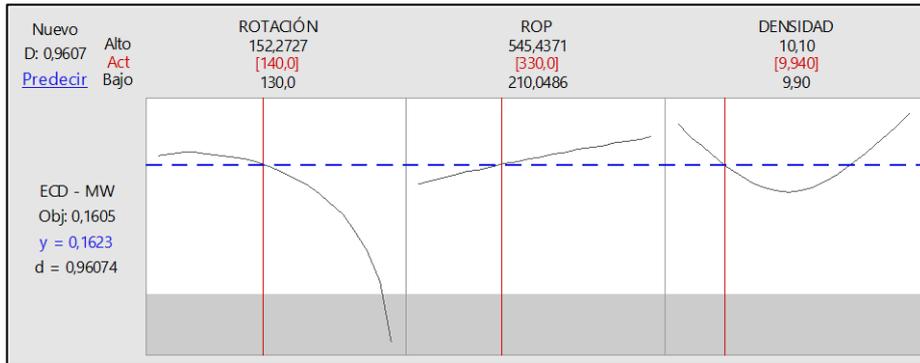
Optimizaciones para densidad de 9.92 ppg



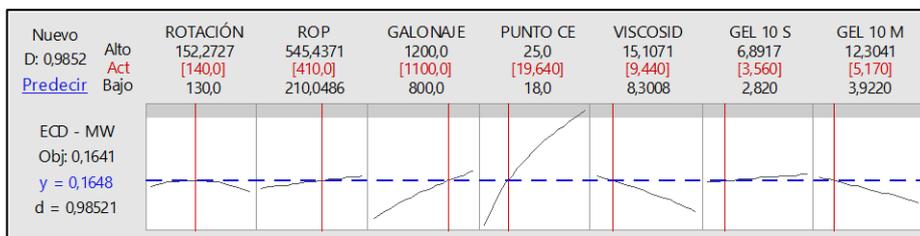
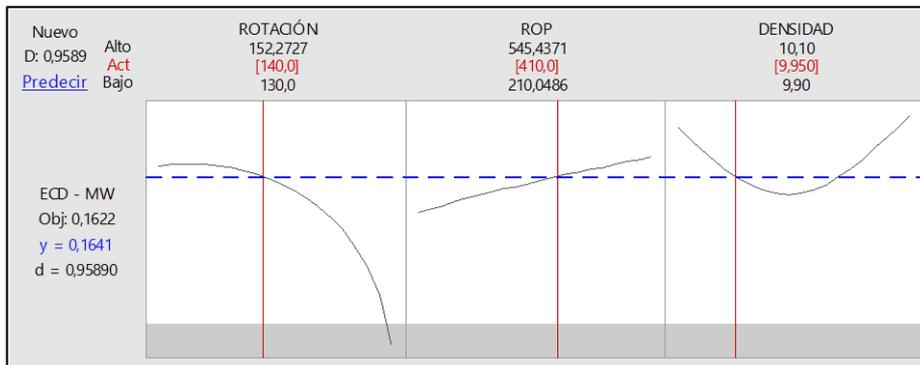
Optimizaciones para densidad de 9.93 ppg



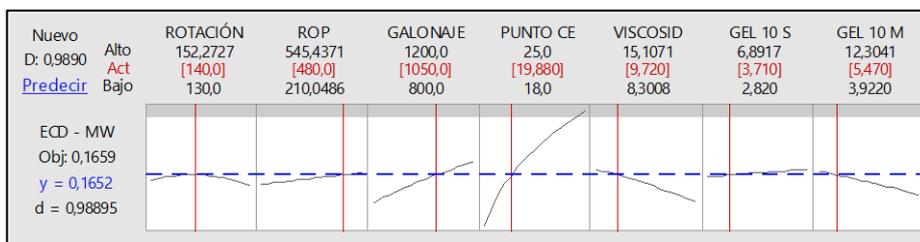
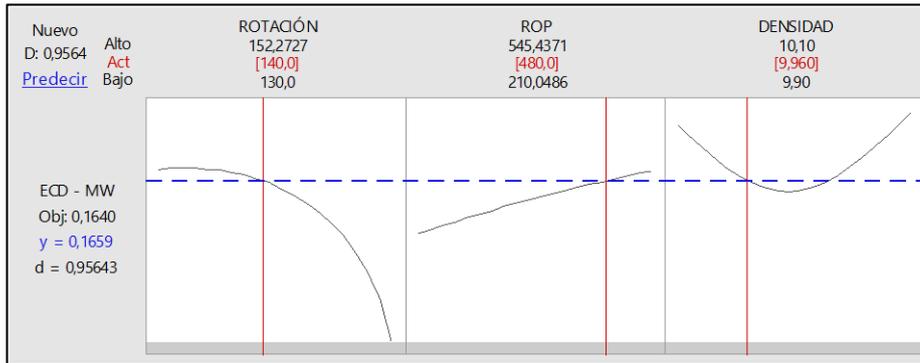
Optimizaciones para densidad de 9.94 ppg



