

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**COLEGIO POLITÉCNICO**

---

**OPERACIONES CONTINUAS 24 HORAS DE  
FRACTURA EN POZOS PETROLEROS**

---

**Tesis de grado presentada como requisito para la  
obtención del título de Ingeniería Industrial**

RENATO RÍOS

QUITO  
JUNIO, 2007

---

© Derechos de autor  
Renato Orlando Ríos Salgado  
2007

## **Dedicatoria**

Grandes personas, hazañas y diferentes tiempos, pero nunca nadie más grande que mis padres y mi familia, a quienes dedico mi trabajo, mi esfuerzo y mis futuros éxitos. Lo que he aprendido de ellos no solo me lleva a escribir una tesis, sino cada día, las letras de los párrafos de mi vida.

Dla ludzi, którzy każdego dnia dają mi wiarę, że gdzieś tam istnieje szalony świat w którym chcę żyć. Nie ma tam miejsca na nieśmiałość, strach i na czekanie, aż 'coś' samo się stanie. Dla moich przyjaciół, rodziny i marzeń. Ponad wszystko jest to dla Boga, ponieważ nie ma innego powodu dla którego mam sięgać tak wysoko.

## Agradecimientos

En un principio me siento en deuda con todas las maravillosas personas que hicieron posible que mi carrera universitaria haya sido llena de alegrías, esfuerzo, satisfacciones y aventuras. Estoy convencido que mi familia, mis amigos, mis compañeros y mis profesores jamás pudieron haber sido mejores.

De manera puntual agradezco a las personas que colaboraron para hacer realidad el presente documento, especialmente:

- Andrés Batallas, Director de Tesis, mi primer jefe, uno de mis mejores profesores, pero sobretodo, un gran amigo. Su ejemplo, ayuda, concepción de ideas y producción del trabajo, realmente hicieron la diferencia y cambiaron mi forma de pensar en el tiempo.
- Ximena Córdova, por la paciencia y ayuda para este proyecto. Su ejemplo y colaboración y guía a lo largo de la carrera resultan en el esfuerzo de este proyecto final. Más que una profesora, una gran amiga y segunda madre.
- Patricio Cisneros, cuya influencia en mi vida como profesor, jefe, colaborador y especialmente como amigo, me han ayudado a reconocer que no hay límite imposible.
- Da-Costa Shado, Ingeniero de Distrito en Rock Springs, WY, USA. Schlumberger. La colaboración, información y apoyo en todo momento hicieron posible mantener la coherencia, profesionalismo e importancia del proyecto.

## **Resumen**

El presente documento analiza las Operaciones Continuas de 24 Horas de Fractura, sobre la base de resultados obtenidos por la empresa de servicios petroleros “Schlumberger” en su unidad de Well Services, en el Distrito de Rock Springs, Wyoming, West Coast, en Estados Unidos. El proyecto plantea el Modelo de Supply Chain bajo el cual dichas operaciones se llevan a cabo, y se complementa con modelos de simulación construidos en Promodel, que sustentan las grandes ventajas de esta nueva solución integral de operaciones de estimulación en pozos de extracción de petróleo y gas. Adicionalmente se resumen indicadores comparativos de desempeño del primer semestre del 2005 y 2006, y se analizan a fondo los datos del mes de Febrero del 2006, con un cliente específico, desde la perspectiva de valor de la corporación. Las conclusiones, recomendaciones y futuro de las operaciones se fundamentan en los indicadores, modelos de simulación establecidos, las nuevas tecnologías de estimulación que se encuentran en desarrollo y los preceptos de Cadena de Demanda aplicables a la mejora continua de los procesos.

## **Abstract**

The following document analyzes 24 Hours Fracturing Operations over the outcome obtained by the oilfield services provider “Schlumberger”, in its unit of Well Services, in the District of Rock Springs, Wyoming, West Coast of the United States. The project presents the Supply Chain Model under which the operations are performed and it is complemented by simulation models build in Promodel, that sustain the great advantages of this new integral solution of stimulation of producing wells of oil and gas. Moreover, comparative indicators of performance of the first semesters 2005 and 2006 are summarized, along with a deep analysis of February 2006 with a specific client, under the Corporation’s perspective of value. The conclusions, recommendations and the way forward are based on the indicators, simulation models, new technologies of stimulation that are now in development and Supply Chain concepts that can be applied to the continuous improvement of the processes.

## Tabla de Contenido

<b>Derechos de autor</b> .....	ii
<b>Dedicatoria</b> .....	iii
<b>Agradecimientos</b> .....	iv
<b>Resumen</b> .....	v
<b>Abstract</b> .....	vi
<b>Tabla de Contenido</b> .....	vii
<b>Lista de Figuras</b> .....	x
<b>Lista de Tablas</b> .....	xii
<b>Capítulo 1. Introducción</b> .....	1
<b>Capítulo 2. Fundamentos Teóricos</b> .....	2
2.1 Industria del Petróleo .....	2
2.2 Operaciones de Fractura .....	5
2.3 Cadena de Demanda .....	8
2.4 Simulación .....	10
2.5 Promodel .....	13
<b>Capítulo 3. Metodología</b> .....	16
3.1 Planteamiento .....	16
3.2 Simulación .....	17
<b>Capítulo 4. Situación actual</b> .....	18
<b>Capítulo 5. Modelo de Cadena de Demanda – Operaciones Continuas 24 Horas de Fractura</b> .....	20
<b>Capítulo 6. Modelos de Simulación</b> .....	28
6.1 Recolección y Procesamiento de Datos .....	28
6.2 Funcionamiento del Distrito tradicional .....	33
6.2.1 Localidades .....	33

6.2.2 Entidades .....	35
6.2.3 Arribos .....	35
6.2.4 Variables .....	36
6.2.5 Atributos .....	37
6.2.6 Información General .....	37
6.2.7 Procesamiento .....	38
6.2.8 Layout del modelo .....	39
6.3 Funcionamiento del Distrito con operaciones continuas. ....	39
6.3.1 Localidades .....	39
6.3.2 Entidades .....	41
6.3.3 Arribos .....	41
6.3.4 Variables .....	41
6.3.5 Atributos .....	43
6.3.6 Información General .....	43
6.3.7 Procesamiento .....	43
6.3.8 Layout del modelo .....	44
6.4 Proceso Tradicional con un pozo. ....	45
6.4.1 Localidades .....	45
6.4.2 Entidades .....	46
6.4.3 Arribos .....	46
6.4.4 Variables .....	47
6.4.5 Recursos .....	48
6.4.6 Información General .....	48
6.4.7 Procesamiento .....	49
6.4.8 Layout del modelo .....	50
6.5 Proceso de Operaciones continuas de 24 Horas de Fractura. ....	50
6.5.1 Localidades .....	51
6.5.2 Entidades .....	51
6.5.3 Arribos .....	52
6.5.4 Variables .....	52
6.5.5 Recursos .....	53
6.5.6 Información General .....	53
6.5.7 Procesamiento .....	54



6.5.8 Layout del modelo .....	55
<b>Capítulo 7. Resultados</b> .....	57
7.1 Operaciones en Febrero 2006 – Cliente Específico.....	57
7.2 Simulaciones efectuadas .....	61
<b>Capítulo 8. Análisis de Resultados</b> .....	65
8.1 Comparativo de Operaciones en Semestre 2005 - 2006 .....	65
8.2 Comparativo de Simulaciones .....	68
8.3 Desventajas .....	74
8.4 Valor agregado al Cliente .....	75
8.5 Valor agregado a la empresa.....	76
8.6 Valor compartido .....	77
<b>Capítulo 9. Análisis de Conclusiones, Recomendaciones y Futuro de las Operaciones.</b>	78
9.1 Conclusiones.....	78
9.2 Recomendaciones .....	80
9.3 El Futuro de las Operaciones .....	81
<b>Bibliografía</b> .....	87
<b>Anexos</b> .....	90

