

**OPTIMIZACIÓN DE PRODUCCIÓN MEDIANTE EL ANÁLISIS DE
SENSIBILIDAD DE LAS TASAS DE FLUIDO Y CONSUMO DE ENERGÍA EN
LOS POZOS DEL ÁREA DE CRAVO NORTE.**

MONICA TATIANA VILLARREAL MOYANO

STEFANIA CABRERA GUTIERREZ

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA DE PETROLEOS

NEIVA, HUILA

2013



**OPTIMIZACIÓN DE PRODUCCIÓN MEDIANTE EL ANÁLISIS DE
SENSIBILIDAD DE LAS TASAS DE FLUIDO Y CONSUMO DE ENERGÍA EN
LOS POZOS DEL ÁREA DE CRAVO NORTE.**

MONICA TATIANA VILLARREAL MOYANO

STEFANIA CABRERA GUTIERREZ

Trabajo Proyecto de Grado

Director: Carlos Ibarra Hurtado

Codirector: Ervin Aranda Aranda

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA DE PETROLEOS

NEIVA, HUILA

2013



Nota de aceptación:

Firma del Codirector

Firma del jurado

Firma del jurado

Neiva, 04 Febrero 2013



DEDICATORIA

Dedico este trabajo primordialmente a Dios, porque Él es la razón de mi vida y sin su amor y sostén no habría llegado hasta este momento tan importante de mi formación académica. A mis papas y hermano, por los valores inculcados y por demostrarme siempre su amor y apoyo incondicional. A mi abuelito porque fue un hombre de admirar y porque siempre me inculcó lo importante que es la formación académica y compromiso laboral. A mi abuelita porque me ha enseñado a ser persona y me ha dado su buen ejemplo. Finalmente a mis profesores y mi director de tesis, por su colaboración, por su sabiduría transmitida y apoyo durante la elaboración de este proyecto.

Mónica Tatiana Villarreal Moyano

A Dios, por permitirme llegar a este momento especial en mi vida. A mis padres que me han acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida, a mi hermana por ser mi mejor amiga y apoyo incondicional. Y por último a mis profesores de universidad por todo lo enseñado y el apoyo brindado durante estos últimos cinco años.

Stefania Cabrera Gutiérrez



AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo no habría sido posible sin la ayuda directa o indirecta de muchas personas a las que agradecemos profundamente por estar presente en el proceso de elaboración de nuestro proyecto de grado, así como en el resto de nuestras vidas.

Gracias a Dios por enseñarnos el camino de la sabiduría y la perseverancia, sin Él no habiéramos podido cumplir nuestras metas académicas.

A nuestros padres Eduardo Villarreal Puentes, Martha Elena Moyano Vargas, Jaro Cabrera Polanco y Ángela María Gutiérrez. Quienes entendieron nuestras ausencias y que a pesar de nuestros malos momentos nunca se rindieron en brindarnos su apoyo; a nuestros hermanos Sergio Andrés Villareal Moyano y Daniela Cabrera Gutiérrez, que con su alegría y buenos consejos avivaron nuestras largas noches de trabajo.

A Occidental de Colombia LLC por brindarnos la oportunidad de trabajar y aportar nuestros estudios a su campo laboral, además de ofrecernos toda la información requerida. A nuestro Director Ing. Carlos Ibarra Hurtado; Senior de Producción, por haber confiado en nosotras, por la paciencia y la dirección de este trabajo. Al Ingeniero de producción Luis Carlos Villamizar Delgado, por dedicar su tiempo, compartir su sabiduría y principalmente por su arduo compromiso y trabajo con este proyecto. A nuestro Codirector Ing. Ervin Aranda Aranda cuya supervisión hizo posible que nuestro trabajo se desarrollara de manera satisfactoria, a nivel personal y académico. A nuestros jurados Ing. Luis Humberto Orduz y Ing. Hayde Morales por brindar el tiempo requerido para la evaluación del trabajo.

Finalmente a mi compañeros, que nos apoyaron y nos permitieron entrar en su vida durante este tiempo.



CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	
1. GENERALIDADES	16
1.1 GENERALIDADES DEL CAMPO	16
1.2 GENERALIDADES DEL SISTEMA	17
1.3 GENERALIDADES DEL SOLVER	20
2. DESARROLLO DE LA PROPUESTA	22
3. RESULTADOS	34
4. COSTO / BENEFICIO	52
4.1 COSTOS	52
4.2 BENEFICIOS	53
5. CONCLUSIONES	56
6. RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFIA	



LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. DATA DE TRONCALES PF1.	23
TABLA 2. DATA DE TRONCALES PF2.	24
TABLA 3. ESCENARIO IDEAL TRONCALES PF1.	34
TABLA 4. ESCENARIO REAL, TRONCALES PF1	37
TABLA 5 ESCENARIO IDEAL, TRONCALES PF2	40
TABLA 6. ESCENARIO REAL TRONCALES PF2.	44
TABLA 7. LÍNEAS INTERMEDIAS SATURADAS.	48
TABLA 8. INCREMENTOS DE FRECUENCIA DE OPERACIÓN REALIZADOS EL 30 DE MAYO DEL 2013.	48
TABLA 9. DISMINUCIÓN DE FRECUENCIA DE OPERACIÓN Y APAGADO CH-51 REALIZADOS EL 30 DE MAYO DEL 2013.	49
TABLA 10. POZOS CANDIDATOS A REDISEÑOS Y SUS RESPECTIVAS GANANCIAS.	49
TABLA 11. POZOS APAGADOS DURANTE LOS MESES DE ABRIL Y JUNIO DEL 2013.	51
TABLA 12. LIMITE ECONÓMICO DEL POZO LA-086	51
TABLA 13. COSTOS DEL PROYECTO.	52
TABLA 14. GANANCIAS DEL PROYECTO.	54



LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
GRAFICA 1. UBICACIÓN DE CRAVO NORTE.	17
GRAFICA 2. VISTA DE PF1.	18
GRAFICA 3. FOTOGRAFÍA AÉREA DE PF2.	18
GRAFICA 4. CABEZAL DE POZO CON BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE.	19
GRAFICA 5. UNIDAD ROTAFLEX.	19
GRAFICA 6. UNIDAD VSH2.	20
GRAFICA 7. SOLVER, HERRAMIENTA DE EXCEL.	21
GRAFICA 8. TRONCALES QUE INGRESAN A PF1.	21
GRAFICA 9. TRONCALES QUE INGRESAN A PF2.	24
GRAFICA 10. DATOS DE ENTRADA PARA LA CORRIDA EN EL SOLVER.	26
GRAFICA 11. EJEMPLO DE UNA CORRIDA EN EL SOLVER.	31
GRAFICA 12. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.	33
GRAFICA 13. GANANCIAS / PERDIDAS TRONCALES PF1, ESCENARIO IDEAL.	35
GRAFICA 14. GANANCIA / PERDIDAS TRONCALES PF1, ESCENARIO REAL.	38
GRAFICA 15. GANANCIA / PERDIDAS TRONCALES PF2, ESCENARIO IDEAL.	41
GRAFICA 16. GANANCIA / PERDIDA TRONCALES PF", ESCENARIO REAL.	45
GRAFICA 17. INCREMENTOS DE FRECUENCIA DE OPERACIÓN ABRIL – JUNIO DEL 2013.	47
GRAFICA 18. ESTADO MECÁNICO MB-06	50
GRAFICA 19. RELACIÓN COSTO / BENEFICIO.	55



LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A	59
ANEXO B	63
ANEXO C	66



LISTA DE ABREVIATURAS

BHA	Bottom Hole Assembly (Ensamblaje de Fondo de Pozo)
BO	Oil Barrel (Barril de Aceite)
BOPD	Oil Barrel Per Day (Barril de Aceite por Día)
BO/KW	Oil Barrel Per Kilowatt (Barril de aceite por Kilovatio)
BS&W	Basic Sediment and Water
BWPD	Water Barrel Per Day (Barril de Agua por Día)
CD	Campo Caño Dorado
CH	Campo Chigüiro
CM	Campo Caño Manzana
KW	Kilowatt (kilovatio)
LA	Campo La Ayayai
MB	Campo Mata Blanca
MW	Megawatt (Megavatio)
MW/h	Megawatt / Hour (Megavatio / Hora)
Q	Caudal
RD	Rediseños
S/D	Shut Down (apagado)
SR	Sistema de recolección



PF	Production Facility
VSD	Variable Speed Drive (Variador de Velocidad)
WO	Work Over
WTI	West Texas Intermediate o Texas Light Sweet



GLOSARIO

BS&W: Se denomina así a las impurezas del petróleo (sólidos y agua) que están presentes en la muestra a determinar.

CONTACTO AGUA-ACEITE: Si bien el petróleo y el agua son inmiscibles, el contacto entre ambos corresponde normalmente una zona de transición y suele existir agua irreducible que es absorbida por los granos de las rocas y petróleo inmóvil que no puede ser producido.

FACTOR DE RECOBRO: Es el porcentaje de petróleo o gas en sitio en un yacimiento que en última instancia puede ser retirado mediante técnicas primarias o secundarias.

INDICE DE PRODUCTIVIDAD: El índice de productividad es una medida del potencial del pozo o de su capacidad de producir, y es una propiedad de los pozos comúnmente medida.

LIMITE ECONÓMICO: Es el punto en el cual los ingresos obtenidos por la venta de los hidrocarburos se igualan a los costos incurridos en su explotación.

MANIFOLD: Conjunto de tuberías, válvulas y en ocasiones medidor másico ubicados entre cabeza de pozo y líneas intermedias del sistema recolector.

PETROLEO WTI: Es el petróleo que contiene el promedio de características del petróleo extraído en campos occidentales de Texas (USA). Tiene bajo contenido de azufre y es catalogado como petróleo dulce y liviano. El WTI es el indicador internacional que refleja el precio en dólares por barril que sirve de referencia a todos los crudos que se comercializan en el hemisferio occidental.



POTENCIAL: Es la tasa de flujo a la cual el pozo teóricamente es capaz de producir.

ROMPEDORES DE EMULSIÓN: Son agentes surfactantes que interactúan en la interface aceite/agua y tiene como función principal desestabilizar la acción de los agentes emulsionantes.

SEGREGACION: Separación de Fluidos de acuerdo a su densidad y gravedad.

SERAFIN: Tanque en forma cónica, que permite medir el volumen de aceite y agua al aplicarse rompedor directo e inverso para facilitar la separación de estos fluidos. El serafín en su parte superior tiene un visor que permite realizar la lectura del volumen de los fluidos

TRONCAL: Se utilizan principalmente en campos grandes, son líneas que pertenecen al sistema recolector generalmente de gran diámetro que recoge el petróleo de las líneas intermedias y lo envían a la facilidad de producción.



RESUMEN

El presente trabajo de grado, es un estudio de la optimización de producción que se realizó en los pozos del área de Cravo Norte, con el fin de incrementar la producción de barriles de aceite por día, disminuir el consumo de energía, ahorro en el costo de levantamiento y mejoras en la distribución de fluidos en el sistema de recolección. Este estudio se hizo basado en la evaluación de parámetros como índices de productividad, presiones estáticas, tasas de fluido, BS&W, capacidad de levantamiento del equipo de fondo y de superficie, entre otros. Así mismo se corrieron simulaciones en la herramienta de Excel “Solver”, donde se alimentaba con la información correspondiente a cada troncal con los pozos pertenecientes y los parámetros de campo anteriormente nombrados.

Los resultados arrojados por estas simulaciones permiten deducir a que pozos se les puede incrementar su frecuencia de operación para así mismo aumentar su producción sin incurrir en daños estructurales a los pozos o al yacimiento, identificar que pozos están cercanos a su límite económico y determinar su BS&W por medio de pruebas serafín para pozos con BS&W mayor al 99% o pruebas de botella para pozos con BS&W menores, conocer que pozos tienen equipos de fondo y/o superficie trabajando a su límite máximo permitido y cuáles de ellos tienen opción de rediseño, etc.



INTRODUCCIÓN

La optimización de producción de hidrocarburos en la industria petrolera se considera como el aumento de la producción al más bajo costo de levantamiento, con el fin de maximizar la diferencia de ingresos obtenidos por los volúmenes de aceite comercializados y los costos operacionales asociados a la extracción de los mismos.

La finalidad de este trabajo es mejorar la distribución de los fluidos en el Sistema de recolección (SR) y optimizar la producción de aceite en los pozos del área de Cravo Norte, de tal manera que se puedan minimizar las pérdidas de producción por fugas y la reparación de estas en el SR, adicionalmente lograr un incremento en la producción proponiendo rediseños e incrementos de frecuencia de operación en el variador (VSD) con los equipos actualmente instalados, con el fin de llevar la producción de cada pozo a su potencial y si es posible, llevarlos a 10% por encima de su potencial, cambio de líneas intermedias del SR saturadas de fluido con alta velocidad erosiva y ahorro del consumo de energía apagando pozos no económicos.



1. GENERALIDADES

1.1 GENERALIDADES DEL CAMPO

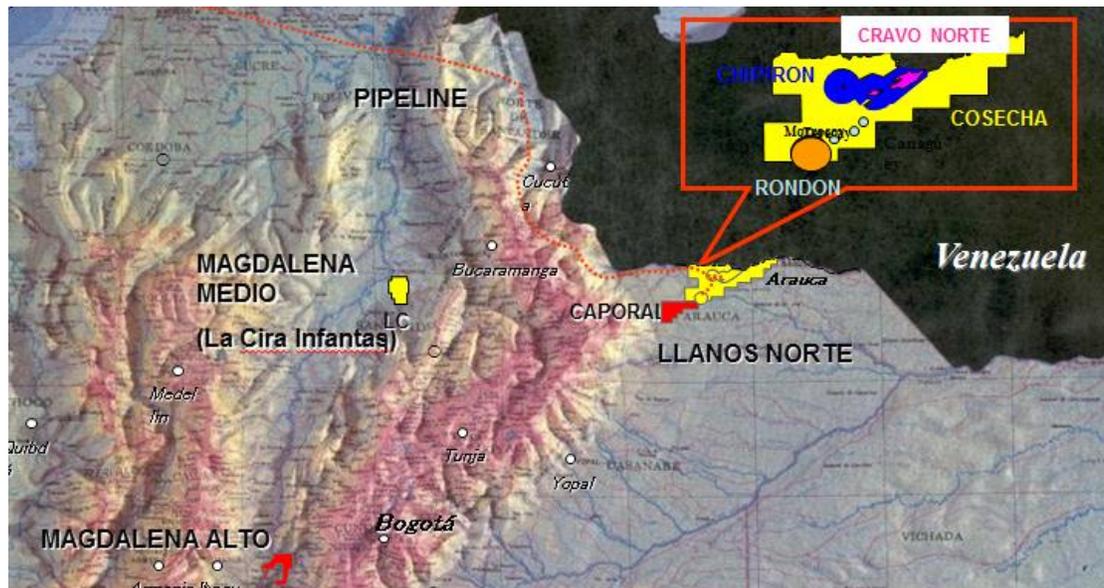
Occidental Petroleum Corporation (OXY) es una compañía internacional encargada de la exploración y producción de hidrocarburos. Oxy ha sido un inversor activo en Colombia desde hace más de cuatro décadas. Actualmente, Oxy tiene operaciones en la Cuenca de los Llanos Norte de la provincia de Arauca, cerca de la frontera noreste, y en la cuenca media del río Magdalena en el departamento de Santander.