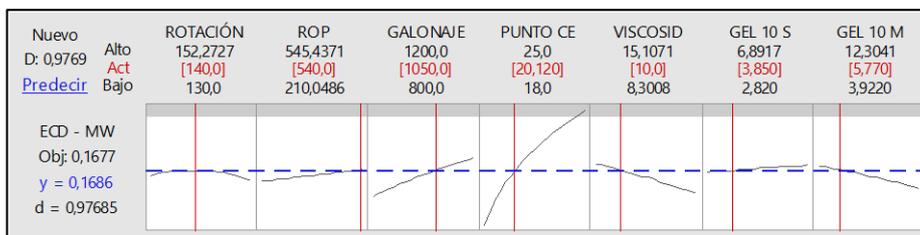
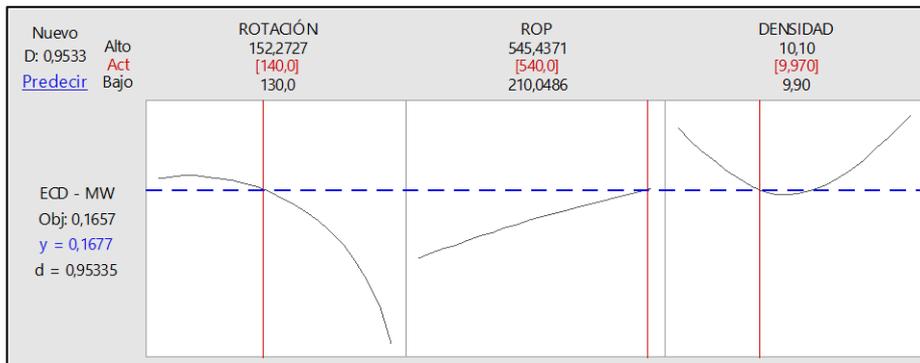
Optimizaciones para densidad de 9.95 ppg



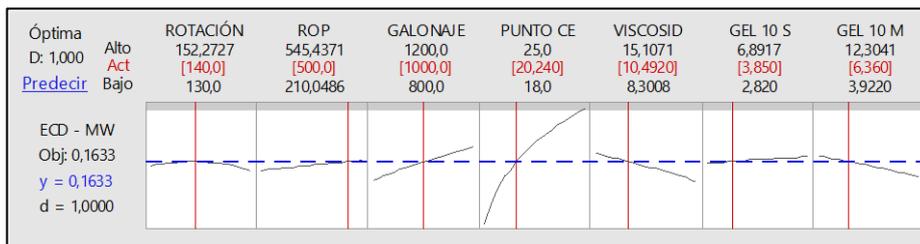
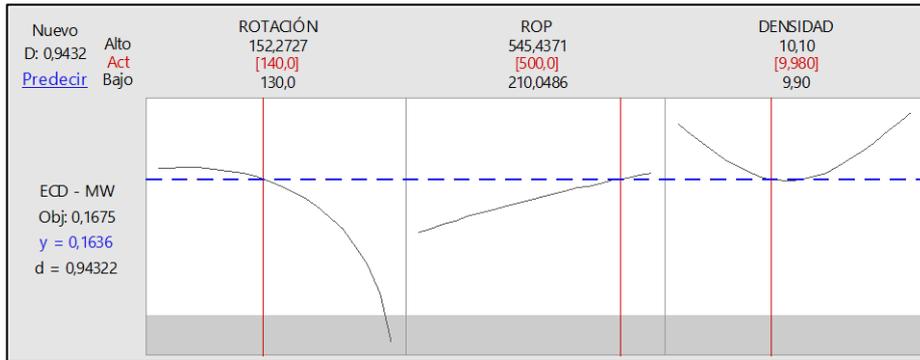
Optimizaciones para densidad de 9.96 ppg