## Lista de Figuras

Figura 1. Reservas por zonas .....	4
Figura 2. Flujograma de Operaciones de Fractura en Pozos .....	18
Figura 3. Fracturas en un pozo diferenciando perforaciones.....	19
Figura 4. Concepción de la empresa de Servicios Petroleros.....	25
Figura 5. Cadena de Demanda para la Industria del Petróleo y Gas .....	26
Figura 6. Diseño de Operaciones Continuas de 24 Horas de Fractura .....	27
Figura 7. Ajuste de distribución de los arribos a los distritos.....	29
Figura 8. Distribución normal al 95% .....	32
Figura 9. Distribución Normal de Tiempo de Rig Up.....	32
Figura 10. Layout del Modelo de Simulación del Distrito Tradicional. ....	39
Figura 11. Layout del Modelo de Simulación del Distrito con Operaciones Continuas. ....	44
Figura 12. Layout del Modelo de Simulación del Proceso Tradicional con un pozo.....	50
Figura 13. Layout del Modelo de Simulación con Operaciones Continuas con 1 pozo.....	55
Figura 14. Layout del Modelo de Simulación con Operaciones Continuas con 2 pozos.....	55
Figura 15. Layout del Modelo de Simulación con Operaciones Continuas con 3 pozos.....	56
Figura 16. Resumen de Operaciones con el Cliente a Febrero del 2006.....	57
Figura 17. Accidentes HSE en Febrero del 2006. ....	59
Figura 18. Comparativo de diseño y trabajo real QAQC. ....	60
Figura 19. Porcentaje de Operaciones .....	65
Figura 20. Retorno sobre los activos .....	66
Figura 21. Ingresos comparativos.....	66
Figura 22 Número de personas .....	66
Figura 23. Días de inventario .....	67
Figura 24. Ventas por empleado.....	67
Figura 25. Comparativo de tiempo de manejo con distritos de operaciones diferentes .....	69
Figura 26. Comparación de horas trabajadas con diferentes operaciones. ....	71
Figura 27. Comparación de horas de manejo con diferentes operaciones.....	71
Figura 28. Relación de horas trabajadas con varios pozos en operaciones continuas.....	73
Figura 29. Relación de horas de manejo con varios pozos en operaciones continuas. ....	73
Figura 30. Valor compartido – Nuevos Parámetros de la Industria .....	77
Figura 31. Coilfrac.....	83

Figura 32. JTP .....	84
Figura 33. ACT Frac.....	85

## Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación del Petróleo en función de la densidad.....	3
Tabla 2. Países del mundo con más petróleo en su subsuelo .....	4
Tabla 3. Comparativo de reservas vs. Consumo. ....	5
Tabla 4. Cuantificaciones de tiempos de arribo de órdenes de trabajo .....	28
Tabla 5. Evaluación de Stat::Fit para prueba de ajuste de distribución.....	30
Tabla 6. Cuantificaciones de tiempos para modelos de operaciones tradicionales. ....	31
Tabla 7. Cuantificaciones de tiempos para modelos de operaciones continuas. ....	31
Tabla 8. Resultados en Febrero del 2006 con el Cliente. ....	57
Tabla 9. Fluidos bombeados para el Cliente en febrero del 2006. ....	58
Tabla 10. Sólidos bombeados para el Cliente en febrero del 2006. ....	59
Tabla 11. Resultados del Modelo de Simulación del Distrito tradicional .....	63
Tabla 12. Resultados del Modelo del Distrito con Operaciones Continuas. ....	63
Tabla 13. Resultados del Modelo del Proceso tradicional con un pozo.....	63
Tabla 14. Resultados del Modelo del Proceso de Operaciones Continuas con 1 pozo.....	63
Tabla 15. Resultados del Modelo del Proceso de Operaciones Continuas con 2 pozos.....	64
Tabla 16. Resultados del Modelo del Proceso de Operaciones Continuas con 3 pozos.....	64
Tabla 17. Cuantificaciones del 1er semestre 2005 vs. 1er semestre 2006.....	65
Tabla 18. Comparativo de distritos con operaciones tradicionales y continuas.....	68
Tabla 19. Comparativo de operaciones en un pozo con diferentes procesos. ....	70
Tabla 20. Comparativo de operaciones continuas con varios pozos. ....	72

## **Capítulo 1. Introducción**

Para ser una empresa innovadora y emprendedora, no es suficiente hacer lo que el resto de la competencia hace: innovador desde el punto de vista que los servicios que se ofrecen sean los el cliente desea, para los cuales la tecnología es la principal base, herramienta y soporte; emprendedor a partir de la visión y misión de la empresa. La principal plataforma es la calidad, si se busca desarrollar una cultura organizacional enfocada a la satisfacción del cliente, sin olvidar la rentabilidad y generación de dividendos. Es así como día a día, “Schlumberger” genera riqueza en función de las soluciones y servicios petroleros que ofrece, donde las operaciones de fractura son parte activa del paquete que las empresas de gas y petróleo utilizan para la estimulación de campos petroleros.

El documento presentado a continuación analiza los resultados de Operaciones Continuas de 24 Horas de Fractura en función de la visión de Cadena de Demanda (Supply Chain) y a través de una cuantificación para el mes de Febrero del 2006 con un cliente específico. Posteriormente se presentan resultados comparativos entre semestres del 2005 y 2006, para finalmente se establecer modelos de simulación para las operaciones tradicionales y las Operaciones Continuas (evolución de las operaciones tradicionales), con su respectivo análisis de resultados y conclusiones.

Como objetivo final, este proyecto pretende comprobar que cuando se trabaja bajo los conceptos de Cadena de Demanda, cambios en los procesos pueden devolver resultados exitosos y sumamente rentables. Dichos resultados se evidencian con los modelos de simulación, que por su naturaleza y presentación gráfica e informativa, deberían ser parte activa del material de venta a los clientes.

## **Capítulo 2. Fundamentos Teóricos**

### **2.1 Industria del Petróleo**

A pesar de lo mucho que se dice a favor y en contra del petróleo, es un hecho que la civilización humana jamás pudo haber progresado de forma tan vertiginosa en su ausencia. La industria del petróleo y gas mueve anualmente miles de millones de dólares, constituyendo el motor de muchas economías y sin duda, siendo la fuente de combustible principal (Loof, 20).

El petróleo es un compuesto químico complejo en el que coexisten partes sólidas, líquidas y gaseosas. Lo forman, por una parte, compuestos denominados hidrocarburos, formados por átomos de Carbono e Hidrógeno y, por otra, proporciones de Nitrógeno, Azufre, Oxígeno y algunos metales (Berger, 2). Se presenta de forma natural en depósitos de roca sedimentaria.

Su color es variable, entre el ámbar y el negro y el significado etimológico de la palabra petróleo es aceite de piedra, por tener la textura de un aceite y encontrarse en yacimientos de roca sedimentaria.

Al ser un compuesto líquido, su presencia no se localiza habitualmente en el lugar en el que se generó, sino que ha sufrido previamente un movimiento vertical o lateral, filtrándose a través de rocas porosas, a veces una distancia considerable, hasta encontrar una salida al exterior –en cuyo caso parte se evapora y parte se oxida al contactar con el aire, con lo cual el petróleo en sí desaparece– o hasta encontrar una roca no porosa que le impide la salida (Harbaug, 121). Entonces se convierte en un yacimiento o reservorio, que se caracteriza por tres propiedades básicas:

- **Porosidad:** medida de los espacios huecos en una roca.

$$\text{Porosidad} = \% (\text{volumen de huecos} / \text{volumen total}) \times 100$$

- **Permeabilidad (k):** es la capacidad de una roca para que un fluido fluya a través de ella y se mide en darcys, que es la permeabilidad que permite a un fluido de un centipoise de viscosidad fluir a una velocidad de 1 cm/s a una presión de 1 atm/cm. Habitualmente, debido a la baja permeabilidad de las rocas, se usan los milidarcies.
- **Saturación de hidrocarburos:** debido a ciertas propiedades de los fluidos y de las rocas almacén o reservorios, es común que al menos una parte del espacio poral esté ocupado por agua. La saturación de hidrocarburos expresa el porcentaje del espacio poral que está ocupado por petróleo o gas natural.

La industria mundial de hidrocarburos líquidos clasifica el petróleo de acuerdo a su densidad API, que es el parámetro internacional del Instituto Americano del Petróleo, que diferencia las calidades del crudo (Berger, 43).

*Tabla 1.* Clasificación del Petróleo en función de la densidad.

<b>Aceite Crudo</b>	<b>Densidad ( g/ cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad grados API</b>
Extrapesado	>1.0	10.0
Pesado	1.0 - 0.92	10.0 - 22.3
Mediano	0.92 - 0.87	22.3 - 31.1
Ligero	0.87 - 0.83	31.1 - 39
Superligero	< 0.83	> 39

Para descubrir los lugares donde existen yacimientos de petróleo no existe un método científico exacto, sino que es preciso realizar multitud de tareas previas de estudio del terreno. Asimismo, para la extracción se pueden llevar a cabo diferentes métodos, dependiendo de la profundidad, locación, formación geológica, entre otras variables.