En Arauca, Oxy opera el gigantesco campo de Caño Limón, un descubrimiento que permitió a Oxy Colombia convertirse en un exportador de petróleo después de muchos años como un importador neto. Más de 1.200 millones de barriles de petróleo se han producido en Caño Limón desde que Oxy descubrió el campo en 1983.

Según la primera comercialización, se estimaban reservas cercanas a 50 millones de barriles, pero a medida que se fue dando la llamada "producción temprana", el campo mostró sus verdaderas dimensiones de gigante. De hecho, Caño Limón es el líder en Colombia con unas reservas de 1.200 millones de barriles. Hoy en día hay 343 pozos productores, 6 inyectoros y 78 pozos observadores en Caño Limón.

Caño Limón se encuentra entre en el municipio de Arauquita, y la ciudad de Arauca en el departamento de Arauca, Colombia, muy cerca de la frontera con Venezuela; se caracteriza por ser un yacimiento de acuífero activo, de producir crudo y agua (es despreciable el gas producido), tiene un BS&W promedio de 98%, su API es de 29.6 grados con un contenido de azufre de 0.50% y su producción actual es de 40.700 BOPD y 2.600.000 BWPD, que representa 16% de la producción nacional.

Ver ANEXO C.



Gráfica 1. Ubicación de Cravo Norte.

1.2 GENERALIDADES DEL SISTEMA

En el área de Cravo Norte el 90% de los pozos operan con BES (Bombeo Electro Sumergible, ver **grafica 4**) y el 10% con Bombeo Mecánico (Rotaflex, ver **grafica 5** o VSH2, ver **grafica 6**). El mayor consumo de energía es por BES donde un pozo diariamente consume alrededor de 15 MW y un pozo con Bombeo Mecánico consume alrededor de 0.7 MW. Estos MW son suministrados por dos fuentes de energía, la principal es por la empresa ISA que proporciona aproximadamente el 75% de energía al campo con un costo aproximado de USD 80 el MW/h y el otro 25% es por autogeneración a base de aceite, suministrando este a los pozos de mayor tasa de aceite y oficinas.

En Cravo Norte el sistema de recolección consta de manifolds, reducciones o ampliaciones (botellas) y diferentes accesorios, líneas intermedias o flautas, y troncales, donde estas finalizan en las dos facilidades de este campo (ver **graficas 2 y 3**). Cada troncal tiene una trampa de lanzamiento y otra de recibo, una de lanzamiento en el inicio de ellas y otra de recibo en la facilidad, estas trampas determinan la integridad de la troncal, limpian la tubería y miden diámetro interno.

Las facilidades constan de FWKO's, Celdas de flotación (Wemcos), tanques de producción y piscinas de enfriamiento. A la entrada de los FWKO's se encuentra una bota de gas que es la encargada de separar el gas del fluido y envía el gas a la Tea; el fluido entra a los FWKO's, que por medio de decantación se separa agua, aceite y arena.

El aceite es llevado a los tanques de producción donde pasan después a la estación de bombeo. El agua pasa a las celdas de flotación que separan trazas de aceite del agua, el aceite va nuevamente a los FWKO's y el agua es llevada a las piscinas de enfriamiento, que constan de aspersores que envían el agua al ambiente ocurriendo transferencia de calor, de allí el agua pasa a las siguientes piscinas donde se recolectan las trazas de aceite que todavía hay en ella, esas trazas son llevadas a los FWKO's y el agua se vierte a esteros aledaños.



Grafica 2. Vista de PF1.



Grafica 3. Fotografía aérea de PF2.



Grafica 4. Cabezal de pozo con Bombeo Electrosumergible.



Grafica 5. Unidad Rotaflex.



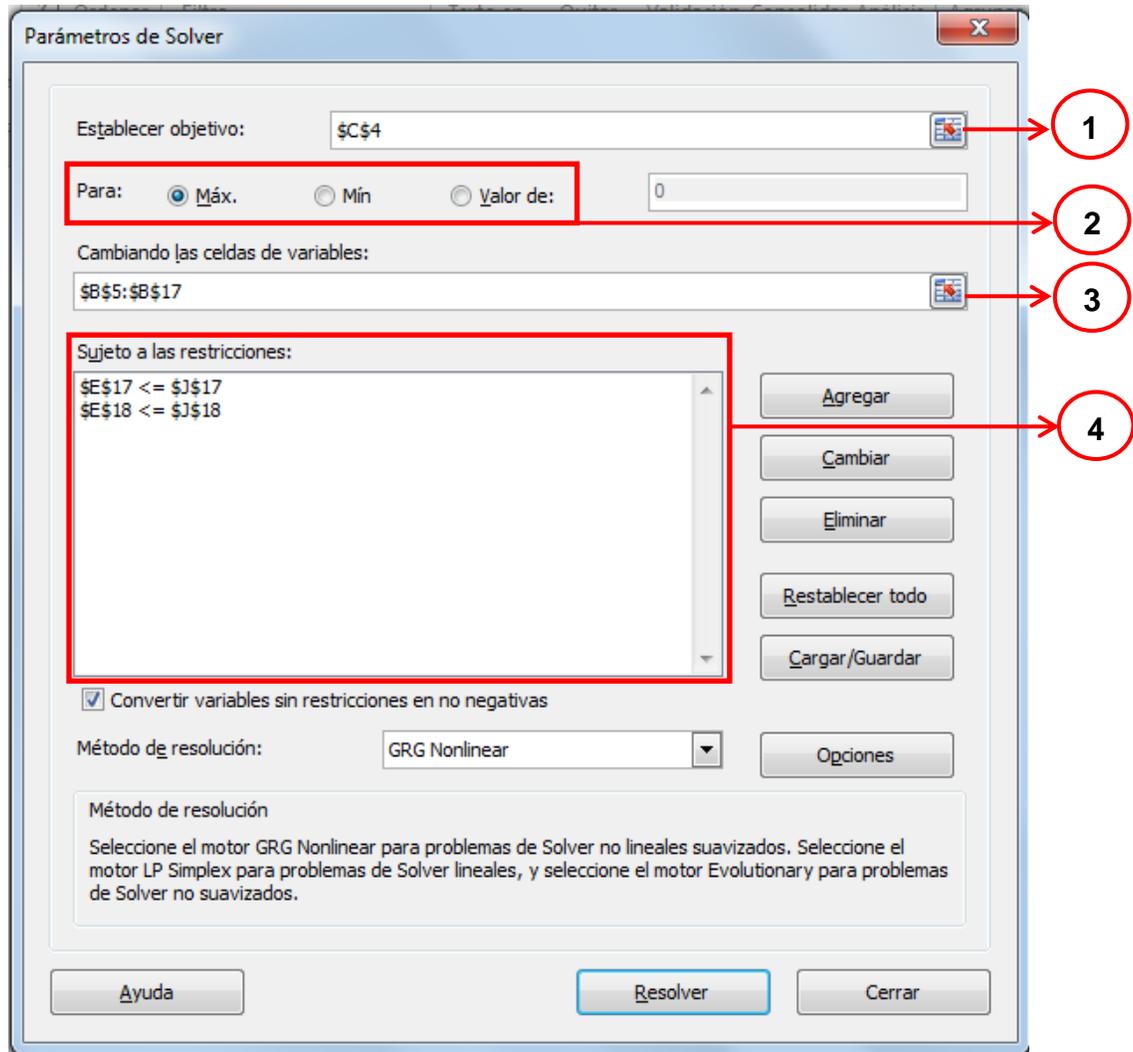
Grafica 6. Unidad VSH2.

1.3 GENERALIDADES DEL SOLVER

Solver es un paquete agregado a Excel, que sirve para optimizar modelos matemáticos, sujeto a restricciones; el resuelve problemas lineales, no lineales y enteros. Con Solver es posible resolver problemas que tengan hasta 200 variables de decisión, 100 restricciones explícitas y 400 simples, además permite el ajuste de fórmulas o modelos a partir de datos reales. Este elemento toma un especial potencial cuando se realiza no sobre una ecuación específica sino sobre un conjunto de ecuaciones interrelacionadas e interdependientes donde el resultado de una afecta el resultado de otras. Otro elemento importante es que Solver viene incorporado en las herramientas que suelen estar en casi todas las computadoras, como son Excel (Microsoft Office) y Calc (OpenOffice).

Con Solver puede modificarse el valor óptimo para una celda, denominada “celda objetivo”. Solver ajusta los valores en las celdas cambiantes que se especifiquen, denominadas “celdas ajustables” para generar el resultado especificado en la fórmula de la celda objetivo. Pueden aplicarse restricciones para limitar los valores del modelo, pudiendo éstas hacer referencia a otras celdas a las que afecte la fórmula de la celda objetivo.

A continuación se muestra la ventana que se abre al utilizar solver con su correspondiente explicación para cada casilla. Para conocer el paso a paso de la herramienta Solver y una explicación más detallada ver **ANEXO A**.



Grafica 7. Solver, herramienta de Excel.

- 1 Se introduce la celda objetivo, la que se desea optimizar.
- 2 Se especifica si se desea un valor determinado, maximizar o minimizar la celda objetivo.
- 3 Se ingresan las celdas que se buscan ajustar para la optimización de la celda objetivo, estas celdas las modifica el Solver dependiendo la especificación del paso 2 y de las restricciones que se tengan.
- 4 Restricciones que tienen las celdas ajustables al optimizar la celda objetivo.



2. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

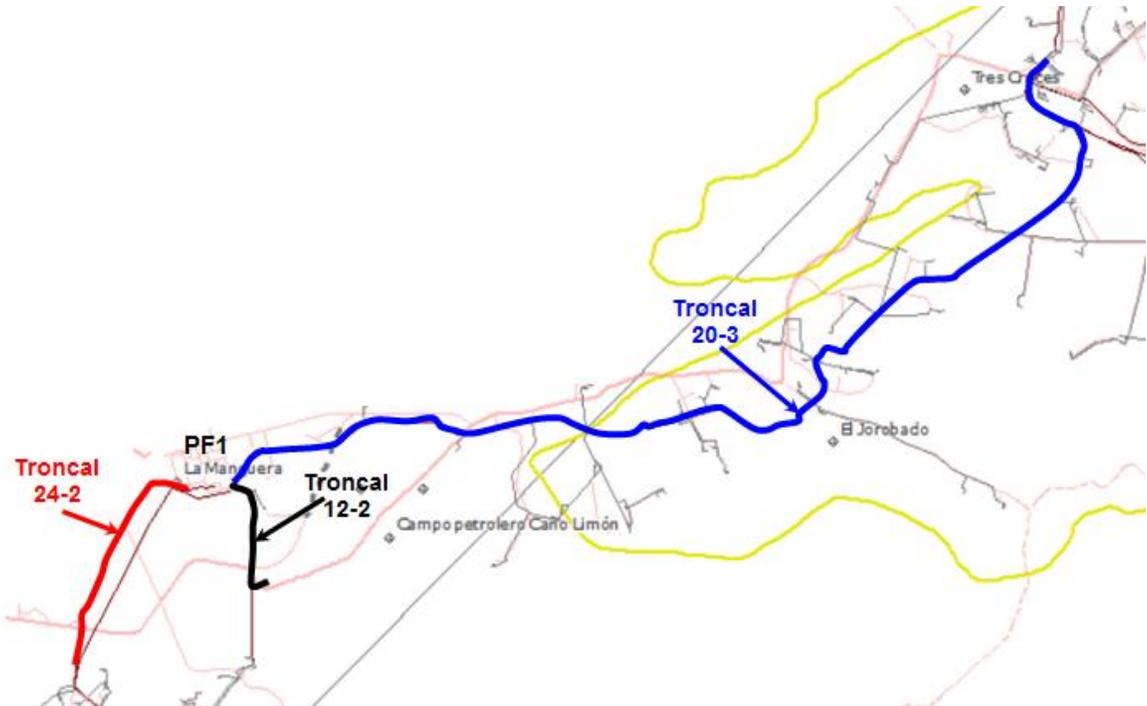
Se usa la herramienta “Solver” de Excel, en las simulaciones para optimizar el sistema de recolección (SR), buscando oportunidades de incrementos de producción y opciones para reducción del consumo de energía.

Antes de realizar las simulaciones en el Solver, se llevaron a cabo pruebas serafín intensivas a todos los pozos con BS&W mayor o igual a 99%, también se les realizó pruebas a aquellos pozos con BS&W muy cercano a 99% para corroborar y actualizar su dato, en total se probaron 156 pozos de los cuales 133 corresponden estrictamente a prueba serafín. Ver **ANEXO B**.

Posteriormente se analizaron los resultados de estas pruebas y se determinaron pozos no económicos, que se procedieron a apagar después de un riguroso estudio realizado por el área de producción. Estos pozos no se tuvieron en cuenta en las simulaciones hechas en el Solver.

La selección de pozos para las simulaciones, se realizó por medio del plano **ACN100** proporcionado por el área de ingeniería, donde se observan los pozos que ingresan a cada línea intermedia y troncal. Después se organizaron los datos de producción y limitaciones de cada bomba por pozo de cada troncal para las corridas en el Solver. Lo que se busca es alivianar la carga del sistema recolector y disminuir la fricción en él, apagar pozos con alto BS&W para disminuir la presión en cabeza de otros pozos y aumentar producción.

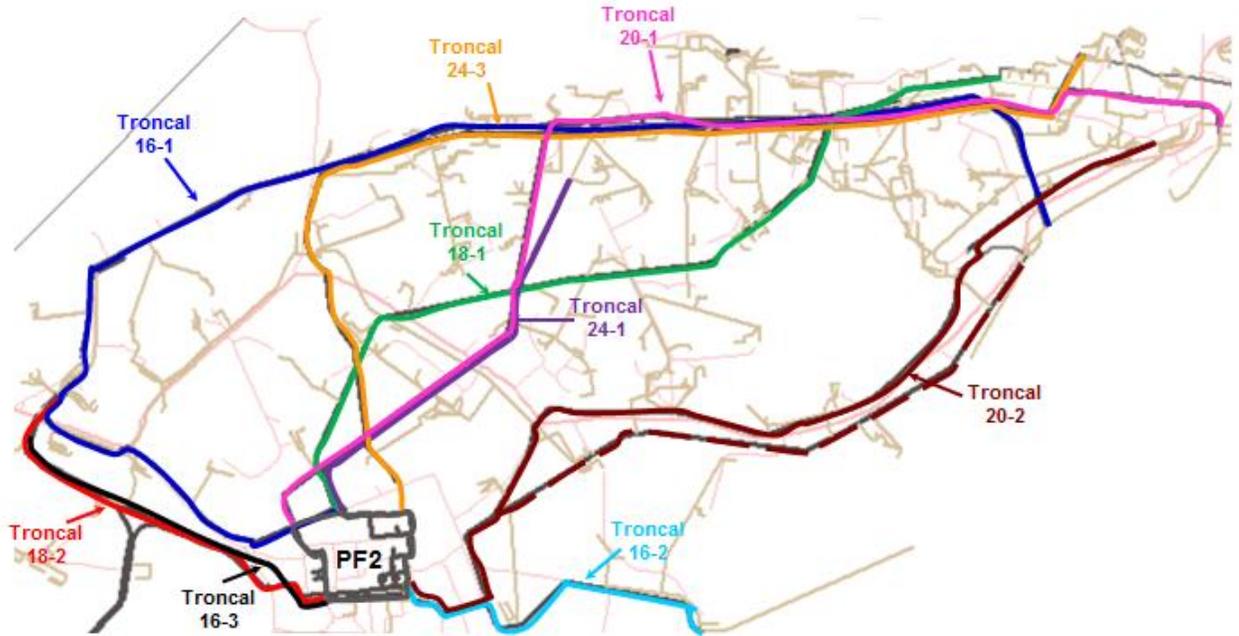
El estudio se realizó a tres troncales las cuales ingresan a PF1 y a nueve troncales que ingresan a PF2. A continuación se muestra el diagrama de las troncales por facilidad.