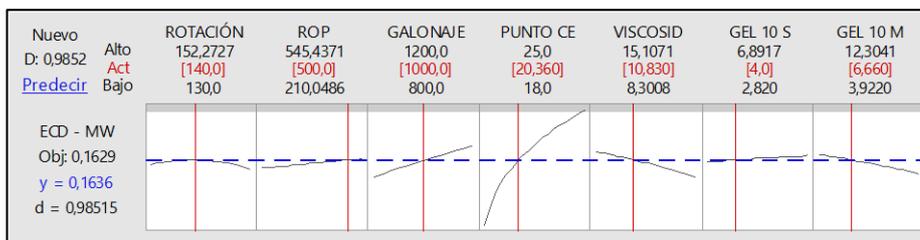
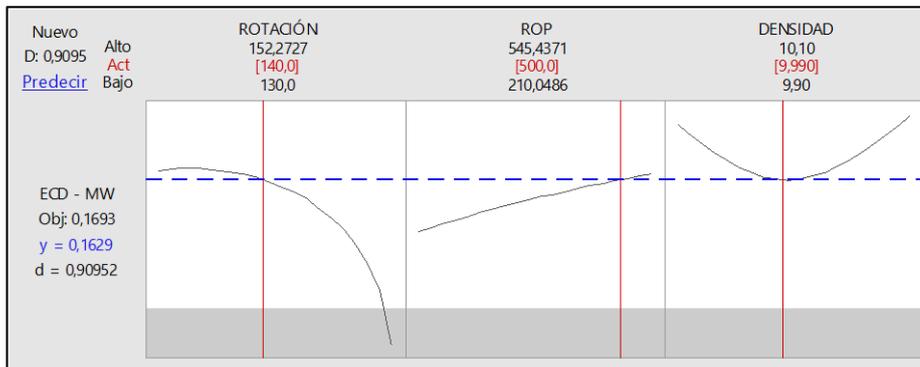
Optimizaciones para densidad de 9.97 ppg



Optimizaciones para densidad de 9.98 ppg



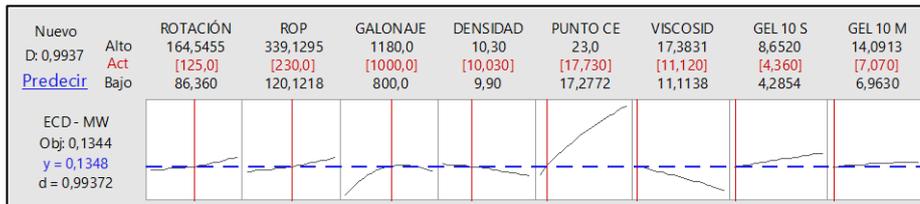
Optimizaciones para densidad de 9.99 ppg