De acuerdo al informe publicado por “BP statistical review of world energy” en junio del 2004, a finales de 2003, las reservas mundiales probadas de petróleo ascendían a 157.000

millones de toneladas, equivalentes a 1,15 billones de barriles. El 77% de esas reservas se encuentran en los 11 países pertenecientes a la Organización de Países Productores de Petróleo (OPEP). El 7,5% del total mundial se encuentra en países pertenecientes a la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), formada por 30 países entre los que se encuentran los económicamente más potentes del mundo. El resto, un 15,6%, está repartido en los demás países del mundo (entre éstos destacan, por sus reservas, Rusia y China). Esto quiere decir que el 86,3% de las reservas actualmente existentes de petróleo en el mundo se encuentran en esos 12 países.

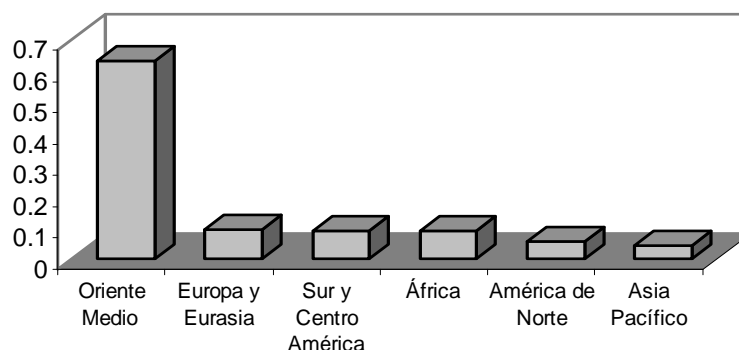
*Tabla 2. Países del mundo con más petróleo en su subsuelo (Datos 2003)*

<b>País</b>	<b>% sobre total de reservas mundiales</b>
Arabia Saudita	22.9
Irán	11.4
Irak	10.0
Emiratos Árabes Unidos	8.5
Kuwait	8.4
Venezuela	6.8
Rusia	6.0
Libia	3.1
Estados Unidos	2.7
China	2.1
México	1.4

*Fuente: BP statistical review of world energy. Junio 2004*

Las reservas mundiales de crudo por zonas geográficas se presentan en la Figura 1.

*Figura 1. Reservas por zonas (Datos 2003)*



*Fuente: BP statistical review of world energy. Junio 2004. (Datos de 2003)*

Datos comparativos de consumo se presentan en la Tabla 3.



Tabla 3. Comparativo de reservas vs. Consumo.

Zona	Reservas % /total	Consumo % /total
Oriente Medio	63.3	5.9
Europa y Euroasia	9.2	25.9
Sur y Centro de América	8.9	6
África	8.9	3.3
América del Norte	5.5	30.1
Asia-Pacífico	4.2	28.8

Fuente: BP statistical review of world energy Junio 2004. (Datos de 2003)

## 2.2 Operaciones de Fractura

Uno de los métodos comúnmente utilizados a lo largo de la vida de los pozos de extracción ya sea de gas o de petróleo, se denomina “Estimulación”. Básicamente las razones para estimular un pozo son (Mohd, 12):

- Daños de “Skin” (área inmediatamente cercana a la perforación realizada).
- Baja permeabilidad del reservorio.
- Zonas con índice de producción inferior respecto al potencial previsto.
- Zonas sobrepasadas, anteriormente no viables para explotación por el rendimiento previo, pero que con el tiempo se han re-evaluado.

Las principales formas de estimulación son:

- Control de arena.
- Control de agua.
- Fracturación Hidráulica.
- Tratamientos de Matriz, entre otros.

Las operaciones de fractura recaen en la fracturación hidráulica, la cual consiste en la inyección de fluidos en el pozo para crear fracturas o canales a profundidades deseadas.

Estos procedimientos se caracterizan porque la presión con que se bombean los fluidos es superior a la presión del pozo, lo cual permite crear la fractura o canal, para después llenarlo con fluidos y sólidos (generalmente arena) que aseguren que la fractura permanezca abierta después de retirar la presión aplicada. Esto crea un canal con permeabilidad y conductividad superior a la original del pozo, facilitando el flujo ya sea de petróleo o de gas a través de la tubería. (Schlumberger, StageFrac, 5)

En el mundo de fractura, el objetivo es empacar la mayor cantidad de sólidos en la fractura. De allí que el diseño pretende generar una fractura de ancho, largo y alto creciente. Obtenida una geometría adecuada, se adiciona en el fluido un agente sostén sólido (arena, cerámica, bauxita, etc.) para impedir que la fractura se cierre al finalizar el bombeo (Schlumberger, Coofrac, 4).

Es también esencial que una vez que se haya creado la fractura, no se genere daño en la formación a fin de evitar la migración de gas o petróleo, así como la consecuente pérdida económica y daño ambiental. De hecho, para reducir la interacción del fluido bombeado, muchas veces se utiliza la misma agua extraída de la formación del reservorio como fluido de mezcla para crear la fractura.

El proceso tradicional para llevar a cabo una operación de fractura, desde la perspectiva de pozo consiste en:

1. Operador del pozo: preparación del pozo.
2. Wireline: logs para identificación de zonas a fracturar.
3. Wireline: Corridas de tapones y perforaciones a diferentes profundidades

4. Frac: creación de la fractura.
5. Operador del pozo: flowback de fluidos.

Wireline es uno de los servicios más reconocidos en el mundo del petróleo, el cual se fundamenta en un cable o cuerda de metal que sirve para deslizar equipos al fondo del pozo petrolero o de gas. Dichos equipos pueden cumplir distintas funciones como mediciones del reservorio, perforación vertical u horizontal en determinada medida, fishing (obtención de equipos perdidos en el pozo por accidente), entre otros (Schlumberger, [www.slb.com](http://www.slb.com)).

En el ámbito de la estimulación, es indispensable que inicialmente se abran los canales que son base de la fractura mediante los equipos de Wireline. Para lograr ésto, se desliza el cable metálico con cargas explosivas hasta las profundidades deseadas. Las cargas se detonan de tal forma que crean un hueco que sirve de grieta inicial para propagar la fractura.

Por flowback se entiende al flujo o circulación de fluidos desde el pozo para preparar para una fase subsiguiente de tratamiento, o para limpiar y retornar el pozo a producción. Uno de las principales razones para llevar a cabo este procedimiento es la presión del pozo, ya que las herramientas para crear las perforaciones soportan determinados niveles de presión, es decir que a mayores niveles, dichas herramientas no pueden ser utilizadas. Por tanto el flowback reduce la presión hidrostática del pozo dependiendo de la densidad del fluido inicial y final, éste último generalmente menor.

## 2.3 Cadena de Demanda

La Cadena de Demanda (Supply Chain), incluye todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes y productos, desde la etapa de materia prima hasta el consumo por el usuario final. Para fines prácticos, inicia en el cliente del cliente y finaliza en el proveedor del proveedor.

Con la llamada "nueva economía", el abastecimiento, se convierte en un factor estratégico para las empresas. Para que el flujo de recursos sea óptimo debe fluir información en toda la cadena de valor y, lógicamente, para que todos los integrantes que la forman generen valor y ganancias, debe finalmente fluir el dinero, todo ello a la mayor velocidad posible y satisfaciendo al cliente final (Rodríguez).

La gestión de la Cadena de Demanda es la integración de todas las actividades mencionadas anteriormente a través de una relación entre todos los componentes de la cadena utilizando la tecnología disponible y permitiendo que cada uno genere productos y/o servicios competitivos, así también como ganancias.

Con esta visión amplia de las empresas como componentes de una cadena de abastecimiento debe quedar claro el objetivo que persigue este concepto: *generar valor económico y flujo permanente de bienes, información y dinero*. Por consiguiente la situación ideal para toda empresa es que los tres elementos mencionados fluyan permanentemente, que estén en movimiento generando ganancia a través de métodos eficientes (Chopra, 7).

Por consiguiente, toda detención del flujo es una pérdida; si se detiene el flujo de productos (incremento de inventarios) se generan pérdidas por capital inmovilizado y/o pérdida de ventas; si se detiene el flujo de dinero y la rotación del mismo no es eficiente, no sólo se dejan de generar ganancias sino que, adicionalmente, se debe recurrir a fuentes externas de financiamiento, lo que incrementa el costo. Y, finalmente, si la información se detiene, no es posible satisfacer requerimientos de los clientes y tomar decisiones adecuadas respecto a los productos y al dinero, la cual finalmente generará pérdidas.

La administración eficiente y efectiva del flujo de productos, dinero e información es la clave del éxito para los resultados que están obteniendo las empresas que implementan la integración de su cadena de demanda. La implementación de este concepto se inicia con el análisis detallado de la demanda real, es decir la del consumidor final, así como su comportamiento, para a partir de allí generar una planeación detallada de toda la cadena focalizando este plan en dos factores: satisfacción de la demanda real y optimización de los recursos necesarios para satisfacerla.