Grafica 8. Solver, herramienta de Excel.

Troncal	No. Pozos	BFPD máx. permitidos
12-2 (12")	5	145.000
20-3 (20")	40	400.000
24-2 (24")	26	480.000

Tabla 1. Data de troncales PF1.



Grafica 9. Troncales que ingresan a PF2.

Troncal	No. Pozos	BFPD máx. permitidos
16-1 (16")	66	240.000
16-2 (16")	24	240.000
16-3 (16")	19	240.000
18-1 (18")	28	310.000
18-2 (18")	15	310.000
20-1 (20")	42	400.000
20-2 (20")	51	400.000
24-1 (24")	15	480.000
24-3 (24")	55	480.000

Tabla 2. Data de troncales PF2.



Para las corridas en el “Solver” fue necesario recolectar toda la información de cada pozo como tipo de bomba, caudal máximo y mínimo de cada bomba, potencial, tasa, BS&W, relación BO/KW, línea intermedia y troncal al que entran, porcentaje de fluido que entra a la troncal y capacidades máximas del SR.

Luego de haber seleccionado los pozos por troncal, se procede a organizar toda la información anteriormente nombrada en hojas de cálculo de Excel, como se muestra en la gráfica a continuación. Cabe resaltar que se realizó una hoja de cálculo por troncal, debido a que las simulaciones se realizadas fue por troncal.

Pozo	Optimización de producción			Linea intermedia		Troncal		DELTA			Datos actuales de producción				Limitaciones equipo					
	BFPD	BOPD	MWh	Segmento	BFPD	Factor	BFPD	BFPD	BOPD	MWh	Potencial	BFPD	BSW	BOPD	BO/KW	MWh	MINIMO	Máximo		
LY-040	14,155	142	0.607	LOCD-03 (8")	198	0.014	198	0	0	0.000	14,155	14,155	99.00	142	0.233	0.607	3,600	16,237		
MIN-57	2,597	70	0.153	LOCD-04 (6")	10,641	1.000	2,597	0	0	0.000	2,597	2,597	97.30	70	0.457	0.153	540	2,610		
MIN-12	55	47	0.030			1.000	55	1.000	55	0	0	0.000	70	55	14.00	47	1.567	17	55	
MIN-63	1,538	98	0.095			1.000	1,538	1.000	1,538	0	0	0.000	1,538	1,538	93.60	98	1.035	0.095	540	1,368
MIN-84	1,703	59	0.058	LOCD-31 (8")	9,835	1.000	1,703	0	0	0.000	1,703	1,703	96.52	59	1.025	0.058	720	2,600		
LY-175	4,748	95	0.221			1.000	4,748	1.000	4,748	0	0	0.000	4,748	4,748	98.00	95	0.429	0.221	1,410	4,430
MIN-58	1,979	85	0.104			1.000	1,979	1.000	1,979	0	0	0.000	1,979	1,979	95.70	85	0.815	0.104	540	1,986
MIN-74	2,212	150	0.108	LOCD-11 (12")	0	1.000	2,212	0	0	0.000	2,212	2,212	93.20	150	1.391	0.108	540	2,203		
MIN-70	2,232	44	0.109			1.000	2,232	1.000	2,232	0	0	0.000	2,232	2,232	98.04	44	0.400	0.109	540	2,225
MIN-68ST	3,412	73	0.158			1.000	3,412	1.000	3,412	0	0	0.000	3,412	3,412	97.85	73	0.465	0.158	720	3,297
MIN-01	0	0	0.000	LOCD-08 (12")	12,387	0.980	0	0	0	0.000	30,000	0	99.61	0	0.171	0.000	8,400	30,449		
MIN-04	0	0	0.000			0.980	0	1.000	2,955	0	0	0.000	20,000	0	99.54	0	0.120	0.000	6,000	18,726
MIN-29	2,955	127	0.245			1.000	2,955	1.000	2,955	0	0	0.000	3,750	2,955	95.70	127	0.518	0.245	870	2,945
MIN-40	6,775	136	0.418	LOCD-11 (12")	145,000	1.000	6,775	0	0	0.000	6,775	6,775	98.00	136	0.324	0.418	1,860	6,246		
MIN-43	2,657	319	0.177			1.000	2,657	1.000	2,657	0	0	0.000	2,657	2,657	88.00	319	1.803	0.177	540	2,472
TOTALES	47,018	1,446	2,485				33,061	0	0	0.000	97,828	47,018	1,446		2,485					

BFPD max. Segmento	
LOCD-03 (8")	64,000
LOCD-04 (6")	37,000
LOCD-31 (8")	64,000
LOCD-11 (12")	145,000
LOCD-08 (12")	145,000

BFPD Seg. LOCD-07 (8")	10,840	BFPD max. Seg. LOCD-07 (8")	64,000
BFPD Seg. LOCD-22 (8")	23,226	BFPD max. Seg. LOCD-22 (8")	64,000
BFPD Seg. LOCD-30 (18")	142,223	BFPD Seg. LOCD-30 (18")	310,000

BFPD max. Troncal 18-2	310,000
-------------------------------	---------

Gráfica 10. Datos de entrada para la corrida en el Solver.



- 1 Nombre del pozo.
- 2 Datos ajustables por el Solver. Antes de la corrida se introducen los mismos datos correspondientes en el numeral 6.
- 3 Línea intermedia correspondiente a determinado grupo de pozos con los BFPD que pasan por ella.
- 4 Fluido de la línea intermedia que entra a la troncal.
- 5 Diferencias entre los valores actuales de producción y los arrojados por la corrida de Solver. Como son datos de entrada los deltas son 0.
- 6 Datos actuales de producción (potencial, BFPD, BS&W, BOPD, BO/KW, MW/h)
- 7 Fluido máximo y mínimo permitido por el sistema de levantamiento.
- 8 Nombre de la línea intermedia con su fluido máximo permitido.



En el estudio se escogieron dos escenarios con cuatro casos cada uno. El primer escenario es a condiciones ideales, donde no se tienen en cuenta las limitaciones de las líneas intermedias y además se evalúan posibles rediseños de equipos de levantamiento. Los casos para este escenario son:

- 1. Maximizar BOPD con Q máx. = Potencial:** Lo que se busca en este caso es llevar la producción de todos los pozos a su potencial, esto sería posible si ningún equipo de levantamiento estuviera limitado, ya que no es así, se supone que cada pozo puede llevarse a potencial para evaluar que pozos son candidatos a rediseños, si la diferencia entre la producción de barriles de aceite por día (BOPD) actual y los BOPD que se tendrían si se lleva el pozo a potencial es mayor a 40 BOPD, este pozo es candidato a rediseño y en la corrida de este caso para este escenario se trabajaría como si el pozo ya tuviera el equipo nuevo. Los otros pozos se trabajan con la condiciones del equipo de levantamiento actual.
- 2. Maximizar BOPD con Q máx. = Potencial 110%:** Este caso es similar al anterior, la diferencia es que no se busca llevar el pozo a potencial, sino 10% por encima de su potencial.
- 3. Minimizar energía con disminución de BOPD menores o iguales al 2%:** La finalidad de este caso es minimizar el consumo de energía, para esto se ingresa al Solver una limitación adicional, la cual consiste en disminuir tan solo 2% de los BOPD. La corrida arroja como resultado que pozos son indicados para este decremento de producción, el Solver realiza esta selección, según los pozos con mayor consumo de energía y alto BS&W. Para reducir el consumo de energía en este caso se baja la frecuencia de operación de los pozos seleccionados anteriormente.
- 4. Minimizar energía realizando S/D con disminución de BOPD menores o iguales al 2%:** Este caso se corre en el Solver de igual manera al anterior, a diferencia de que algunos de los pozos arrojados cambian, debido a que



se busca un mayor ahorro en el consumo de energía si se apagan pozos de alto consumo y BS&W, pero teniendo el mismo decremento en BOPD.

El segundo escenario es a condiciones reales, en este se tiene en cuenta las limitaciones de las líneas intermedias en el momento de realizar las corridas en el Solver. Lo que se busca con este escenario es a que pozos es posible incrementar su producción con las condiciones actuales del equipo de levantamiento, que líneas intermedias están saturadas de fluido y que pozos hay que apagar o disminuir producción de barriles de fluido por día para reducir la carga en las líneas saturadas mientras se lleva a cabo la evaluación del cambio de estas.

Para este escenario también se realizaron cuatro casos que son:

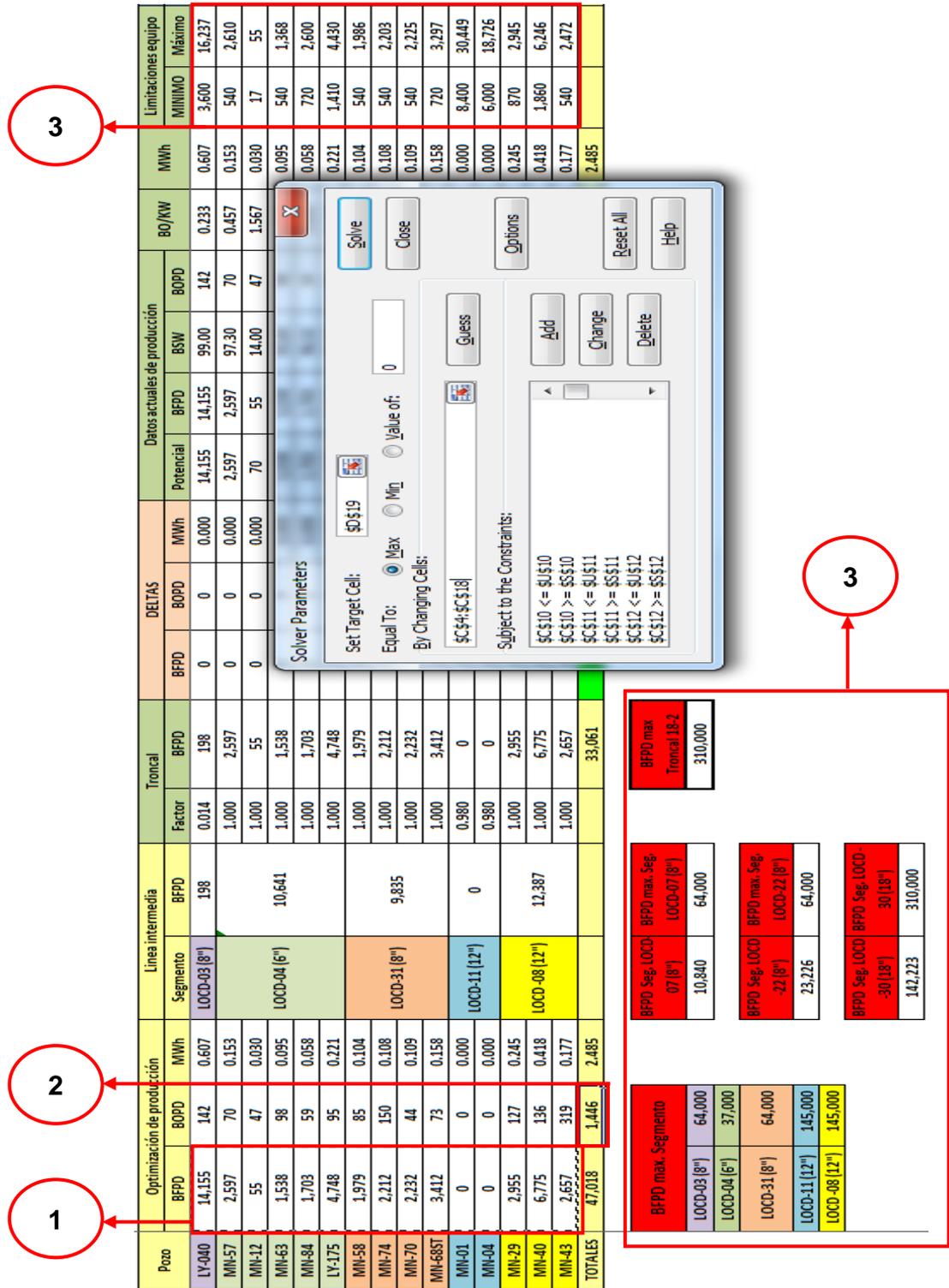
- 1. Maximizar BOPD con Q máx. = Potencial:** El objetivo de este caso es llevar los pozos a su potencial con los equipos actualmente instalados. En caso de que los resultados arrojados sean negativos, es decir, que no haya incrementos de BOPD sino decrementos, indica que hay una o más líneas saturadas y que se debe llevar la producción de los pozos involucrados a estas líneas a las señalada en el Solver para evitar posibles fugas y daños en el sistema de recolección, después de que se haga el cambio de las líneas en cuestión, se puede nuevamente incrementar la producción de estos pozos.
- 2. Maximizar BOPD con Q máx. = Potencial 110%:** Este caso es similar al anterior, la diferencia es que se busca llevar el pozo a 10% por encima de su potencial con los equipos actualmente instalados. En caso de que llegue a haber resultados negativos, se procede a realizar lo dicho en el caso anterior.
- 3. Minimizar energía con disminución de BOPD menores o iguales al 2%:** La finalidad de este caso es la misma al tercer caso del escenario ideal, la



diferencia es que si llega haber alguna(s) línea(s) intermedia(s) saturada(s) en esta troncal, el Solver sugiere disminuir producción en los pozos involucrados a esta(s) línea(s).

- 4. Minimizar energía realizando S/D con disminución de BOPD menores o iguales al 2%:** Este caso tiene el mismo criterio del cuarto caso del escenario ideal, igual que en el anterior caso, si llega haber alguna(s) línea(s) saturada(s), el Solver sugiere apagar pozo(s) involucrado(s) a esta(s) línea(s).

La grafica a continuación muestra un ejemplo de los datos arrojados por una corrida, junto con la ventana de Solver.