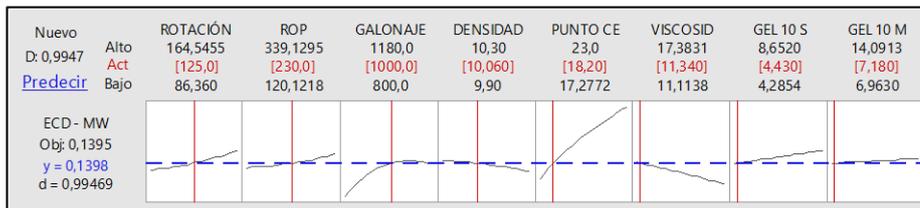
FORMACIÓN TIYUYACU

En esta formación se realizan 6 optimizaciones

Optimización para densidad de 10.03 ppg



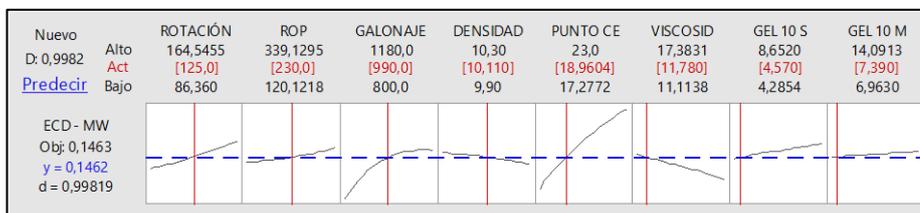
Optimización para densidad de 10.06 ppg



Optimización para densidad de 10.09 ppg



Optimización para densidad de 10.11 ppg



Optimización para densidad de 10.14 ppg

Nuevo		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CE	VISCOSID	GEL 10 S	GEL 10 M
D: 0,9969	Alto	164,5455	339,1295	1180,0	10,30	23,0	17,3831	8,6520	14,0913
	Act	[125,0]	[230,0]	[990,0]	[10,140]	[19,580]	[12,010]	[4,640]	[7,490]
Predecir	Bajo	86,360	120,1218	800,0	9,90	17,2772	11,1138	4,2854	6,9630

ECD - MW									
Obj: 0,1517									
y = 0,1515									
d = 0,99691									

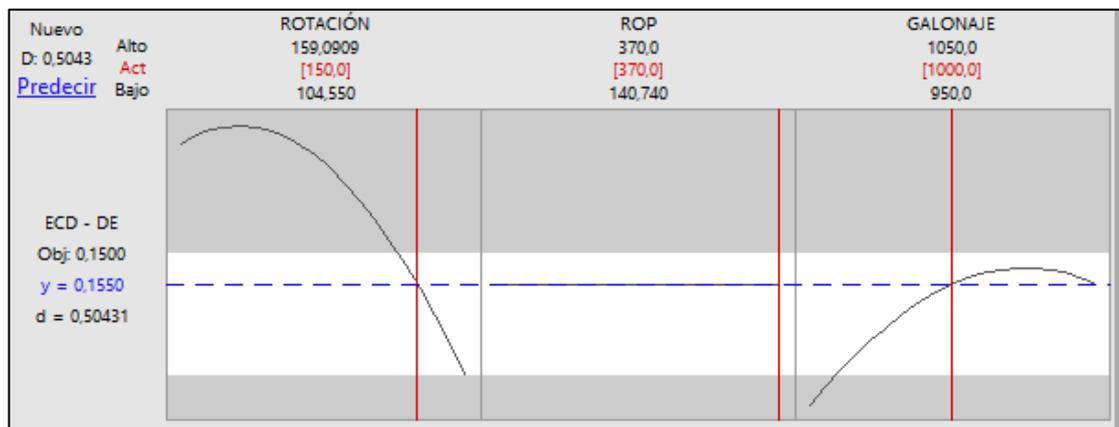
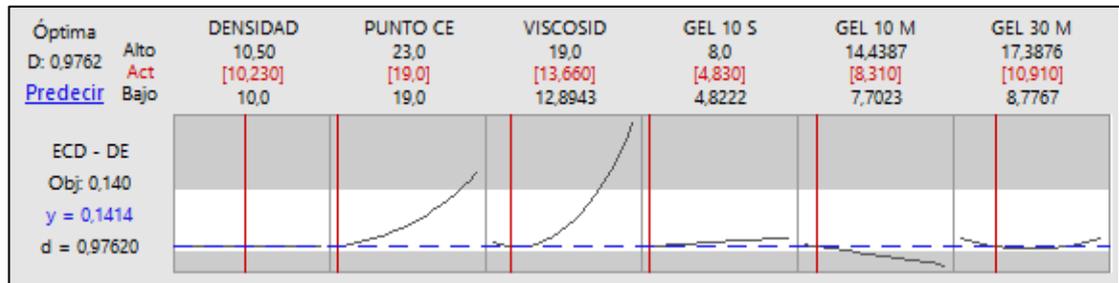
Optimización para densidad de 10.17 ppg