De acuerdo a SAP ([www.sap.com](http://www.sap.com)), una de las principales empresas en el mercado de Software de ERP y CRM, las ventajas que se obtienen con la administración de Supply Chain son:

- Reducción de Costos
- Integración en e-marketplaces públicos y privados para comparar proveedores de forma rápida y fácil y en un ámbito global.
- Coincidencia de la oferta y la demanda de forma efectiva a través de herramientas de planificación integradas y colaborativas.

- Reducción de stocks sin disminuir la capacidad para satisfacer una demanda inesperada.
- Aumento de productividad, maximizando la eficacia de los procesos de pedidos y otras funciones administrativas.
- Partnerships y alianzas estratégicas.
- Mejor respuesta ante la demanda.
- Reducción de la duración del ciclo de pedido, acelerando la conversión de los materiales en dinero en efectivo.
- Mejora el uso de los activos y reduzca los gastos de capital innecesarios.
- Introduce nuevos productos y promociones con eficacia y precisión.
- Proporciona productos y servicios de calidad a precios competitivos.
- Aumenta la exactitud de planificación y la localización de productos en tiempo real en todo el mundo, mejorando así el servicio al cliente.
- Accede a información detallada y precisa sobre el estado de los pedidos, logrando así una mayor satisfacción de los clientes.

Estableciendo un modelo de Cadena de Demanda, y entendiendo los actores principales del mismo, cualquier solución que maximice el flujo, otorga ventajas a toda la cadena, haciéndola más rentable.

## **2.4 Simulación**

La simulación de procesos es una de las más grandes herramientas de la Ingeniería Industrial, la cual se utiliza para representar un proceso o fenómeno mediante otro más simple que permite analizar sus características.

La simulación pretende (Dorado, 2):

1. Descubrir el comportamiento de un sistema
2. Postular teorías o hipótesis que expliquen el comportamiento observado
3. Usar esas teorías para predecir el comportamiento futuro del sistema; es decir, mirar los efectos que se producirían en el sistema mediante los cambios dentro de él o en su método de operación.

Un modelo es una representación de un objeto, sistema o idea de forma diferente a la de identidad misma. Sirve para comparar y predecir comportamientos, caracterizándose principalmente por (Promodel, [www.promodel.com.mx](http://www.promodel.com.mx)):

- Variables
- Restricciones
- Relaciones Fundamentales
- Parámetros
- Componentes

Entre las ventajas de utilizar simulación (Dorado, 7), se tiene:

- Una vez construido, el modelo puede ser modificado de manera rápida con el fin de analizar diferentes políticas o escenarios.
- Generalmente es más barato mejorar el sistema vía simulación, que hacerlo directamente en el sistema real.
- Es mucho más sencillo comprender y visualizar los métodos de simulación que los métodos puramente analíticos.

- Los métodos analíticos se desarrollan casi siempre, para sistemas relativamente sencillos o simplificaciones, mientras que con los modelos de simulación es posible analizar sistemas de mayor complejidad o con mayor detalle.
- En algunos de los casos, la simulación es el único medio para lograr una solución.

Por otra parte, como desventajas:

- Se requiere gran cantidad de corridas computacionales para encontrar "soluciones óptimas"; esto repercute en altos costos.
- Es difícil de comprobar qué resultados de modelos de simulación son adecuados.
- Los modelos de simulación no dan soluciones óptimas.
- La solución de un modelo de simulación puede dar al analista un falso sentido de seguridad.
- Costos de programas especializados.
- No todas las condiciones son continuas para un sistema modelado discretamente.
- Es difícil obtener siempre el mismo tamaño de muestra; algunos sistemas toman muestras tan grandes que pueden ser mucho más costosos que la experimentación real.

Se debe usar simulación básicamente cuando (Dorado, 4):

- No se tiene el modelo matemático definido.
- Se tienen las fórmulas analíticas y se necesita un modelo para ponerlas a funcionar.
- El costo o la elaboración de un modelo no es elevado.
- Al ver un proceso físico que se quiere analizar, la simulación es la única forma que se tiene para conocer el comportamiento de un proceso real.
- Se requiere acelerar o retrasar el tiempo de los procesos dentro de un sistema



Existen diferentes programas que facilitan el uso de simulación. Uno de los principales se denomina “Promodel”, el cual ha sido utilizado a lo largo de este proyecto.

## **2.5 Promodel**

Es un software especializado en simulación para evaluar, planificar o rediseñar procesos de manufactura, almacenaje, distribución, logística y transporte. Esta herramienta permite construir una representación computacional del funcionamiento de procesos, para luego evaluar diferentes escenarios de configuración y proveer la mejor solución. La animación y resultados gráficos son herramientas extremadamente poderosas para visualizar y entender el comportamiento de su sistema (Promodel, [www.promodel.com.mx](http://www.promodel.com.mx)).

Algunas aplicaciones típicas de ProModel son:

- Evaluación de un sistema de manufactura.
- Planificación de la producción.
- Decisiones sobre inversión en equipamiento.
- Identificación y reducción cuellos de botella.
- Asignación de recursos.
- Análisis de capacidad de bodegas.
- Configuraciones de redes de distribución.
- Reducción de costos de procesos.
- Reducción de costos de logística.
- Evaluación de medios de transporte.
- Criterios de recepción y despacho.

ProModel es utilizado por las empresas importantes a nivel mundial, por ejemplo, General Electric, DuPont, Ford, Philips, 3M, Boeing, IBM, Dell Computer, Siemens, AlliedSignal,

Nokia, Whirlpool, Motorola, Lockheed Martin, NASA, entre otras (Promodel, [www.promodel.com.mx](http://www.promodel.com.mx)).

Entre las principales características del software, se tiene:

- Rápido aprendizaje con interfaces amigables.
- Explora escenarios alternativos rápida y fácilmente.
- Fácil manejo y análisis de los datos a través de la exportación de los resultados en formato Microsoft Excel.
- Modelos a medida con gráficas detalladas de manufactura, almacenaje y transporte.
- Agrega el detalle necesario incorporando imágenes.
- Captura la variabilidad y aleatoriedad de procesos, utilizando más de numerosos tipos de distribuciones de probabilidad estadística.
- Complementos añadidos como StatFit, que permiten establecer las distribuciones a las cuales se ajustan los datos recolectados para establecer el modelo.

Para definir los modelos de simulación en Promodel, se utilizan los siguientes componentes a lo largo de este proyecto (Promodel, [www.promodel.com.mx](http://www.promodel.com.mx)):

- Locaciones: son lugares fijos en el sistema donde se direcciona a las entidades para su procesamiento, espera o cambio en su trayectoria posterior. Pueden ser representados en el modelo por un gráfico en el layout de la simulación, y se caracterizan por su capacidad, número de unidades, atributos, dimensiones y horario de trabajo.
- Entidades: son elementos que se procesan en el sistema, y se caracterizan por la velocidad, dimensiones y atributos asignados por el usuario.
- Recorridos de red: son los caminos que debe recorrer un recurso o una entidad entre distintas locaciones de acuerdo a lo programado.

- Recursos: cualquier elemento utilizado para transportar entidades, realizar operaciones o realizar mantenimiento en locaciones u otros recursos. Consiste en una o más unidades con características comunes, que tienen un “recorrido de red” asignado y pueden trabajar bajo distintos parámetros de tiempos y horarios.
- Procesamiento: es la parte medular del modelo, donde se definen las operaciones para cada entidad en la respectiva locación, de acuerdo a la programación del usuario.
- Arribos: es la definición de entrada de las entidades en el sistema, específicamente a las locaciones en base al ruteo del modelo.
- Atributos: son variables asociadas con locaciones o entidades específicas.
- Variables: son asignaciones numéricas (reales o enteras), que pueden cambiar durante la simulación. Se utilizan generalmente para tomar decisiones en el proceso o para recopilar información.
- Distribución de Usuario: función que representa los datos que se pretenden modelar, los cuales no han podido ser adecuados a distribuciones preestablecidas en el software.
- Información General: información del modelo que puede incluir el tiempo de la corrida de simulación, las unidades del sistema, entre otros.