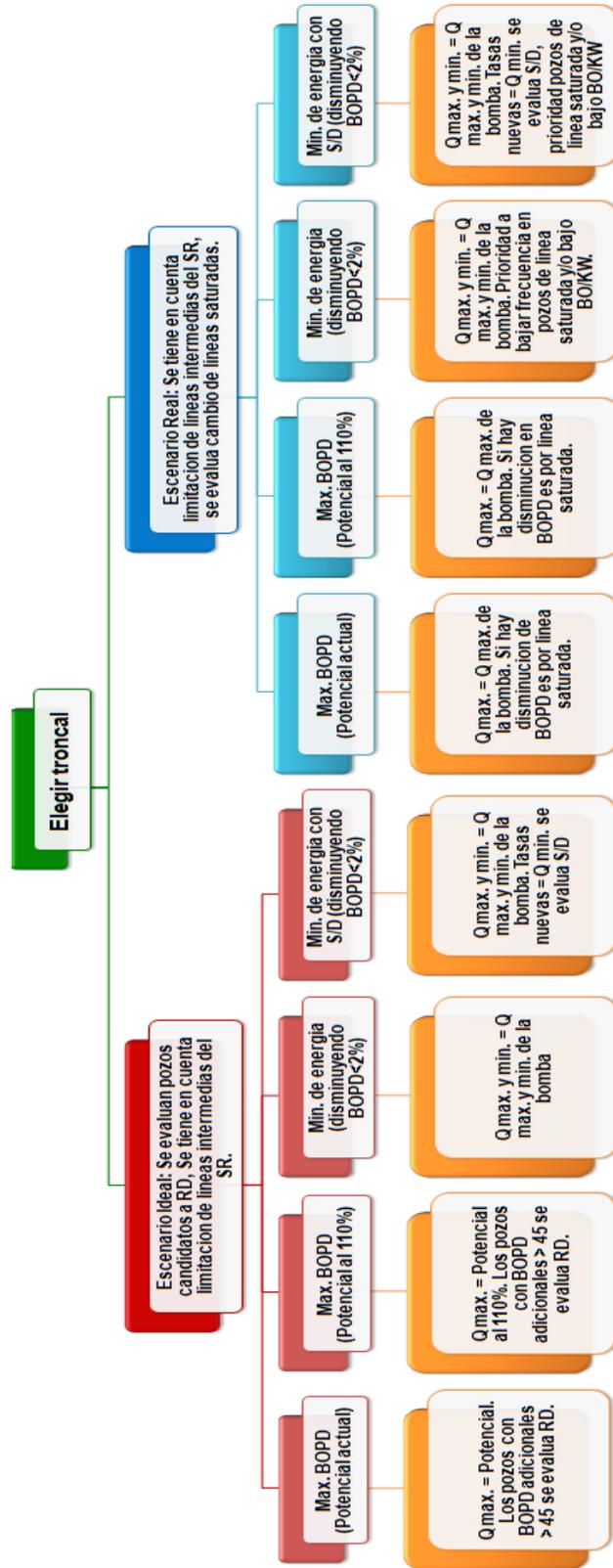
Grafica 11. Ejemplo de una corrida en el Solver.



- 1 Celdas ajustables por el Solver. BFPD a los cuales se debe llevar cada pozo sin incurrir en daños en el yacimiento o el pozo.
- 2 Celda Objetivo, lo que se busca es maximizar lo BOPD.
- 3 Limitaciones ingresadas en el Solver.

Las corridas proporcionan las tasas a las que se debe llevar cada pozo y el consumo de energía que se tendría, después se procede a hacer el análisis de los resultados proporcionados, como evaluar posibles rediseños, pozos candidatos a pruebas serafin ver **ANEXO B**, estudio de las líneas saturadas de fluido para mejorar la distribución de ellas o cambios de tubería, entre otras.

En la siguiente grafica se muestra la metodología utilizada en los dos escenarios, donde se muestra el paso a paso de cada uno de los casos.



Grafica 12. Metodología del Proyecto.

3. RESULTADOS

En la siguiente tabla se encuentran los resultados finales arrojados por el Solver para las troncales PF1, en un escenario ideal:

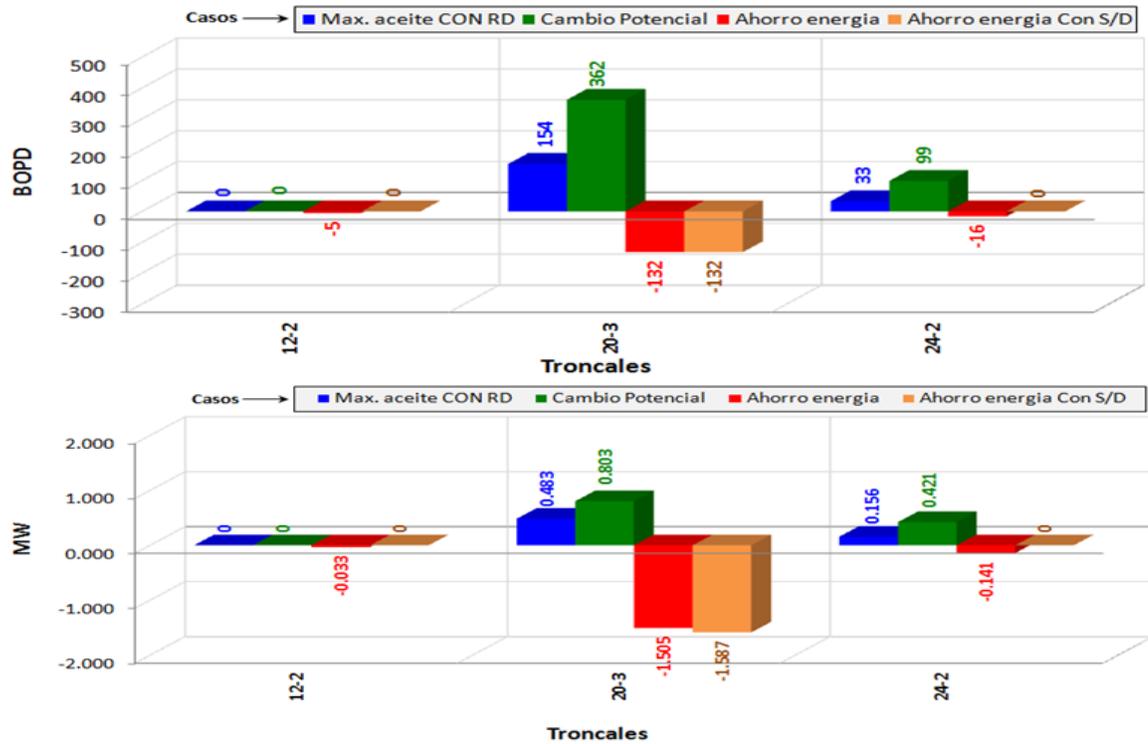
Troncal 12-2					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	0	0	0	0.000
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	0	0	0	0.000
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	1	-710	-5	-0.033

Troncal 20-3					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	5	9,854	154	0.483
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	7	16,639	362	0.803
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	5	-56,710	-132	-1.505
4	Minimizar energía con una pérdida del 2%, S/D	5	-59,403	-132	-1.587

Troncal 24-2					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	1	414	33	0.156
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	3	4,095	99	0.421
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	1	-4,095	-16	-0.141

Tabla 3. Escenario Ideal Troncales PF1.

Con base a la **Tabla 3** se realizó un gráfico (BOPD Vs Troncal) y (MW Vs Troncal) donde se encuentran graficados los resultados de los cuatro casos propuestos para cada troncal.



Grafica 13. Ganancias / pérdidas troncales PF1, Escenario Ideal.

- En la troncal 12-2 no se observan cambios para los casos 1,2 y 4, sin embargo para el caso 3 (minimizar energía con una pérdida del 2%) se obtiene un ahorro de energía de 0.033 MW al disminuir 5 barriles de aceite, pero estos no son cambios significativos por tal motivo no se tienen en cuenta; esto se debe que la troncal solamente posee 5 pozos involucrados.
- Para el primer caso (llevar el pozo a su máximo potencial), la troncal 20-3 aumenta 154 BOPD y tiene un aumento de 0.483 MW, y la Troncal 24-3 aumenta 33 BOPD con un aumento de 0.156 MW, estas ganancias de barriles de aceite es posible siempre y cuando el equipo de levantamiento de los pozos candidatos a este aumento tengan la capacidad para llevar la producción a potencial, de lo contrario son pozos para rediseños.



- Para el segundo caso (maximizar BOPD con potenciales al 110%) se obtiene una mayor ganancia de barriles de aceite para la troncal 20-3 donde hay un incremento de 362 BOPD con un incremento de 0.803 MW y para la Troncal 24-2 se incrementa 99 BOPD con un incremento de 0.421 MW, sin embargo estos aumentos pertenecen a un escenario ideal ya que algunos pozos se encuentran con limitaciones en el equipo de levantamiento donde es imposible llevar la producción a un 10% por encima de su potencial, estos pozos son candidatos a rediseños.
- En el tercer y cuarto caso, donde se pretende minimizar el consumo de energía, se observan cambios significativos en la troncal 20-3, la cual muestra una disminución de 132 BOPD en ambos casos, con una ligera diferencia en MW para cuando se apagan pozos con baja relación BO/KW.
- Para el caso 3 (minimizar energía con una pérdida del 2%) en la troncal 24-2 se observa que se disminuyen 16 BOPD con una reducción de 0.141 MW, estos no son cambios significativos, por tal motivo no se tienen en cuenta; finalmente esta troncal no posee cambios para el cuarto caso.

Tabla 4 muestran los resultados finales arrojados por el Solver para las troncales PF1, en un escenario real:

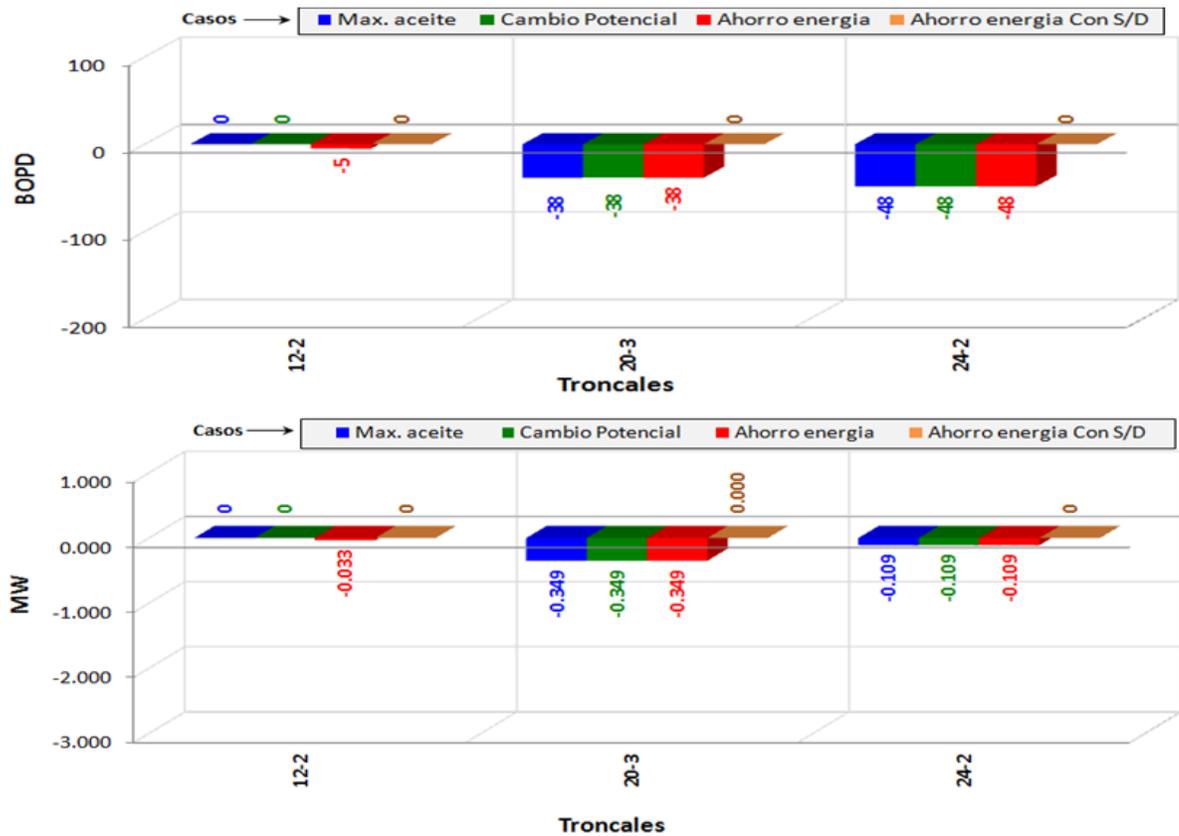
Troncal 12-2					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	0	0	0	0.000
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	0	0	0	0.000
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	1	-710	-5	-0.033

Troncal 20-3					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	2	-10,856	-38	-0.349
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	7	-11,463	-38	-0.349
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	2	-10,856	-38	-0.349

Troncal 24-2					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	1	-4,962	-48	-0.109
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	1	-4,962	-48	-0.109
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	1	-4,962	-48	-0.109

Tabla 4. Escenario real, troncales PF1

De igual manera la **gráfica 14** (BOPD Vs Troncal) y (MW Vs Troncal) muestran los resultados obtenidos de la **Tabla 4**.



Grafica 14. Ganancia / perdidas troncales PF1, Escenario Real.

- En la troncal 12-2 se presentó el mismo comportamiento tanto para el escenario ideal como real, es decir, no se presentó ningún cambio en los casos 1,2 y 4, pero para el caso 3 se obtiene un ahorro de energía de 0.033 MW al disminuir 5 barriles de aceite, pero estos no son cambios significativos por tal motivo no se tienen en cuenta.
- Para las troncales 20-3 y 24-2 se observa la misma reducción en barriles de aceite y MW para los tres primeros casos, en la troncal 20-3 hubo una disminución de 38 BOPD y una disminución de 0.349 MW, y en la troncal 24-3 hubo una disminución de 48 BOPD y una disminución de 0.109 MW, lo que indica que existe una o más líneas intermedias saturadas. Debido que



se está analizando el escenario real donde se tiene en cuenta las limitaciones de las líneas intermedias y de los equipos de levantamiento en las corridas por el Solver, esta herramienta de Excel busca bajar caudal a los pozos de alto BS&W para disminuir la carga de las líneas intermedias y llevar el caudal a su capacidad permitida.

Aunque es los dos primeros casos lo que se busca es aumentar la producción de barriles de aceite, en la gráfica 14 para la troncal 20-3 y 24-2 no se observa tal comportamiento debido a las limitaciones que se presenta tanto en las líneas intermedias y en el equipo de levantamiento; estas pérdidas serían menores si los pozos tuvieran su equipo de levantamiento óptimo, por tal razón las dos únicas opciones sería disminuir BFPD o cambio de las líneas para lograr una disminución en las velocidades erosivas.

En la **tabla 5** se encuentran los resultados finales para las troncales PF2, en un escenario ideal.