Nuevo		ROTACIÓN	ROP	GALONAJE	DENSIDAD	PUNTO CE	VISCOSID	GEL 10 S	GEL 10 M
D: 0,9980	Alto	164,5455	339,1295	1180,0	10,30	23,0	17,3831	8,6520	14,0913
	Act	[125,0]	[230,0]	[990,0]	[10,170]	[19,8150]	[12,3773]	[4,640]	[7,490]
Predecir	Bajo	86,360	120,1218	800,0	9,90	17,2772	11,1138	4,2854	6,9630

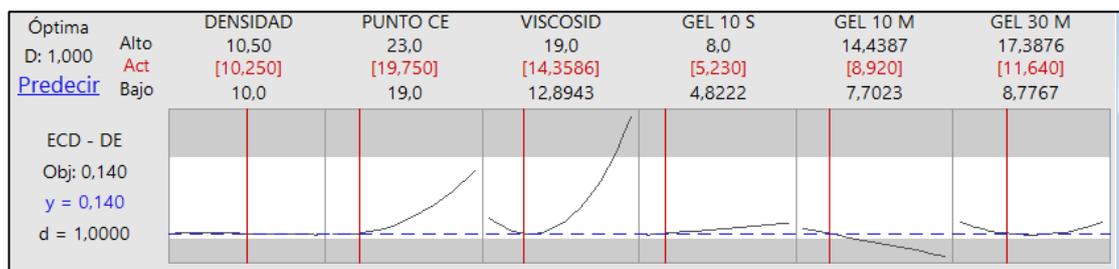
ECD - MW									
Obj: 0,1525									
y = 0,1524									
d = 0,99800									