## **Capítulo 3. Metodología**

### **3.1 Planteamiento**

Para cumplir con el objetivo de demostrar el impacto e importancia de Operaciones Continuas de 24 Horas de Fractura, la metodología establece:

- Definir el marco teórico que presente los conceptos necesarios para entender la terminología utilizada a lo largo del documento.
- Detallar el proceso tradicional, con sus ventajas y desventajas, para finalizar planteando el problema que lleva a la deducción de la solución de Operaciones Continuas.
- Establecer la Cadena de Demanda, así como el planteamiento de 24 Horas de Operaciones Continuas.
- Definir modelos de simulación para las operaciones tradicionales y las operaciones continuas.
- Presentar bajo diferentes perspectivas los resultados obtenidos con Operaciones Continuas para Febrero del 2006 con un cliente específico (se omite el nombre del cliente por temas de confidencialidad).
- Presentar los resultados de los modelos de simulación.
- Presentar los resultados comparativos de los primeros semestre del 2005 y 2006 mediante estadísticas y gráficos.
- Analizar los modelos de simulación.
- Definir conclusiones, recomendaciones y el futuro de las operaciones con la nueva tecnología en desarrollo.

### **3.2 Simulación**

Los modelos de simulación que se definen para el proyecto son:

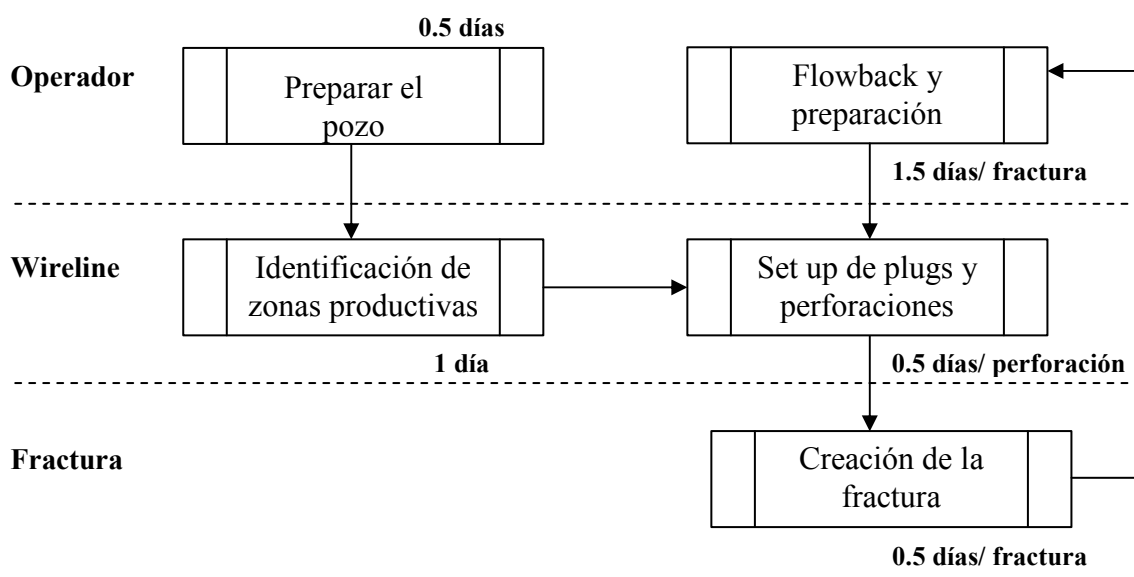
- Funcionamiento del Distrito tradicional.
- Funcionamiento del Distrito con operaciones continuas.
- Proceso Tradicional con un pozo.
- Proceso de Operaciones continuas de 24 Horas de Fractura con un pozo.
- Proceso de Operaciones continuas de 24 Horas de Fractura con dos pozos.
- Proceso de Operaciones continuas de 24 Horas de Fractura con tres pozos.

## Capítulo 4. Situación actual

### Proceso Tradicional

La Figura 2 presenta el diagrama de Flujo de las operaciones de fractura, desde la perspectiva de trabajo en el pozo.

Figura 2. Flujograma de Operaciones de Fractura en Pozos

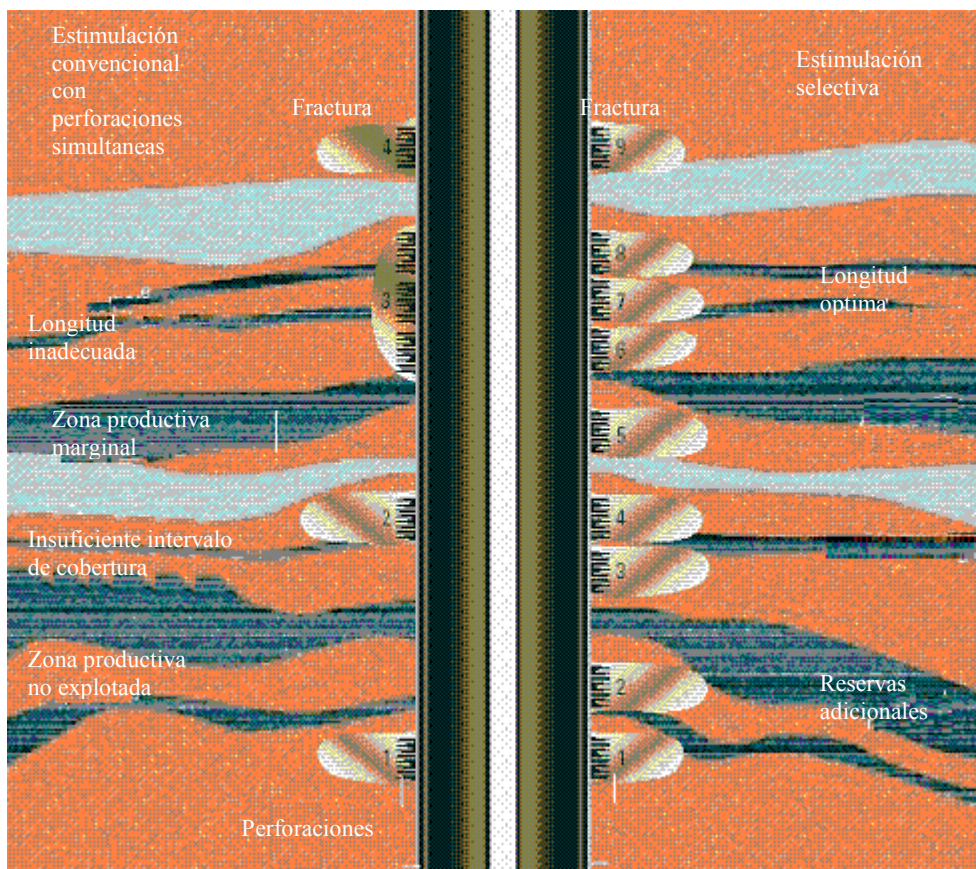


El promedio, con este proceso tradicional se puede llevar a cabo de una a dos fracturas cada tres días. Adicionalmente, cabe mencionar que se trata cada fractura de forma independiente, es decir, cada vez que se realiza la perforación se bombea los fluidos y se ejecuta flowback. Posteriormente se realiza una perforación diferente a menor profundidad, aislando la parte fracturada con plugs (tapones) de caucho que permitan diferenciar las zonas que se quiere separar. La Figura 3 representa gráficamente el proceso de fracturación, denotando el impacto de las perforaciones y fracturas.

El proceso puede continuar por días o semanas hasta completar el número de fracturas deseadas en el pozo. Por ejemplo, un pozo en el estado de Wyoming en Estados Unidos, específicamente en el campo denominado Jonah, en promedio necesitará de diez a doce

fracturas, a diferentes profundidades. Es decir que con el proceso tradicional si se trabajan en promedio dos fracturas cada tres días, se realizarán las doce fracturas en dieciocho días.

*Figura 3. Fracturas en un pozo diferenciando perforaciones.*



*Fuente: www.slb.com. Julio 2005*

### **Planteamiento del problema**

El problema, desde la concepción de una empresa de Servicios Petroleros es el de mantener un gran rendimiento sobre sus activos, o en otras palabras, contar con la demanda de mercado suficiente para justificar sus inversiones. Se debe considerar que el cálculo del Retorno sobre Activos (ROA) para el primer semestre del 2005 fue de 17% en el distrito de Rock Springs, Wyoming. De allí la necesidad de aumentar la productividad de los activos, manteniendo bajos costos y sin aumentar el número de personal. Este reto es el origen de Operaciones Continuas de 24 Horas de Fractura.

## **Capítulo 5. Modelo de Cadena de Demanda – Operaciones Continuas 24 Horas de Fractura.**

Como parte del esfuerzo del Distrito de Rock Springs Wyoming, Estados Unidos, se concibe la idea de Operaciones Continuas de 24 Horas de Fractura. La necesidad parte de la elevada demanda, junto a las limitaciones de equipo y personal, y las perspectivas financieras deseadas tanto para el cliente, así como para a propia empresa.