Troncal 24-1					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	0	0	0	0.000
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	0	0	0	0.000
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	1	-4,193	-30	-0.271

Troncal 24-3					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	4	4,585	288	0.728
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	6	10,975	474	1.220
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	7	-56,683	-125	-2.463
4	Minimizar energía con una pérdida del 2%, S/D	4	-66,407	-125	-2.769

Troncal 16-1					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	1	1,131	20	0.064
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	3	7,436	149	1.095
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	8	-32,120	-146	-1.666
4	Minimizar energía con una pérdida del 2%, S/D	7	-28,356	-146	-1.814

Troncal 16-2					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	1	2,764	41	0.089
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	1	5,564	83	0.179
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	2	-7,011	-80	-0.201

Troncal 16-3					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	1	3,428	55	0.134
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	2	3,921	103	0.165
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	1	-16,548	-58	-0.577

Troncal 18-1					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	1	570	22	0.060
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	2	633	26	0.065
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	3	-17,794	-45	-0.932
4	Minimizar energía con una pérdida del 2%, S/D	3	-18,291	-45	-1.010

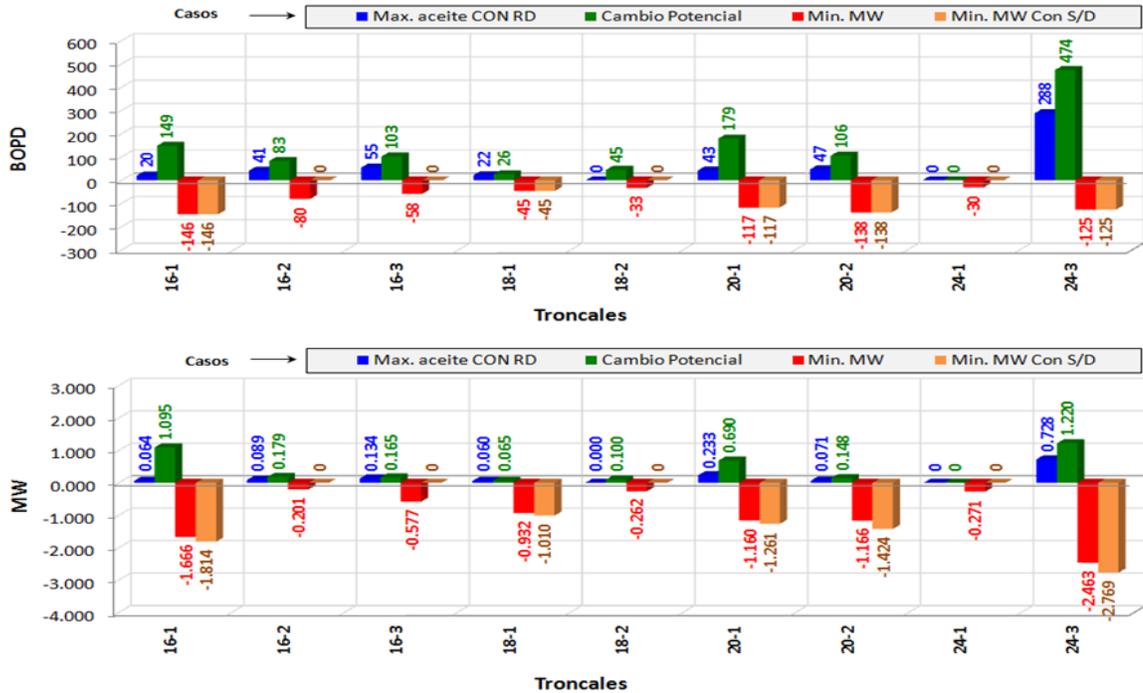
Troncal 18-2					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	0	0	0	0.000
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	1	1,196	45	0.100
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	1	-5,606	-33	-0.262

Troncal 20-1					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	2	5,591	43	0.233
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	4	13,838	179	0.690
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	5	-24,754	-117	-1.160
4	Minimizar energía con una pérdida del 2%, S/D	5	-29,239	-117	-1.261

Troncal 20-2					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	3	1,732	47	0.071
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	4	3,906	106	0.148
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	5	-24,776	-138	-1.166
4	Minimizar energía con una pérdida del 2%, S/D	4	-23,382	-138	-1.424

Tabla 5 Escenario ideal, troncales PF2

Como consecuencia de la tabla anterior, se graficaron los resultados para un mejor análisis, (BOPD Vs Troncal) y (MW Vs Troncal).



Grafica 15. Ganancia / perdidas troncales PF2, Escenario Ideal.

- Para el primer caso (maximizar BOPD con Qmax=potencial) la troncal 24-3 es la que presenta un mayor cambio significativo, debido que aumenta 288 BOPD con un aumento de 0.728 MW, esto indica que la mayoría de los pozos de esta troncal son candidatos a rediseños de equipo de levantamiento. Las demás troncales no presentan cambios significativos ya que no se justifica realizar un rediseño a ciertos pozos donde solo aumentaría en un intervalo de 20-55 BOPD.



- En el segundo caso se lleva la producción a un 10% por encima de su potencial, por ese motivo se observa más troncales con cambios significativos en comparación al primer caso, estas son: la troncal 16-1 con un aumento de 149 BOPD y un aumento de 1.095 MW, troncal 16-3 con un aumento de 103 BOPD y un aumento de 0.165 MW, troncal 20-1 con un aumento de 179 BOPD y un 0.690 MW, troncal 20-2 con un aumento de 106 BOPD y un aumento de 0.148 y la troncal 24-3 con un aumento de 474 BOPD y un aumento de 1.220 MW. De igual manera los pozos pertenecientes a estas troncales son los candidatos a rediseños.
- En el caso de minimizar energía, algunas troncales presentan igual disminución en barriles de aceite en los casos 3 y 4, con una ligera diferencia en MW para cuando se apagan pozos con baja relación BO/KW, estas son: troncal 16.1 con 146 BOPD, troncal 18.1 con 45 BOPD, troncal 20-1 con 117 BOPD, troncal 20-2 con 136 BOPD y troncal 24-3 con 125 BOPD; existe un mayor ahorro de MW en el cuarto caso debido que la herramienta Solver indica que se deben apagar ciertos pozos ya que presentan alto consumo de energía y baja producción de aceite, y posiblemente incrementa frecuencia de operación en pozos de bajo consumo de energía y alta producción de aceite.



En la siguiente tabla se encuentran los resultados finales para las troncales PF2, en un escenario real.

Troncal 16-1					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Q_{max} = Potencial	1	1,131	20	0.064
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	1	1,631	29	0.092
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	8	-32,120	-146	-1.666
4	Minimizar energía con una pérdida del 2%, S/D	7	-28,356	-146	-1.814

Troncal 16-2					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Q_{max} = Potencial	0	0	0	0.000
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	0	0	0	0.000
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	2	-7,011	-80	-0.201

Troncal 16-3					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Q_{max} = Potencial	0	0	0	0.000
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	0	0	0	0.000
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	1	-16,548	-58	-0.577

Troncal 18-1					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Q_{max} = Potencial	1	570	22	0.060
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	2	633	26	0.065
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	3	-17,794	-45	-0.932
4	Minimizar energía con una pérdida del 2%, S/D	3	-18,291	-45	-1.010

Troncal 18-2					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Q_{max} = Potencial	0	0	0	0.000
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	0	0	0	0.000
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	1	-5,606	-33	-0.262

Troncal 20-1					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Q_{max} = Potencial	1	40	2	0.004
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	1	539	29	0.051
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	5	-25,294	-117	-1.221
4	Minimizar energía con una pérdida del 2%, S/D	4	-30,051	-117	-1.324

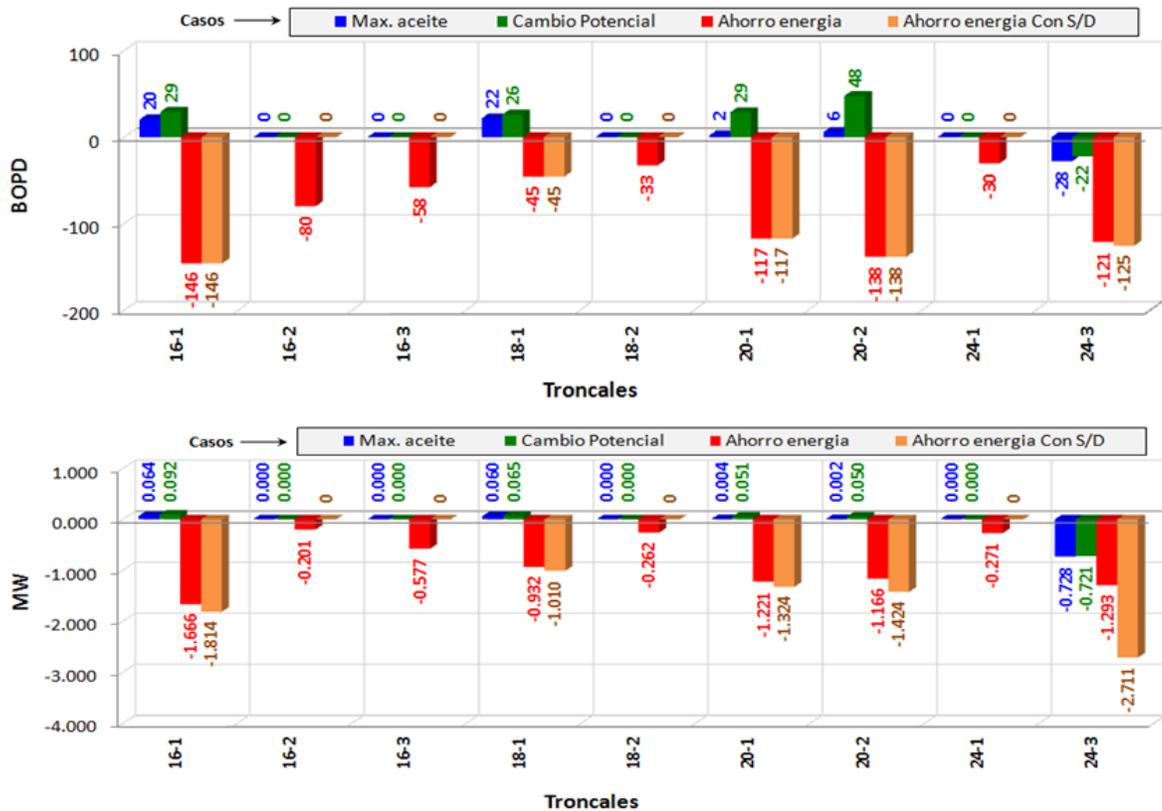
Troncal 20-2					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	1	10	6	0.002
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	3	1,483	48	0.050
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	5	-24,776	-138	-1.166
4	Minimizar energía con una pérdida del 2%, S/D	4	-23,382	-138	-1.424

Troncal 24-1					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	0	0	0	0.000
2	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	0	0	0	0.000
3	Minimizar energía con una pérdida del 2%	1	-4,193	-30	-0.271

Troncal 24-3					
Caso		Pozos a Ajustar	BFPD	BOPD	MW
1	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial, S/D	3	-12,553	-28	-0.728
2	Máximizarse BOPD con Qmax = Potencial	3	-12,389	-22	-0.721
3	Máximizarse BOPD con potenciales al 110%	3	-21,367	-121	-1.293
4	Minimizar energía con una pérdida del 2%, S/D	4	-63,384	-125	-2.711

Tabla 6. Escenario Real Troncales PF2.

Con base a la **Tabla 6** se realizó un gráfico (BOPD Vs Troncal) y (MW Vs Troncal) donde se encuentran graficados los resultados de los cuatro casos propuestos para cada troncal.



Grafica 16. Ganancia / Perdida troncales PF”, Escenario Real.

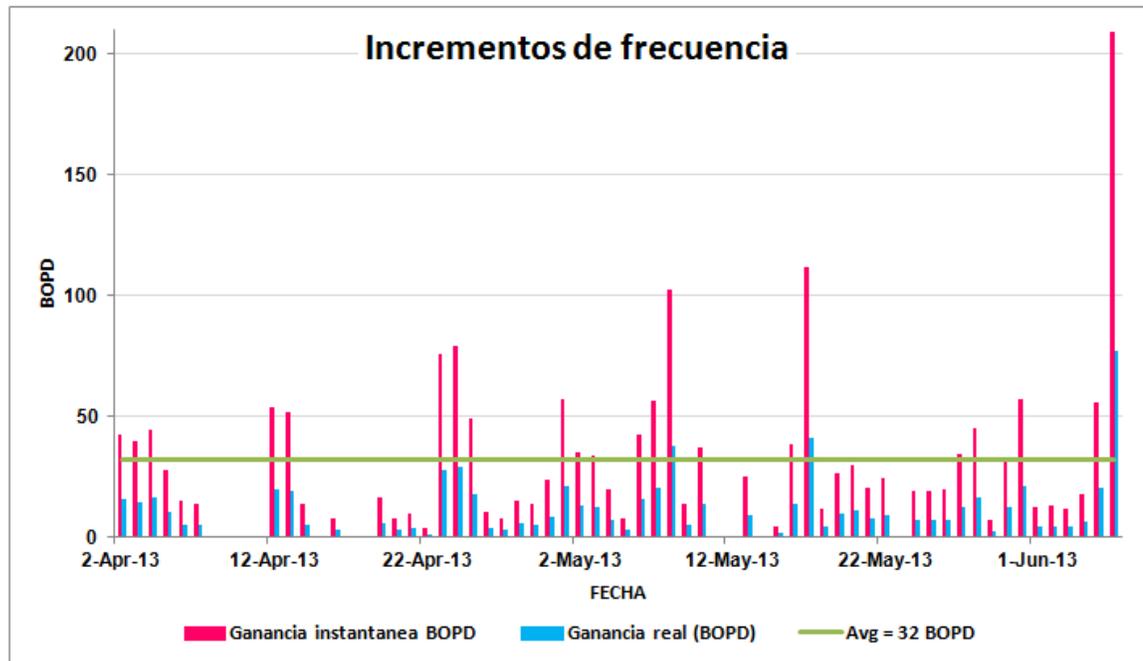
- En los casos 1 y 2 donde se busca aumentar la producción de barriles de aceite, las troncales que presentan este comportamiento son 16-1, 18-1, 20-1 y 20-2; este aumento es más significativo en el caso dos, debido que se lleva la producción a un 10% por encima de su potencial; lo que indica que las líneas intermedias y el equipo de los pozos que se encuentran en estas troncales tienen la capacidad para el aumento en la producción.
- En las troncales que no presentan cambios para los casos 1 y 2 en el escenario real, pero si presentaron cambios en el escenario ideal, son las troncales 16-2, 16-3, 18-2 y 24-1, esto se debe a que los pozos están limitados por su equipo de levantamiento y a que hay líneas intermedias saturadas.



- En la troncal 24-3 no hay posibilidad de incremento en producción debido a una línea intermedia saturada. Debido que se está analizando el escenario real donde se tiene en cuenta las limitaciones de las líneas intermedias y de los equipos de levantamiento en las corridas por el Solver, esta herramienta de Excel busca bajar caudal a los pozos de alto BS&W para disminuir la carga de las líneas intermedias y llevar el caudal a su capacidad permitida.
- Para las toncales 16-1, 18-1, 20-1, 20-2 y 24-3 se observan que para los casos de ahorro de energía se tiene una disminución de BOPD iguales pero se tiene un ahorro de energía mayor cuando se evalúa apagado de pozos con baja relación BO/KW.

De acuerdo a las corridas realizadas y a un analisis exhaustivo de estos, se logró:

- a. Incrementos de frecuencia de operación en algunos pozos llevándolos a potencial y otros a 10 % por encima de su potencial, sin posibles alteraciones a la formación o a los pozos.



Grafica 17. Incrementos de frecuencia de operación Abril – Junio del 2013.

Como se ve en la siguiente ecuación de la ley de afinidad, el caudal nuevo directamente proporcional a la frecuencia de operación nueva, lo que indica que al aumentar frecuencia de operación se incrementa producción.

$$\text{Frecuencia OPERACION NUEVA} = \left(\frac{Q_{\text{NUEVO}}}{Q_{\text{ANTIGUO}}} \right) * \text{Frecuencia OPERACION ANTIGUA}$$

Desde el inicio del proyecto se hizo un seguimiento detallado a los incrementos de frecuencia de operación, para lo cual se estimó un promedio de **32 BOPD** en ganancia, esto con los equipos ya instalados.



- b. Identificación de 3 líneas intermedias saturadas de fluido, que presentan alta velocidad en el SR.

Línea intermedia	Ø actual (in)	Troncal	# Pozos	% carga	BFPD actual	BFPD max.
12-4.02.01	8	24-3	8	120%	77.083	64.000
12-1.02.01	6	24-2	4	111%	41.123	37.000
16-2.01.10	6	20-3	5	120%	44.249	37.000

Tabla 7. Líneas intermedias saturadas.