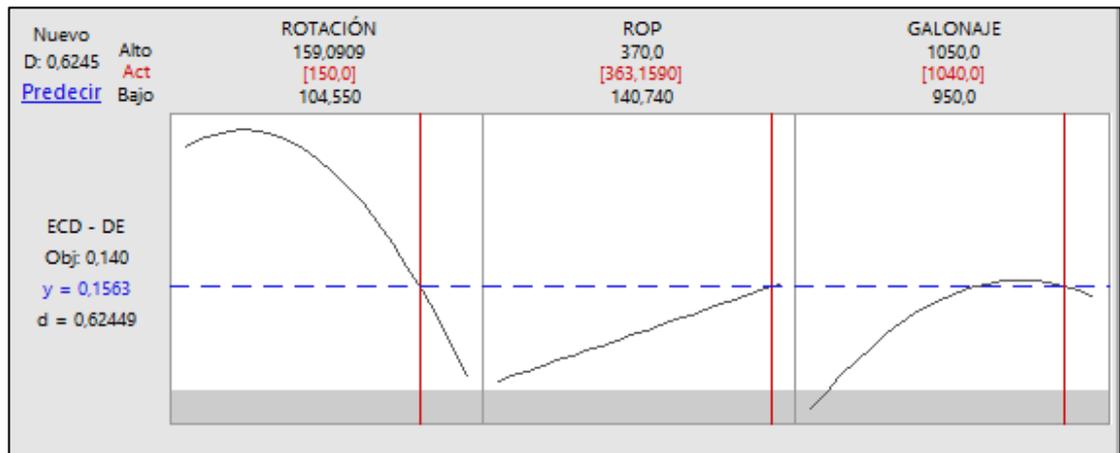
FORMACIÓN TENA

Optimizaciones para densidad de 10,23 ppg

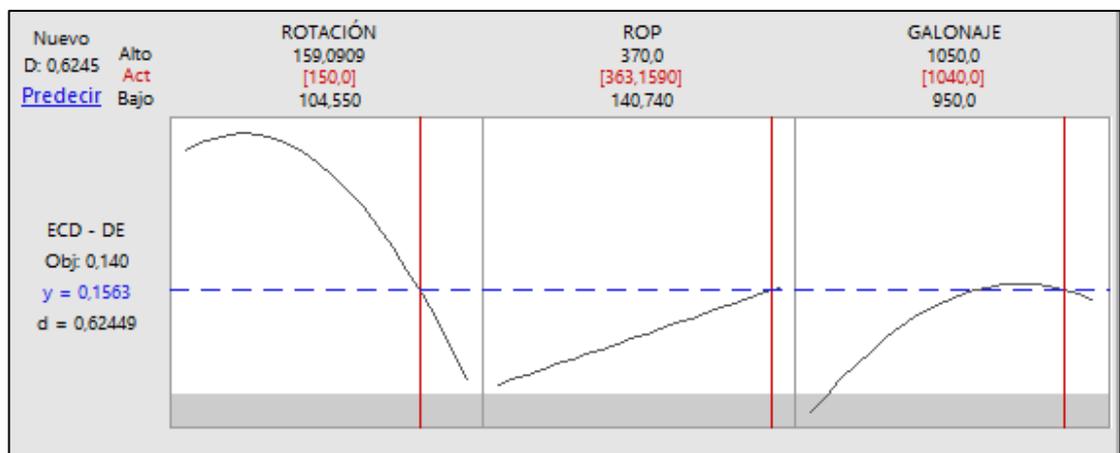
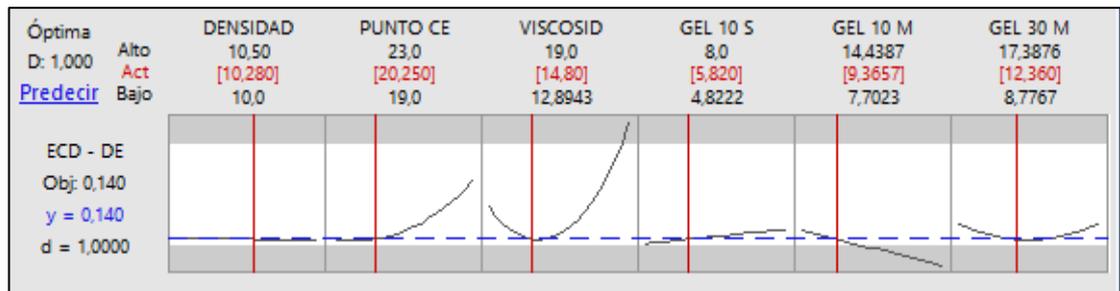


Optimizaciones para densidad de 10,25 ppg





Optimizaciones para densidad de 10,28 ppg



BIBLIOGRAFÍA

- Amanna, B., & Khorsand, M. (2016). *Cutting transport behavior in direccional drilling using computational fluid dynamics*. Tehran, Iran: Journal of Natural Gas Science and Engineering.
- Annis, M., & Smith, M. (1974). *Drilling Fluids Technology*.
- API. (2014). *Manual de Fluidos de Perforación*. Dallas, Texas.
- Azar, J., & Robello, S. (2007). *Drilling Engineering*. Oklahoma: PennWell Corporation.
- BAKER, H. (2006). *Drilling Fluids reference manual*.
- CEDIP. (s.f.). *Barrenas e hidráulica de perforación*. México.
- Fernández, M., & Romero, J. (2003). *CURSO BÁSICO DE PERFORACIÓN DIRECCIONAL*.
- Mengjiao, Y., & Takach, N. (2007). *An Experimental Study of Hole Cleaning Under Simulated Downhole Conditions*. California.
- Ogunrinde, J., & Dosunmu, A. (2012). *Hydraulics Optimization for Efficient Hole Cleaning in Deviated and Horizontal Wells*. Choba.
- Piroozian, A., & Babakhani, P. (2012). *Impact of drilling fluid viscosity, velocity and hole inclination on cuttings transport in horizontal and higly deviated wells*. Malaysia.
- Tobenna, U. (2010). *Hole Cleaning and Hydraulics*. Tesis de maestría, Univrsitetet i Stavanger, Stavanger.
- Zhang, F., Miska, S., Yu, M., Ozbayoglu, E., Takach, N., & Osgouei, R. (2015). *Is Well Clean Enough? A Fast Approach to Estimate Hole Cleaning for Directional Drilling*. Texas.