De manera sencilla, se puede ver Operaciones Continuas como un simple cambio en al proceso tradicional, donde en lugar de trabajar independientemente con la unidad de Wireline que realiza las perforaciones, con los tiempos de traslado, espera y set up correspondientes, se fija una cantidad especifica de fracturas a realizar y tanto el equipo de Wireline como el equipo de Estimulación (Fractura) permanecen por el tiempo que sea necesario, trabajando 24 Horas al día hasta completar la estimulación total del pozo de acuerdo al diseño planificado.

Los principales parámetros dentro de Operaciones Continuas son:

- Trabajo continuo por 24 Horas al día hasta terminar la estimulación completa del pozo.
- Personal trabajando bajo turnos rotativos de 12 horas cada uno.
- Mínimo un supervisor y un Ingeniero de Campo en todo momento que se lleven a cabo las operaciones de fractura.
- Promedio de 11 personas por cada turno de 12 horas (en el proceso tradicional se debe tomar en cuenta que se trabaja con cerca de 20 personas, cuando únicamente se necesitan de 10 a 12).



- Trabajo coordinado con el equipo de Wireline desde la planeación hasta el fin del trabajo de estimulación.
- Accesibilidad a la información de operaciones pendientes del cliente, a fin de pronosticar con mayor exactitud las futuras operaciones.
- Accesibilidad de información de operaciones entre Wireline y Fractura.
- Continuo abastecimiento de combustible.
- Equipos de iluminación para el turno nocturno.
- Altos estándares de:
  - Calidad
  - Seguridad
  - Higiene
  - Protección ambiental
- Generación de fracturas sin necesidad de flowback después de cada una.
- Uno o varios pozos a la vez.
- Uno o varios campos a la vez.
- Requerimientos adicionales comunes en trabajos de fractura (por ejemplo una bomba adicional en caso de contingencia).
- Requerimientos adicionales comunes en trabajos de Wireline.

El modelo de Cadena de Demanda parte de no contemplar barreras entre los segmentos de la propia organización –Estimulación y Wireline– haciendo que la información fluya de acuerdo a las necesidades del negocio. Esto se logra con información digital, que se ingresa manualmente y se comparte vía correo electrónico, la cual sirve para la programación de tareas y planificación administrativa para los dos segmentos del negocio.

A nivel macro, una vez abierto principalmente el canal de información de operaciones, el equipo de Ventas de la Costa Oeste de Estados Unidos, cuya base es Denver, Colorado, diseña y oferta a clientes importantes como BP, ExxonMobile, Encana, entre otros, los trabajos de estimulación múltiples como Operaciones Continuas por 24 Horas de Fractura. El diseño del trabajo también se puede llevar a cabo con los Ingenieros “Service Desk” que trabajan como delegados de la corporación en una oficina o casa matriz del cliente.

El trabajo diseñado pasa al análisis en el distrito, donde se realizan las respectivas pruebas de laboratorio con el diseño del fluido, de tal forma que se asegure la generación adecuada de la fractura. Una vez aprobado, se planifica el personal y la maquinaria a enviar a la locación. Debido a las restricciones de cantidad de personal disponible así como de maquinaria, varias veces se comparten recursos entre locaciones, especialmente personal que cambia de pozo de acuerdo a las necesidades.

La planeación debe asegurar que tanto el personal de Wireline como el de Estimulación estén disponibles por el tiempo pronosticado del trabajo, de acuerdo a la cantidad de fracturas. En el campo, el equipo tiene acceso a Internet mediante el cual se comunica con un servidor de la empresa que reparte la información a los cuarteles generales y a una pagina web que el cliente tiene acceso para control en tiempo real de las operaciones del pozo.

De esta manera queda especificada la relación con los preceptos de Cadena de Demanda: eliminar las barreras en la propia empresa, e ir más allá, teniendo la colaboración del cliente, donde a través de un sistema de información abierto, se puede conocer el estado de las operaciones en todo momento. La necesidad, o “pull”, parte desde el cliente final o

usuario, que busca gasolina o gas para su rutina diaria. El combustible del mundo se ve repartido por empresas de Energía (gas y petróleo), las cuales se sirven de las empresas de Servicios Petroleros y sus subsecuentes proveedores para obtener la mayor cantidad de petróleo y/o gas en cada reservorio.

Sin el “pull” del cliente, no existe una relación o fundamento que dé cabida al negocio tanto de las empresas de Energía como de las empresas de servicios petroleros. Por tanto la base ante todo es el cliente y sus necesidades, siempre y cuando el mercado mantenga una oferta estable frente a la demanda. En caso que la oferta sea inferior a la demanda, los precios tienden al alza y a pesar que el cliente sigue siendo el primer factor en la cadena, los proveedores tienden a aprovechar el momento con precios elevados. De allí la volatilidad de la Industria Petrolera, por los factores radicales cambiantes a nivel mundial (Loof, 56).

Cabe resaltar que la relación que debe establecerse con el cliente para realizar las Operaciones Continuas de manera efectiva. Si el cliente comparte la información de sus operaciones, es posible programar trabajos de fractura simultáneos para uno, dos o tres pozos a la vez, alcanzándose la mayor eficiencia y el menor tiempo con la última opción de tres pozos, como ya se verá posteriormente con los modelos de simulación ya que mientras en un pozo el equipo de Estimulación realiza la fractura, en otro pozo el equipo de Wireline puede llevar a cabo las perforaciones, mientras finalmente en el tercer pozo se puede realizar el flowback. El proceso continúa rotativamente entre pozos. Por tanto al conocer la información del cliente, se puede maximizar la rentabilidad a través de una óptima programación de tiempos.

Si se obtienen resultados favorables a través de propuestas como Operaciones Continuas, queda abierta la puerta para futura “Investigación y Desarrollo” con el cliente, así como oportunidades de descuentos, promociones, rebates, entre otras formas de pricing que se podrían tratar de acuerdo al volumen y rentabilidad de acuerdo a las operaciones.

En las figuras 4, 5 y 6 se presentan ilustraciones de la concepción de las empresas de servicios petroleros, así como el modelo de Cadena de Demanda a la industria del Petróleo y Gas, y finalmente el diseño de Operaciones Continuas.

Figura 4. Concepción de la empresa de Servicios Petroleros

Agregar valor al cliente, presentando soluciones que maximicen el desempeño, al integrar todos los servicios y tecnologías requeridas para el efecto.

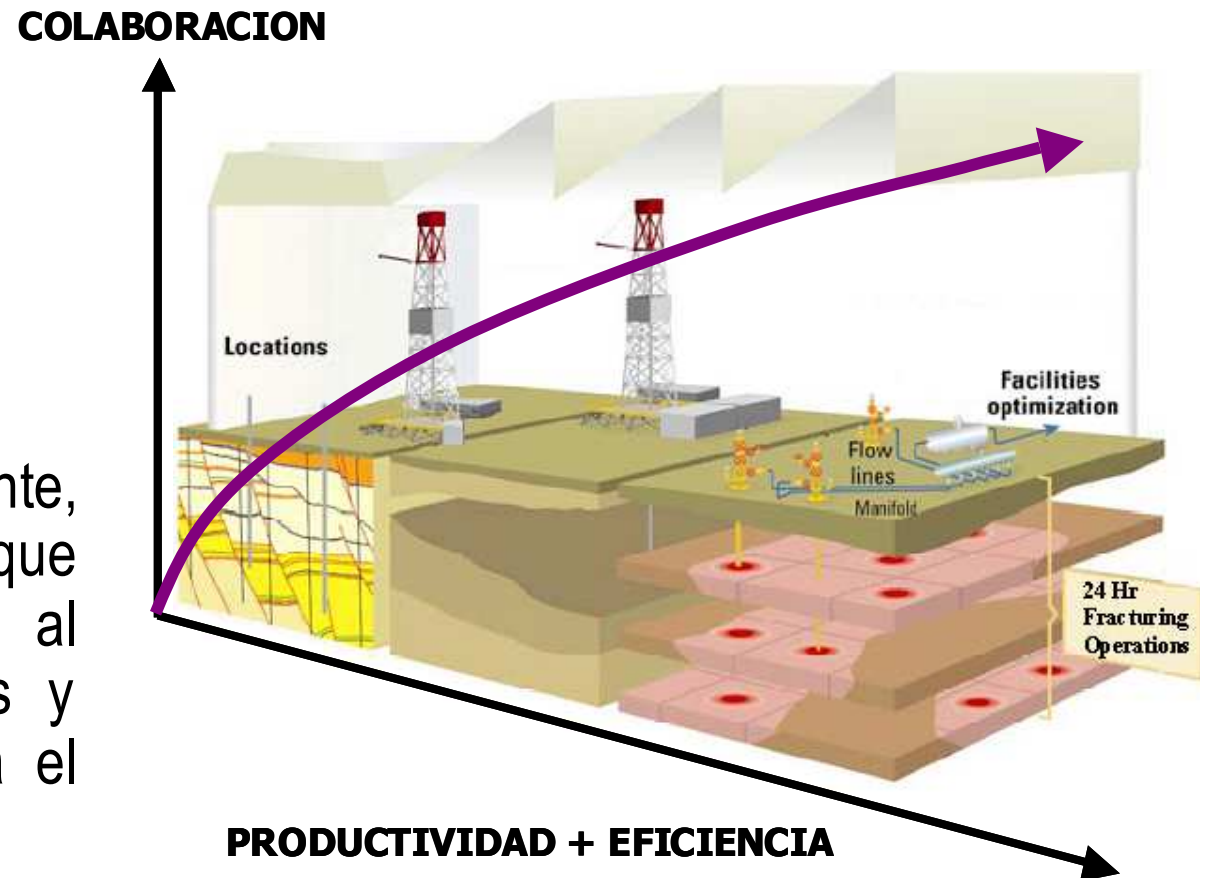


Figura 5. Cadena de Demanda para la Industria del Petróleo y Gas.