La carga de la línea 12-4.02.01 (8") de la troncal 24-3 podría disminuir si se abre la válvula 378 que según el plano **ACN100** se encuentra cerrada y se une a una línea intermedia con capacidad suficiente para alivianar la carga de la línea en cuestión, de tal manera el fluido de esta línea entraría a la troncal 24-3 y 20-1.

Si se cambian las líneas intermedias 12-1.02.01 (6") y 16-2.01.10 (6") a un diámetro de 8" se tendrían **114 BOPD** adicionales.

- c. Aumento en la producción, incrementando frecuencia de operación en 8 pozos con alta producción de aceite, se obtuvo una ganancia de **154 BOPD** y incremento **0,177 MW**.

Pozo	Incremento	% BSW	BFPD			BO ADD	MW
			Potencial	Actual	Esperada		
1 LY-142	Incrementar 2.0 Hz.	61,00	450	420	470	20	0,012
2 CL-03	Subirlo a 19,000 BFPD	99,26	17	18.370	19.000	5	0,019
3 LY-238	Subirlo 2,500 BFPD	81,00	2	2.390	2.450	11	0,003
4 CY-87	Subirlo a 8,500 BFPD	98,00	9	7.730	8.500	15	0,05
5 LY-154	Subirlo a 6,200 BFPD	97,20	6	5.607	6.200	17	0,011
6 CY-82	Subirlo a 750 BFPD	93,00	750	630	750	8	0,011
7 LY-247	Subirlo a 4,200 BFPD	93,00	5	3.430	4.200	54	0,065
8 LY-245 A	Subirlo a 430 BFPD	39,50	400	390	430	24	0,006
TOTALES					42.000	154	0,177

Tabla 8. Incrementos de frecuencia de operación realizados el 30 de Mayo del 2013.



- d. Optimización del consumo de energía, se bajó frecuencia de operación en 4 pozos con baja producción de aceite y alto consumo, y se apagó **CH-51** por alta velocidad erosiva en la línea intermedia al que entra. Se disminuyó **98 BOPD y 1,496 MW**.

Pozo	Troncal	BFPD	BSW	BOPD	BO/KW	Propuesta			Acción	
						BFPD	BOPD	MW		
1	CH-51	24-3	12.800	99,67	42	0,056	12.800	42	0,754	S/D
3	CH-58	24-3	15.600	99,08	144	0,1596	15.000	6	0,035	Bajar frecuencia, Actualmente fluyendo por segmento limitado 12-4.02.01 (8")
4	CH-11	24-3	14.300	99,54	66	0,0855	11.309	14	0,161	bajar frecuencia
5	LA-193	24-3	10.500	99,56	46	0,0792	9.370	5	0,063	bajar frecuencia
6	LA-066	24-3	22.500	99,76	54	0,0647	9.475	31	0,483	bajar frecuencia
TOTALES							57.954	98	1,496	

Tabla 9. Disminución de frecuencia de operación y apagado CH-51 realizados el 30 de mayo del 2013.

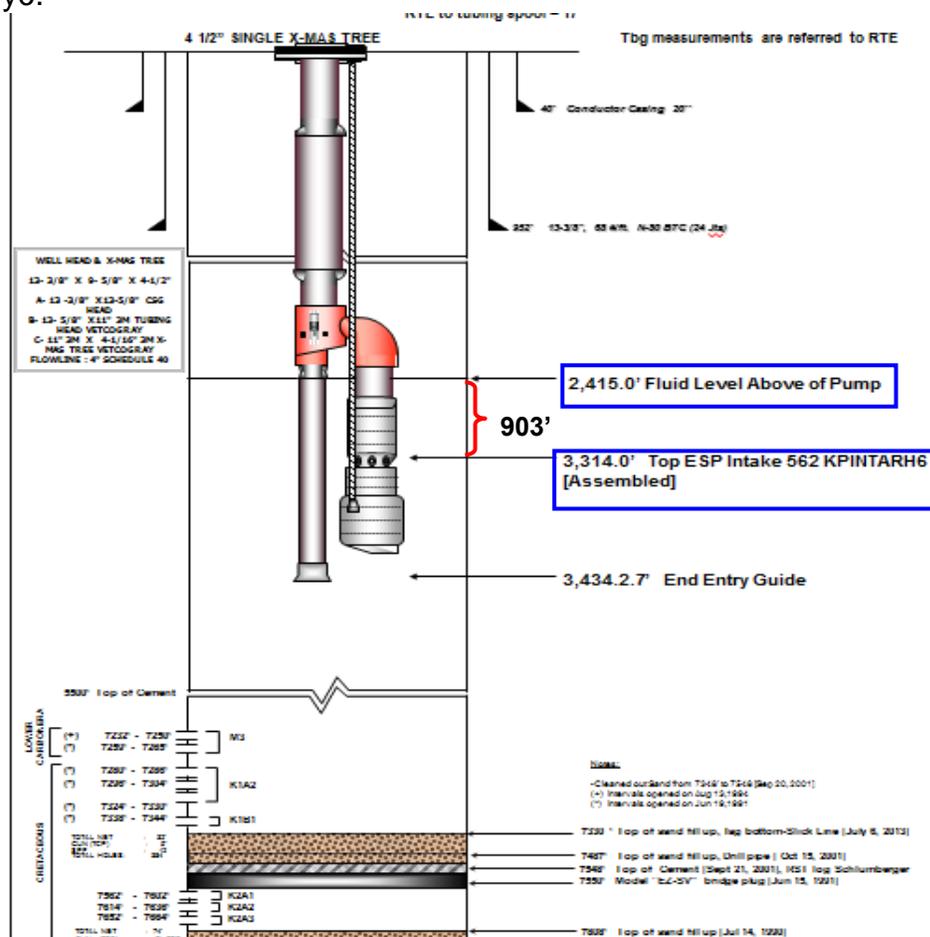
- e. Identificación de 21 pozos candidatos a rediseños, según el escenario ideal de todas las troncales, estos RD están siendo evaluados por el área de ingeniería.

Posibles RD, datos al 22 de Mayo de 2013												
Item	Pozo	Troncal	Potencial	Actual			Pérdida Actual		RL, días	Potencial Propuesto	BOPD ADD	Comentarios Limitaciones
				Actual	BFPD	BSW	BOPD	BFPD				
1	MB-06	16-3	25.000	21.544	98,40	345	-3.456	-55	885	27.500	95	VSD al 100%
2	LA-012	16-2	28.000	25.229	98,50	378	-2.771	-42	793	30.800	84	Eje bomba 100% VSD al 100%
3	LA-102	20-3	25.000	17.683	99,15	150	-7.317	-62	641	27.500	83	Alta frecuencia VSD al 100%
4	LA-062	16-1	11.000	8.882	97,90	187	-2.118	-44	284	12.100	68	VSD al 100%
5	CH-25	24-3	11.500	10.295	97,30	278	-1.205	-33	398	12.650	64	Eje bomba 100% VSD al 100%
6	LA-027	20-1	26.000	20.680	99,27	151	-5.320	-39	531	28.600	58	Eje bomba 100% VSD al 100%
7	LA-202	16-1	3.500	1.067	98,00	21	-2.433	-49	743	3.850	56	Alta frecuencia
8	CH-84	20-1	19.000	17.440	98,40	279	-1.560	-25	646	20.900	55	VSD al 100%
9	LA-146	20-2	7.000	5.402	97,70	124	-1.598	-37	1625	7.700	53	Alta frecuencia
10	LA-194	24-3	4.000	3.121	96,00	125	-879	-35	1049	4.400	51	Motor al 100%, VSD al 100%
11	CM-21	20-3	2.450	2.413	82,50	422	-37	-6	1403	2.700	50	Alta frecuencia VSD al 100%
12	CM-36	20-3	17.000	14.619	98,80	175	-2.381	-29	506	18.700	49	Motor al 100%
13	MB-79	16-3	23.000	20.358	99,01	202	-2.642	-26	380	24.300	49	Eje bomba 100% VSD al 100%
14	LA-039	20-1	13.000	11.840	98,10	225	-1.160	-22	244	14.300	47	VSD al 100%
15	CH-83	16-1	2.800	2.082	95,50	94	-718	-32	315	3.080	45	Motor al 100% VSD al 100%
16	LA-225	16-1	400	298	69,00	92	-102	-32	404	440	44	Alta frecuencia
17	LA-153	24-3	3.500	2.812	96,25	105	-688	-26	2167	3.850	39	Alta frecuencia
18	CD-04	24-2	13.000	12.056	98,30	205	-944	-16	885	14.300	38	VSD al 100%
19	LA-007	20-2	30.000	27.910	99,26	207	-2.090	-15	579	33.000	38	VSD al 100%
20	MB-73	16-3	3.400	3.046	90,30	295	-354	-34	785	3.400	34	Motor al 100%, no se prueba incremento pot. Sensible al BSW
21	MB-29	18-2	3.750	2.938	96,24	110	-812	-31	2368	3.750	31	Alta frecuencia, no se prueba incremento pot. Sensible al BSW
TOTALES			272.300	231.715		4.172	-40.585	-690		298.820	1.130	

Tabla 10. Pozos candidatos a rediseños y sus respectivas ganancias.

Se estima una ganancia **667 BOPD** si se realizan los 10 rediseños más significativos.

El beneficio de rediseñar los equipos de levantamiento es que el pozo producirá con mayor facilidad debido a que la bomba realizará menos esfuerzo al levantar el fluido. Es muy importante antes de evaluar un rediseño de equipo, verificar el nivel de fluido actual del pozo, debido a que al rediseñar se aumenta la producción y el nivel de fluido disminuye y se correría el riesgo de que en algún momento la bomba se quede sin sumergencia. A continuación se encuentra el estado mecánico actual de MB-06 donde se observa una sumergencia de 903 Ft por encima de las boquillas de la bomba. Esta sumergencia era mayor antes del rediseño, gracias al nuevo equipo la producción aumentó y el consumo de energía disminuyó.



Grafica 18. Estado Mecánico MB-06

- f. Apagado de 10 pozos no económicos después de pruebas serafín, para un estimado de ahorro en el consumo de potencia de **3 MW (78.890 BFPD / 77 BOPD)**.

POZO	BSW	BFPD	BOPD	MW	Mw/Mes	FECHA APAGADO	Estado actual	COMENTARIO
1	CH-31	99,90	3.400	3	0,190	03/04/2013	OFF	S/D por no económico, pendiente P&A.
2	LA-033	99,90	2.260	2	0,077	04/04/2013	OFF	S/D por no económico, pendiente P&A.
3	LA-086	99,90	19.500	20	0,584	08/04/2013	OFF	S/D por no económico, en evaluación
4	CH-48	99,98	7.200	1	0,385	21/04/2013	OFF	S/D por no económico, pendiente P&A.
5	CH-56	99,87	6.000	8	0,296	21/04/2013	OFF	S/D por no económico, pendiente P&A.
6	CM-25	99,90	2.350	2	0,084	06/05/2013	OFF	S/D por no económico, en evaluación
7	LA-230	99,91	11.400	10	0,383	21/05/2013	OFF	S/D por no económico, en evaluación de WO por RST
8	LA-190	99,93	2.200	2	0,084	28/05/2013	OFF	S/D por no económico, en evaluación
9	CH-17	99,90	21.500	22	0,784	28/05/2013	OFF	S/D por no económico, en evaluación WO, pendiente S/U por cross flow.
10	MB X-01	99,76	3.080	7	0,215	02/06/2013	OFF	S/D por no económico, en evaluación
TOTAL		78.890	77	3,082	3,082			

Tabla 11. Pozos apagados durante los meses de Abril y Junio del 2013.

Los pozos no económicos son como su nombre lo indica, pozos que tienen más gastos que ingresos. El área de yacimiento evalúa costos tales como los de extracción, servicio (WS / WO), equipo, manejo y transporte, estos costos son aproximados a **USD 40** por barril de aceite, con esto determinan el límite económico para cada pozo. Por ejemplo el pozo LA-086 producía 20 BOPD y su límite económico era de 24 BOPD, lo que no lo hizo rentable y se decidió apagar.

Pozo	BOPD	Limite económico en BOPD
LA-086	20	24

Tabla 12. Limite económico del pozo LA-086



4. COSTO / BENEFICIO

4.1 COSTOS

La **tabla 13** muestra los costos que se tendría con los 10 rediseños más significativos y el cambio de las dos líneas intermedias saturadas. Estos cálculos fueron realizados según las ecuaciones y valores utilizados por OXY.

Causa	Costo
10 Rediseños	MMUSD 4,2
Cambio de dos líneas intermedias	MMUSD 0,1680
TOTAL	MMUSD 4,3680

Tabla 13. Costos del Proyecto.

Para el costo de los rediseños se tiene en cuenta el costo de la reparación de los equipos recuperados; tomados como el 60% del costo total del equipo. Para los cálculos se tomó el costo de un equipo BES **USD 200.000** y el costo del servicio **USD 100.000**. A continuación se muestra la ecuación usada por OXY para estos cálculos.

$$10 * [(\text{costo del equipo} * \% \text{ que se paga por reparación}) + \text{costo del servicio} + \text{costo del equipo}] = \text{costos de los Rediseños}$$

$$10 * [(\text{USD } 200.000 * 0,6) + \text{USD } 300.000] = \text{USD } 4'200.000$$

El costo que se tendría en el cambio de las 2 líneas saturadas de fluido, incluye mano de obra, materiales y líneas intermedias de flujo nuevas. Este valor fue dado por los ingenieros de la contratista encargada en este tipo de trabajos.



4.2 BENEFICIOS

El barril de petróleo WTI tiene un costo promedio de **USD 90**, para uso de cálculos en la compañía se toma el barril de aceite a **USD 50**, debido a que se descuenta el costo de levantamiento, transporte, seguridad, regalías e impuestos. Para los cálculos de las dos primeras causas de la **tabla 14** se tomó el barril de aceite a **USD 60**, debido a que se tiene un ahorro del costo de levantamiento con los nuevos equipos, ya que estas bombas estarían mejor dimensionadas; disminuyendo el consumo de energía. También se tiene un ahorro en el costo de levantamiento al cambiar las dos líneas intermedias saturadas, debido a que la presión en cabeza de los pozos involucrados en esas líneas disminuiría, y así, sería menor la presión que el fluido debe vencer para ser levantado. A continuación se muestra el cálculo que se realizó para el primer caso. De la misma manera se hizo el cálculo para los siguientes.

Como se observa en el **Gráfico 19** se tiene **667 BOPD** de ganancias para los 10 rediseños más significativos propuestos.

BOPD adicionales por los Rediseños * (costo del barril de aceite) = USD ganados

667 BOPD * (USD 60 / BOPD) = USD 40.020

Para la tercera causa de la **tabla 14**, la metodología del cálculo es igual, pero se realiza con un costo de aceite de **USD 50** debido a que no se tiene ahorro en el costo de levantamiento.