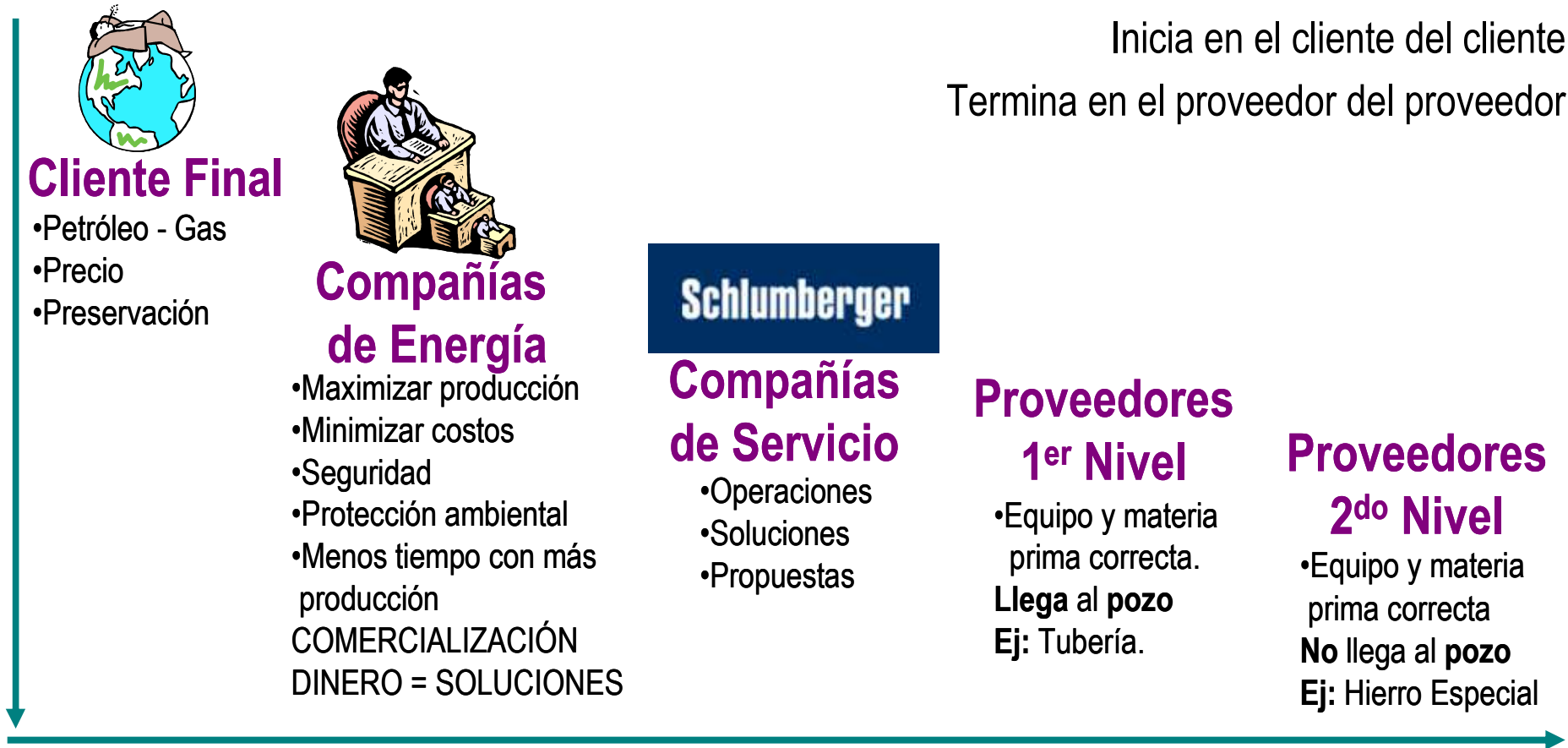
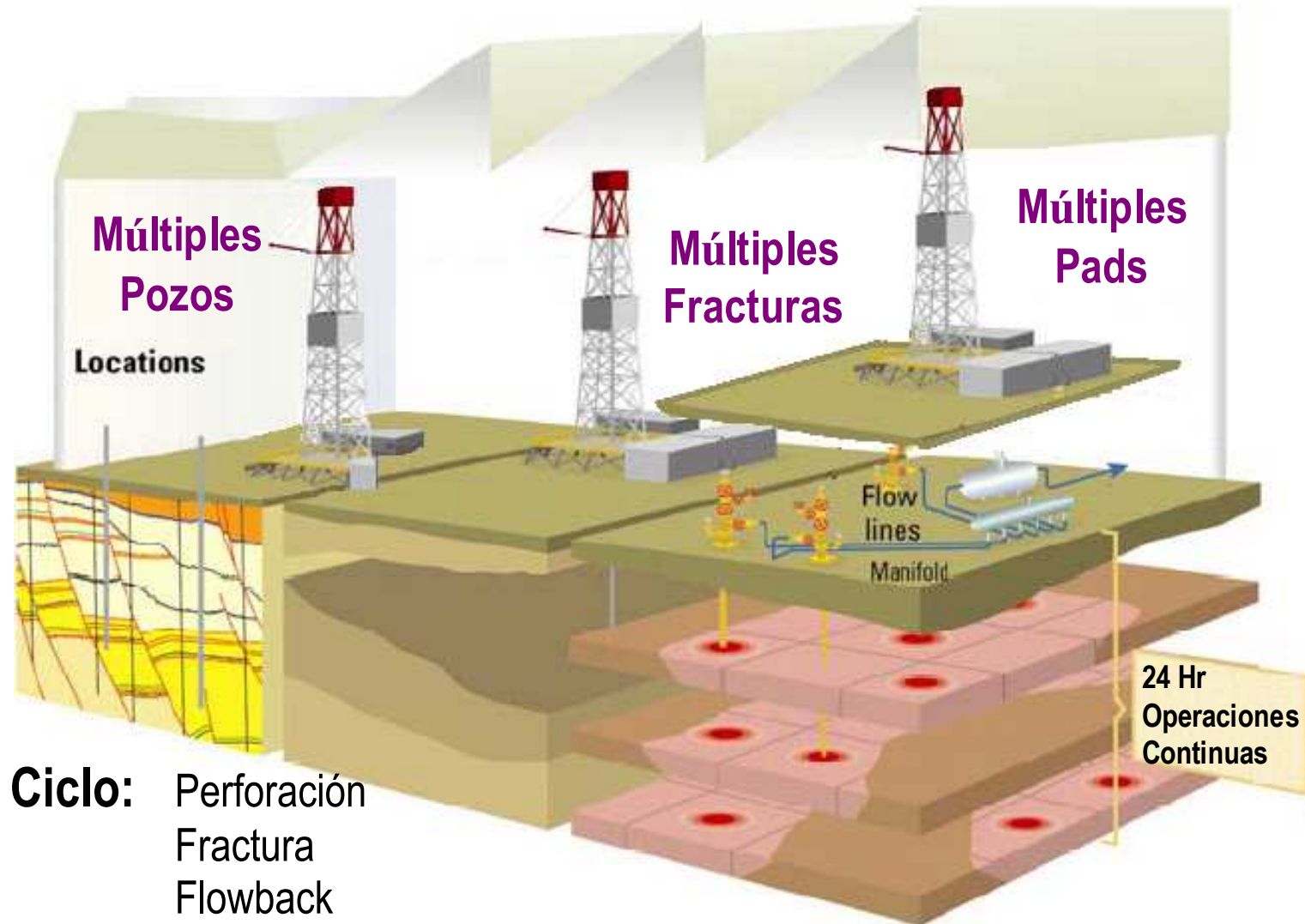


Figura 6. Diseño de Operaciones Continuas de 24 Horas de Fractura



## Capítulo 6. Modelos de Simulación

- A fin de establecer comparaciones, se han construido seis modelos relacionados en cuestiones de locaciones, entidades, recursos y arribos. Se puede diferenciar dos tipos de modelos: el primer tipo analiza el “distrito” como tal en función de operaciones tradicionales y operaciones continuas; mientras que el segundo tipo analiza desde el punto de vista del cliente, es decir las operaciones en el “pozo” con operaciones tradicionales y con operaciones continuas. La variable adicional es el número de pozos, como se describe a continuación para cada uno de los modelos.