Para la cuarta causa se realizan los cálculos con un costo del MW/h de **USD 80** y barril de aceite de **USD 50**. Según el **gráfico 19** se tiene un ahorro de **4,32 MW** diario y se disminuye **21 BOPD**.



$$(\text{MWD ahorrados} * \text{costo MW/h} * \text{h día}) - (\text{BOPD disminuidos} * (\text{costo de barril de aceite})) = \text{Dolares ahorrados}$$

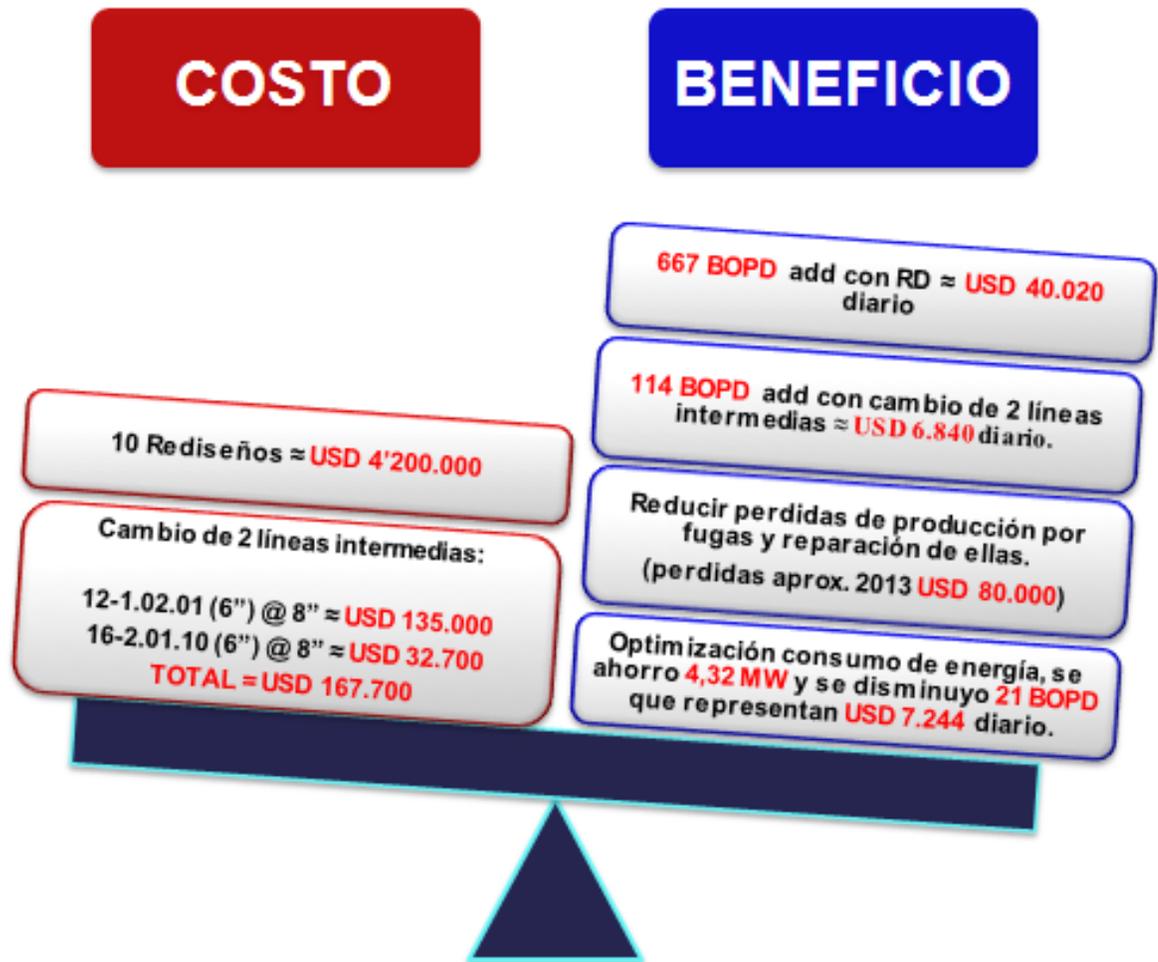
$$(4,32\text{MWD} * \text{USD}80 \text{ MW/hr} * 24 \text{ hr/D}) - (21 \text{ BOPD} * (\text{USD}50 / \text{BOPD})) = \text{USD } 7.244$$

La tabla a continuación muestra las ganancias que se tendrían en 1 día, esta sería la suma de las ganancias de las cuatro causas. La ganancia a los 30 días es la multiplicación de la ganancia de un día por 30. La ganancia al año se calcula con una disminución mensual del 2% debido a que la producción tiende a declinar y el consumo de energía a incrementar con el tiempo.

Causa	Ganancia
BOPD adicionales con Rediseños	MMUSD 0,0400
BOPD adicionales con cambio de 2 líneas intermedias	MMUSD 0,0068
BOPD adicionales con los incrementos de frecuencia	MMUSD 0,0016
Optimización del consumo de energía	MMUSD 0,0072
TOTAL diario	MMUSD 0,0556
TOTAL mensual	MMUSD 1,6680
TOTAL año	MMUSD 17,9546

Tabla 14. Ganancias del proyecto.

La gráfica a continuación muestra la relación que se tiene en el costo y beneficio del proyecto. Siendo predominante el beneficio obtenido con su realización.



Grafica 19. Relación Costo / Beneficio.



5. CONCLUSIONES

- Las limitaciones actuales para incrementos de BOPD están relacionadas con los equipos de fondo y condiciones específicas de cada uno de los pozos. Después del reemplazo de la troncal 20-2 y la entrada de la nueva troncal 24-3 no se tienen limitaciones en ninguna troncal. La carga actual de las troncales está por debajo del 86% de la capacidad máxima de cada una.
- Con las condiciones actuales de los equipos instalados y las limitaciones que se tienen, se logró incrementar frecuencia de operación en 8 pozos (LA-142, CM-03, LA-238, CH-87, LA-154, CH-82, LA-247 Y LA-245), Se ganó **154 BOPD** y se incrementó tan solo **0,177 MW**
- Se disminuyó frecuencia de operación en 4 pozos (CH-58, CH-11, LA-193 y LA-066) y se apagó CH-51 por alta velocidad erosiva. En resumen se disminuyó **98 BOPD**, pero se ahorró **1,496 MW**.
- Si se logran incrementar los pozos limitados después de realizar RD, se esperarían unas ganancias estimadas cercanas a los **700 BOPD**.

Con el estudio de las troncales, se ha logrado optimizar también el ranking del listado de los pozos candidatos a prueba de serafín, lo cual dio como resultado el apagado de **10 pozos** (CH-31, LA-033, LA-086, CH-48, CH-56, CM-25, LA-230, LA-190, CM-17 y MB X-01) durante los meses Abr-Jun del 2013, para un estimado de **3 MW (78.890 BPFD / 77 BOPD)**.

- Las líneas intermedias **12-4.02.01 (8")**, **12-1.02.01 (6")** y **16-2.01.10 (6")** que se encuentran saturadas de fluido ocasionan perdidas en la producción y riesgo a presentar fugas en el SR.
- La herramienta "Solver" optimiza variables mediante el análisis de sensibilidad de las tasas de fluido, permitiendo realizar corridas cada vez que se quiera.



6. RECOMENDACIONES

- Evaluar junto con el área de yacimientos el incremento de los actuales potenciales de los pozos no limitados, y de los pozos propuestos para RD.
- Cambio de los siguientes segmentos que se encuentran saturados de fluido:

Troncal 24-2

Linea 12-1.02.01 (6")	
# Pozos	4
% Carga	111,14 %
BFPD actual	41.123
BFPD max.	37.000

Troncal 20-3

Linea 16-2.01.10 (6")	
# Pozos	5
% Carga	120%
BFPD actual	44.249
BFPD max.	37.000

- Evaluar la apertura de la válvula 378 para aliviar la línea intermedia 12-4.02.01 de la troncal **24-3**.

Linea 12-4.02.01 (8")	
# Pozos	8
% Carga	120,44%
BFPD actual	77.083
BFPD max.	64.000

- Evaluar el BS&W de los pozos cercanos al límite económico mediante pruebas de serafín para evaluar apagado de pozos y posibles WO para ahorro de energía e incremento de BOPD.



BIBLIOGRAFIA

- ACN100, plano del sistema de recolección del área de Cravo Norte.
- Base de datos de CRYSTAL del ingeniero de producción de Llanos Nortes.
- DSS, potencial de los pozos, presión estática, índice de productividad y Megavatios.
- ESCOBAR MACUALO, Freddy Humberto. Fundamentos de Ingeniería de Yacimientos. Neiva: Universidad Surcolombiana, 2005. 127 p.
- FieldDE, parte por millón (ppm) de arena de los pozos y sumergencia actual de los pozos.
- <http://es.scribd.com/doc/75078228/Geomecanica-Del-Pozo>
- IFIX, parámetros de pozo en tiempo real, corrientes, BS&W, tasa de fluidos, presión de fondo fluyente, frecuencia.
- Infoview, reportes de producción semanal.
- Openwells, estado actual de los pozos, pozos en producción y abandonados, equipo instalado en cada pozo.
- Reporte semanal generado por el ingeniero de producción "Capacity", BS&W, potencial definido por yacimiento, producción estimada semanal.
- Wellstatus, paradas o apagados de pozo.



ANEXO A (INFORMATIVO)

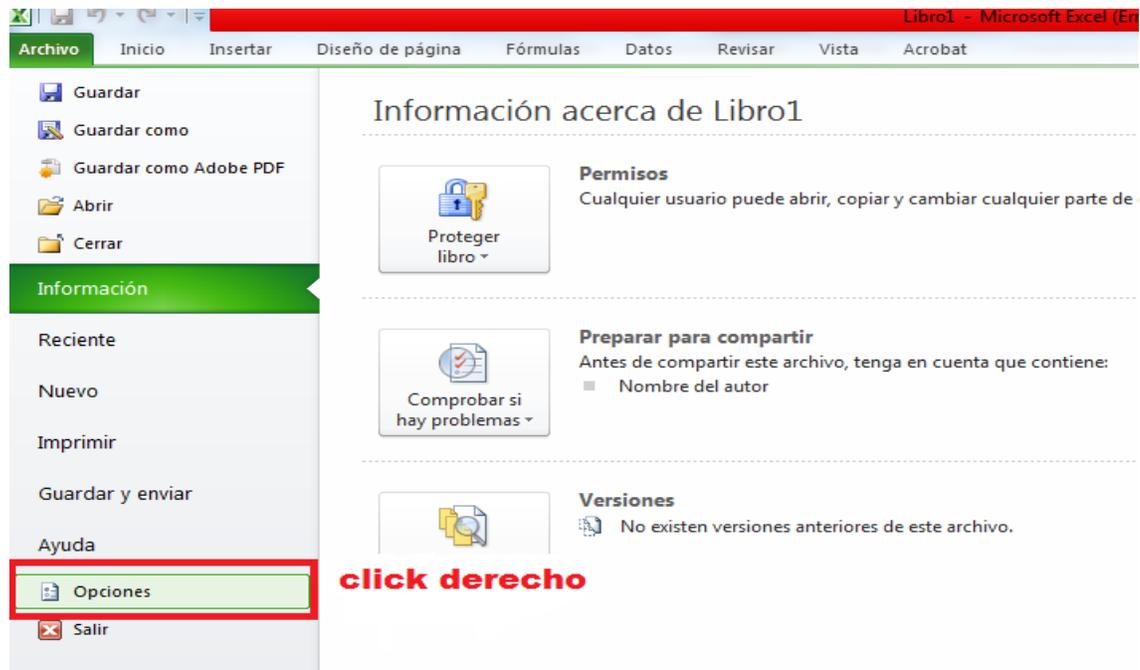
HERRAMIENTA SOLVER

El Solver se utiliza para determinar el valor máximo o mínimo de una celda modificando otras celdas. Las celdas que se seleccionen deberán estar relacionadas mediante fórmulas en la hoja de cálculo. Si no están relacionadas, cuando se modifique una celda no se modificará la otra. Con Solver puede modificarse el valor óptimo para una celda, denominada “celda objetivo”. Solver ajusta los valores en las celdas cambiantes que se especifiquen, denominadas “celdas ajustables” para generar el resultado especificado en la fórmula de la celda objetivo. Pueden aplicarse restricciones para limitar los valores del modelo, pudiendo éstas hacer referencia a otras celdas a las que afecte la fórmula de la celda objetivo.

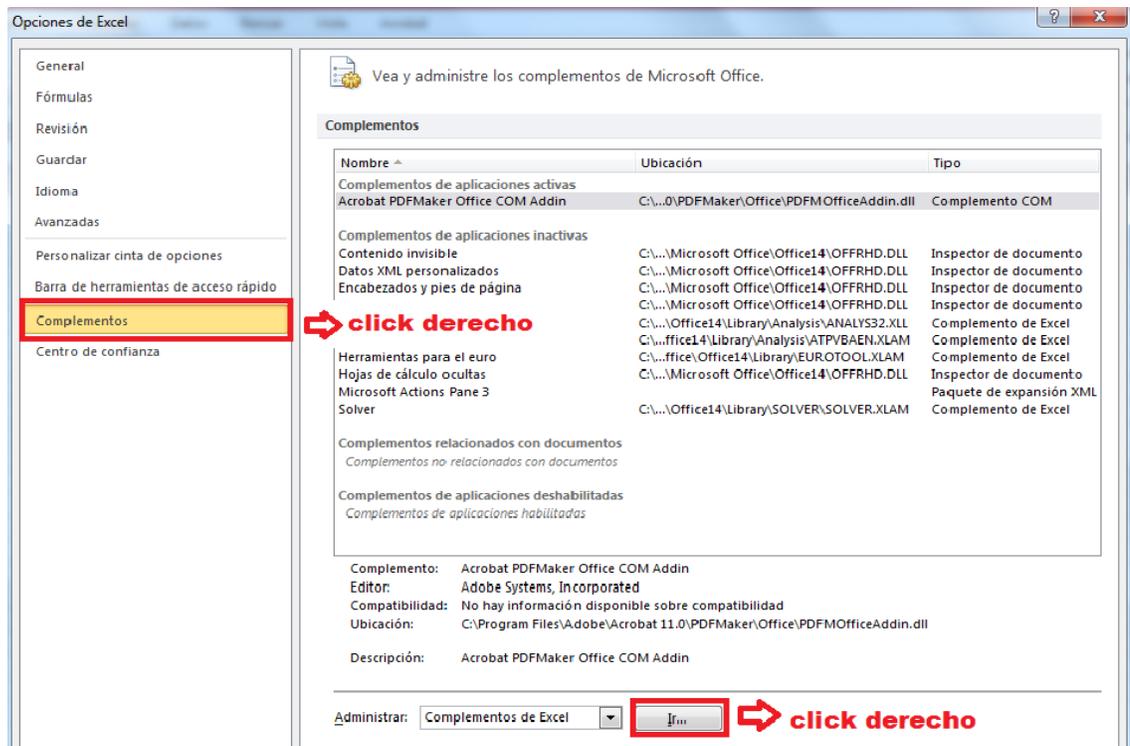
Instalación del Solver

Solver es una herramienta de Microsoft Excel, por lo tanto para su instalación se necesita tener el programa de Excel. Si el comando Solver no aparece en el menú Herramientas, deberá instalar la macro automática Solver de la siguiente manera:

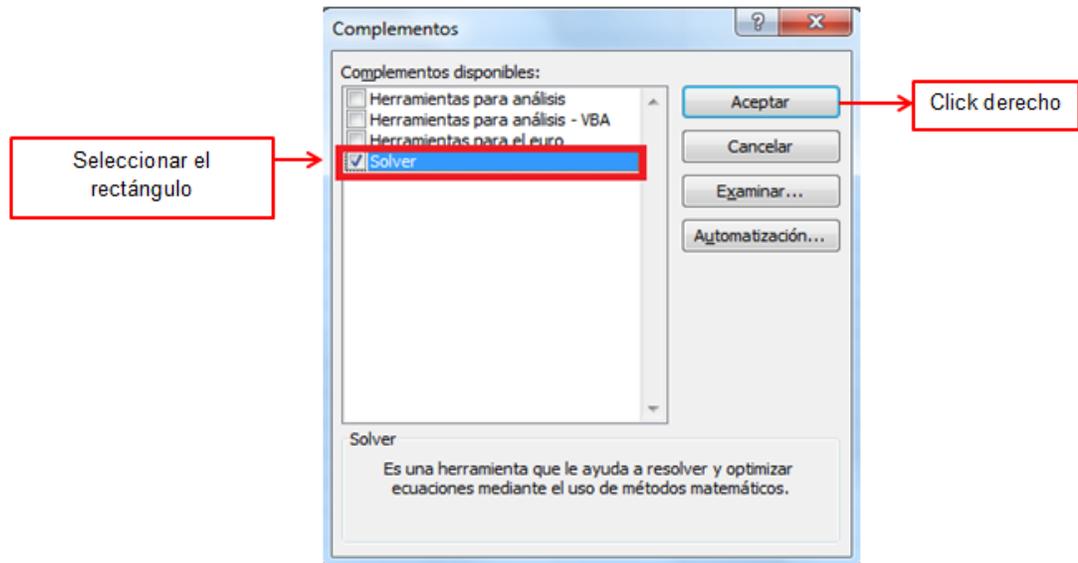
1. Ir archive, después opciones.



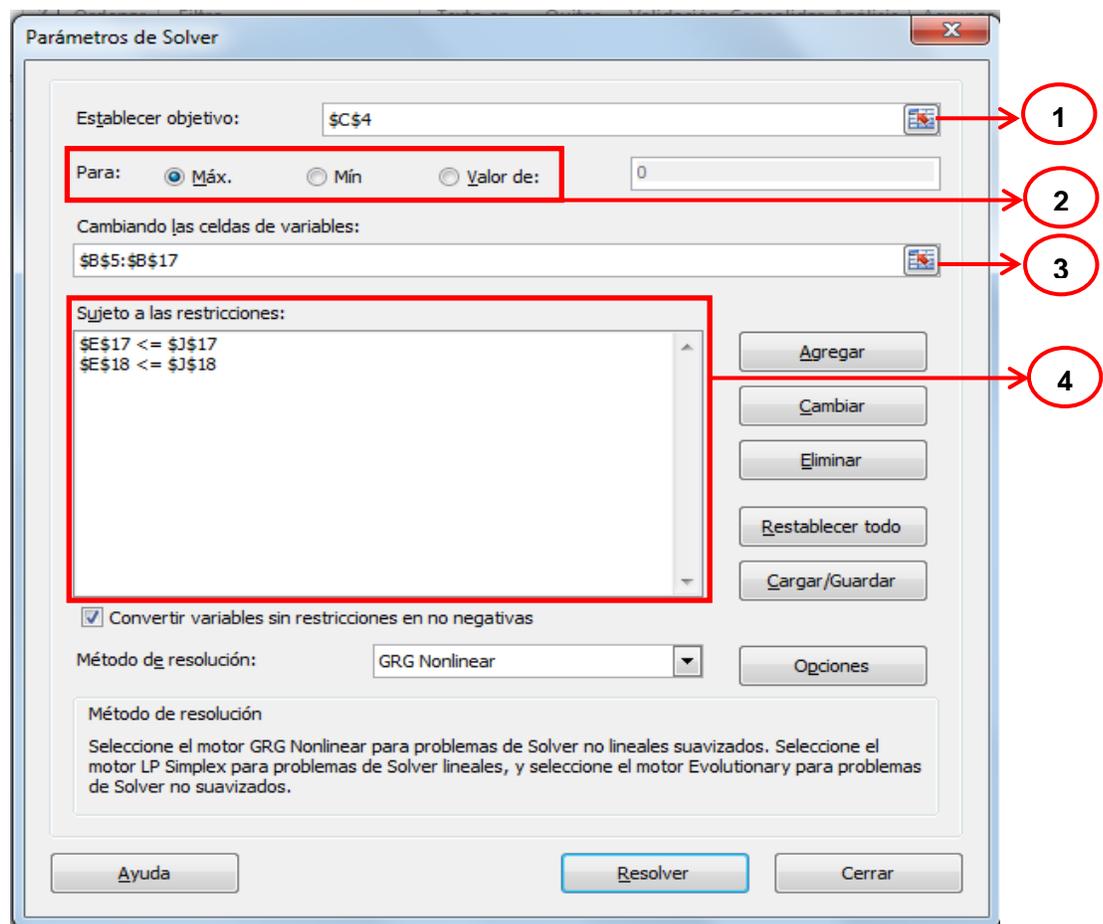
2. Ir a complementos



3.



Definir y resolver un problema con Solver





- 1 En el cuadro Celda objetivo, introduzca una referencia de celda o un nombre para la celda objetivo.
- 2 Para que el valor de la celda objetivo sea el valor máximo posible, haga clic en Máx., de ser un valor mínimo en Min o de tener un valor determinado, haga clic en Valor.
- 3 En el cuadro Cambiando la celda, introduzca un nombre o referencia para cada celda ajustable, separando con comas las referencias no adyacentes. O presione el botón Estimar.
- 4 Introduzca todas las restricciones que desee aplicar.

Por ejemplo: En este proyecto la celda Objetivo es BOPD de toda la troncal, lo que se busca con la celda objetivo es maximizar este valor hasta donde sea posible, las restricciones que se ingresan son las limitaciones de las bombas y/o del sistema de recolección, dependiendo el caso que se esté evaluando. Según las restricciones ingresadas en el Solver será la optimización de la celda objetivo. Al realizar la simulación en el Solver, este cambia lo BFPD de los pozos correspondientes a esta troncal, siendo estas las celdas ajustables, debido a que en cada celda de los BOPD de los pozos hay una ecuación relacionada con los BFPD, los BOPD cambian automáticamente, logrando la optimización de la celda objetivo.

Fuente: Página Web principal Microsoft Office.

ANEXO B (INFORMATIVO)

PRUEBA SERAFIN

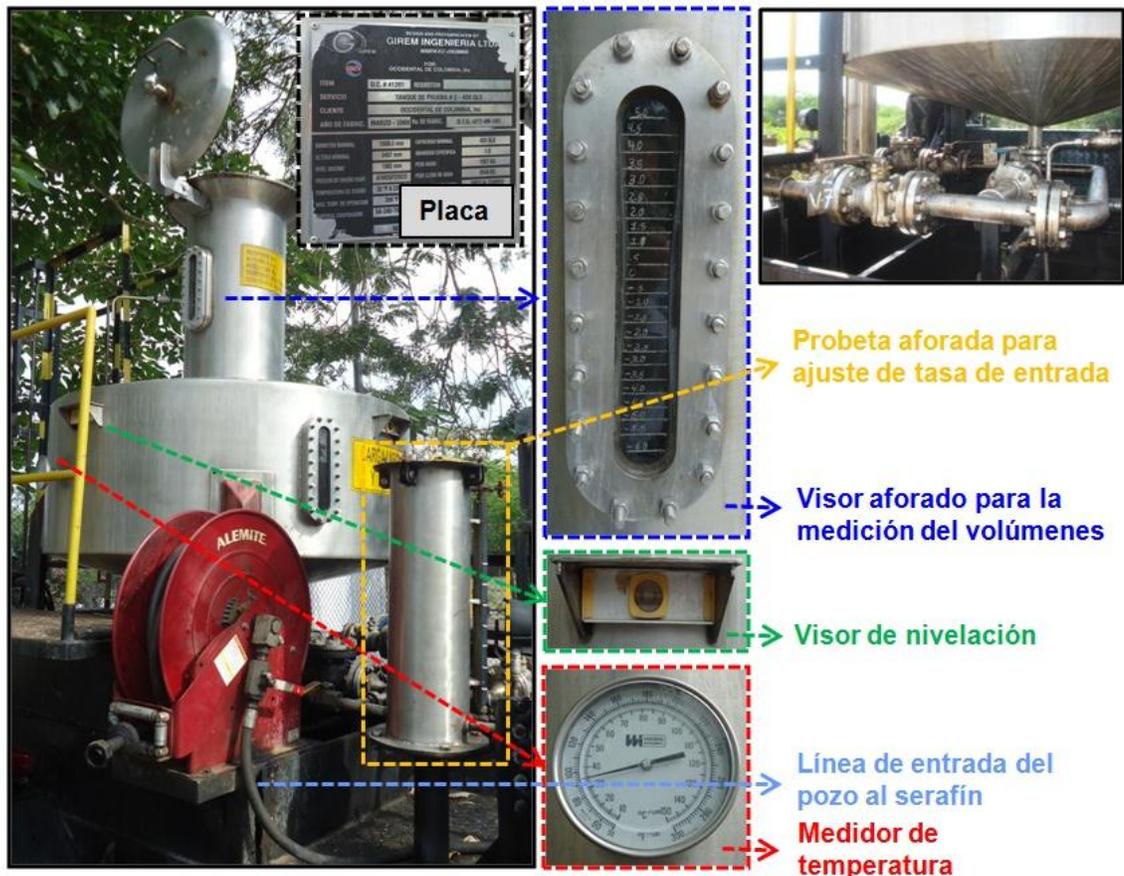


Para determinar los pozos que requieren una prueba serafín urgente, se escogen los pozos que presenten:

- BS&W iguales o superiores al 99.0%
- Tasas altas (mayores a 10.000 BFPD)
- Producción muy cercana a su límite económico.
- Última prueba realizada sea mayor a 100 días,
- Run life alto (mayor a 300 Dias).

Pasos generales según:

- Ubicar el serafín y nivelarlo. Adicionar al tanque la cantidad de rompedor directo necesario para la prueba.
- En el manifold del pozo, desviar el flujo por el bypass, conectar la manguera pozo-serafín.
- Normalizar el flujo y abrir la válvula toma muestra de conexión pozo-serafín. Purgar las líneas con el fluido del pozo.
- Ajustar la válvula de entrada para obtener la tasa deseada para las 10 horas (tiempo que debe durar el llenado). Ajustar válvulas y empezar a llenar el serafín.
- Después de las 10 horas, registrar los volúmenes obtenidos, V_{total} y V_{agua} en galones, según el visor aforado (± 0.10 galones).



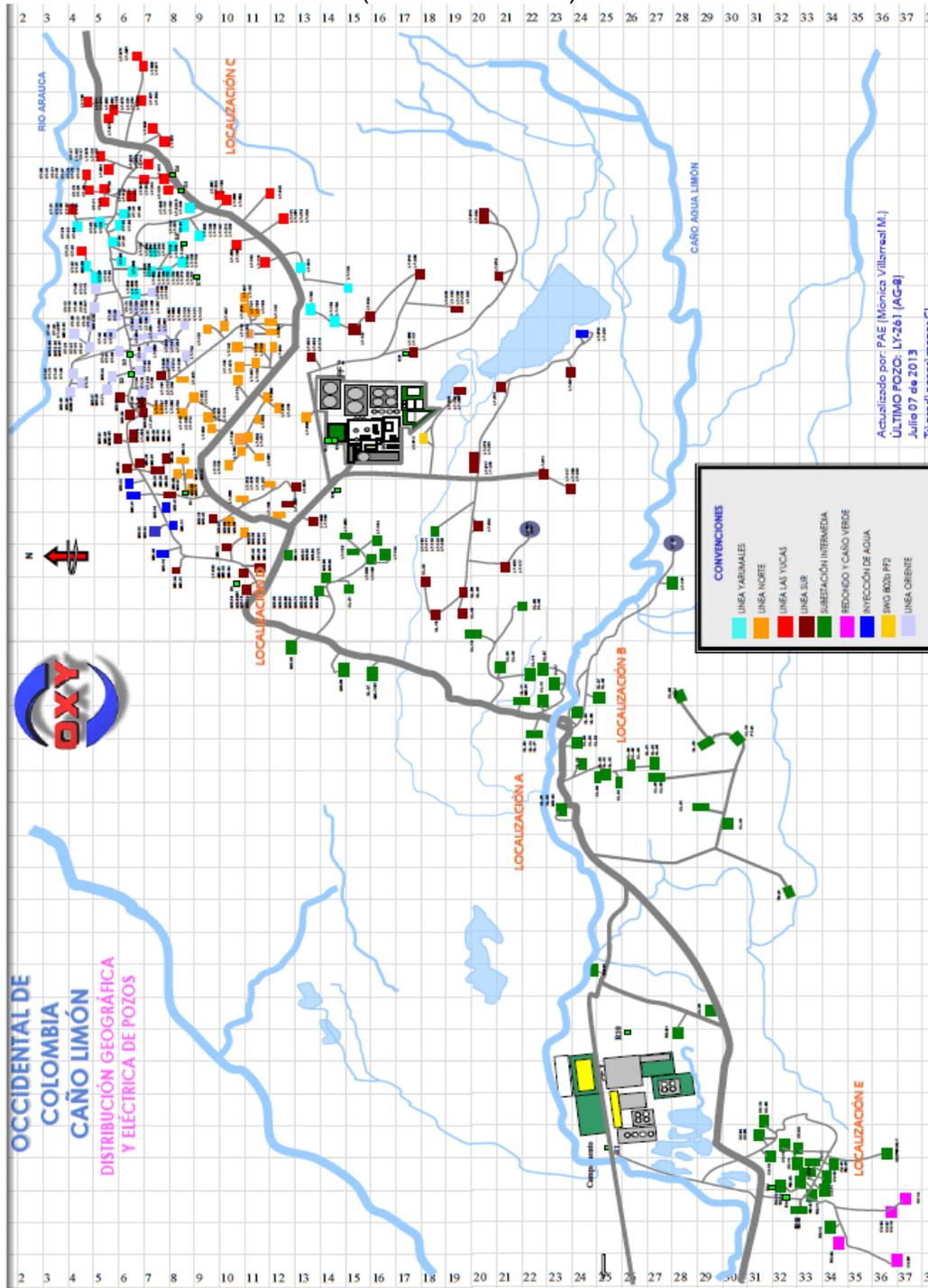


Determinación BS&W en tanques serafín

Para la determinación del BS&W, una persona es la encargada de tomar los datos de campo después que los fluidos hayan segregado completamente, para esto se estima un tiempo aproximado de 10 horas, estos datos son: el volumen total, el volumen de agua y el volumen de crudo observado, además se toma la temperatura; en seguida se toma una muestra de agua y de crudo, para llevar al laboratorio y determinar la cantidad de crudo que hay en el agua y la cantidad de agua que han en el crudo, para esta determinación se realizan tres prueba: aceite en agua por D-limonene, agua por Karl Fisher y gravedad API. Se lleva a cabo el ajuste de volúmenes por temperatura y datos de laboratorio. Al día siguiente se vuelve a realizar todo el procedimiento anteriormente mencionado, si los resultados del día uno coinciden con los resultados del día dos, la prueba es exitosa y se procede a la validación del BS&W medido. Si por el contrario los resultados no son iguales, se procede a realizar otra prueba siguiendo el mismo procedimiento hasta que los resultados sean consistentes.

Fuente: Diapositivas Presentación Serafín 2013, Occidental de Colombia.

ANEXO C (INFORMATIVO)



Fuente: Mapa Tabloide Caño Limón, 2013.