### 6.1 Recolección y Procesamiento de Datos

La única interrogante que hizo falta definir en los modelos, fue el tiempo de arribo de las órdenes a los distritos, ya que los datos restantes eran cuantificaciones conocidas manejadas en el distrito. Se debe diferenciar que para la programación de los modelos desde el punto de vista de la locación del cliente, no se ha tomado en cuenta el arribo de órdenes ya que lo buscado principalmente es determinar la cantidad de horas que toma cumplir cada orden de trabajo. Por tanto no se cuenta con una distribución en los cuatro modelos que no emulan los distritos.

Para la recolección de información se procedió con los cuatro pasos sugeridos por Banks en su libro “Discrete Event System Simulation”:

1. Recolectar datos de interés: los tiempos de arribo son de fundamental interés para el modelo.
2. Identificar una probable distribución que sea el reflejo de los datos de entrada.
3. Seleccionar parámetros que caractericen los datos de acuerdo a una distribución.



4. Evaluar el ajuste de la distribución seleccionada con sus parámetros asociados.

La Tabla 4 presenta algunos datos de los tiempos de arribos de órdenes de trabajo.

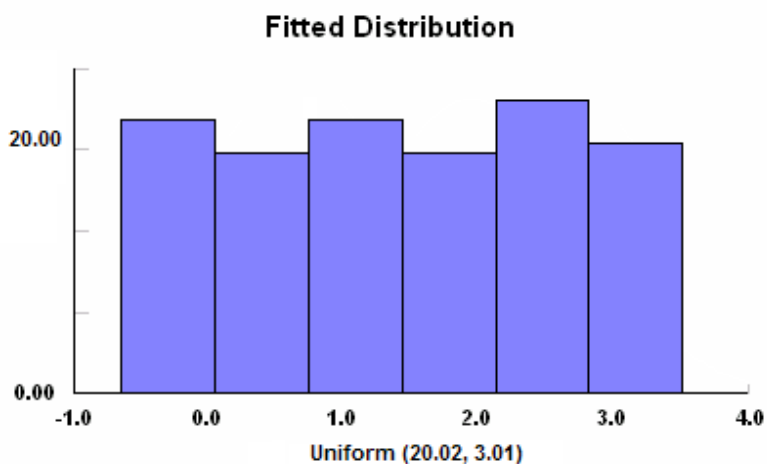
Tabla 4. Cuantificaciones de tiempos de arribo de órdenes de trabajo.

Tiempo de arribo de órdenes de Clientes	20	20	21	20	22	23	18	20	20	20
	20	21	21	20	20	20	19	20	20	20

De allí que para proceder con la caracterización de los datos de acuerdo a una distribución, en lugar de utilizar un procedimiento manual como la construcción de un Histograma, seguido de la gráfica QQ (Cuantil-Cuantil) y la selección de la distribución, se ha utilizado un complemento de Promodel, conocido como Stat::Fit, el cual recoge directamente los tiempos de la Tabla 4 y devuelve la distribución que más se ajusta a los datos automáticamente.

Según Stat::Fit, los datos se ajustan una distribución uniforme con media 20 y desviación de 3, de acuerdo a la Figura 7.

Figura 7. Ajuste de distribución de los arribos a los distritos.



Asimismo, para verificar el ajuste de los estimadores de la distribución se debe llevar a cabo el Test Chi Cuadrado junto al Test Kolmogorov-Smirnov (Banks, 348), que se basan en pruebas de hipótesis para corroborar que el planteamiento que los datos se ajustan a la distribución uniforme. Sin embargo Stat::Fit también realiza estas operaciones

automáticamente con un margen de confianza del 95%. Los datos de estos resultados se presentan en la Tabla 5.

*Tabla 5. Evaluación de Stat::Fit para prueba de ajuste de distribución.*

<b>Chi Squared</b>	
total classes	<b>4</b>
interval type	<b>equal probable</b>
net bins	<b>4</b>
chi**2	<b>4.92</b>
degrees of freedom	<b>3</b>
alpha	<b>0.05</b>
chi**2(3,0.05)	<b>7.81</b>
p-value	<b>0.178</b>
result	<b>DO NOT REJECT</b>
<b>Kolmogorov-Smirnov</b>	
data points	<b>25</b>
ks stat	<b>0.154</b>
alpha	<b>0.05</b>
ks stat(25,0.05)	<b>0.264</b>
p-value	<b>0.546</b>
result	<b>DO NOT REJECT</b>
<b>Anderson-Darling</b>	
data points	<b>25</b>
ad stat	<b>0.896</b>
alpha	<b>0.05</b>
ad stat(0.05)	<b>2.49</b>
p-value	<b>0.417</b>
result	<b>DO NOT REJECT</b>

Por tanto se puede rechazar la hipótesis alternativa que niega los datos se ajusten a una distribución uniforme con media 20.02 horas y desviación estándar de 3.01 horas. Es así que se puede afirmar que la distribución uniforme, se ajusta a los datos con un intervalo de confianza del 95% (valor bajo el que Stat::Fit trabaja automáticamente).

De allí que no se conocen datos de los tiempos de arribo para un distrito tradicional, por tanto se asume que los arribos son comunes, tanto para operaciones tradicionales como continuas, de tal forma que la misma distribución se utiliza indistintamente en los modelos que simulan los distritos.

Es indispensable acotar que para las operaciones tradicionales, se utilizó la información que se maneja como parámetros o estándares de los Distritos de Estimulación y Wireline a nivel mundial. Dichos parámetros son cuantificaciones realizadas en la casa matriz de la empresa de servicios petroleros, y por tanto son el promedio bajo el cual se debería trabajar (Shado).

Por otra parte, para las operaciones continuas se utilizaron datos que se manejan internamente en el Distrito de Rock Springs, Wyoming, los cuales son referenciales y sirven de información para la venta de trabajos al cliente (Shado). Los datos presentados en la Tabla 6, resumen los tiempos utilizados en los modelos de operaciones tradicionales, mientras que la Tabla 7, despliega datos de los modelos de operaciones continuas.

*Tabla 6. Cuantificaciones de tiempos para modelos de operaciones tradicionales.*

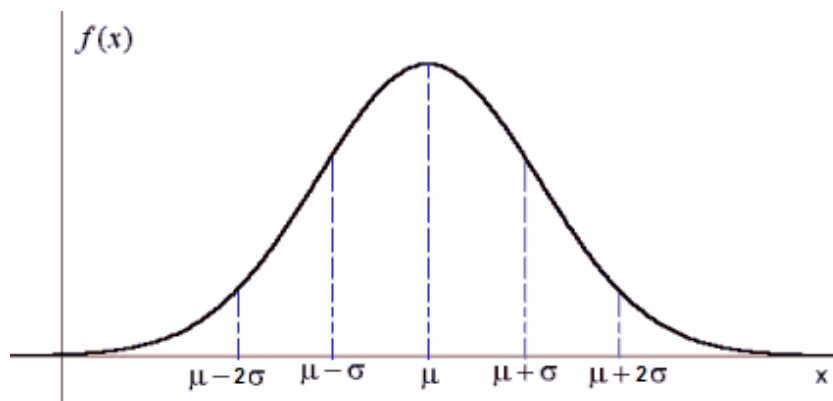
	Wireline	Estimulación	Cliente
Tiempo de Laboratorio	N (1.2, 0.4)	N (1.5, 0.2)	-
Planificación administrativa del trabajo	N (0.7, 0.2)	N (1.0, 0.2)	-
Tiempo de Setup para el trabajo	N (1.5, 0.2)	N (2.2, 0.2)	-
Tiempo de cada trabajo en el pozo	N (3.0, 0.6)	N (3.0, 0.4)	-
Tiempo de Rig Up WS (para fracturar)	-	N (3.2, 0.2)	-
Tiempo de traslado desde o hacia el pozo	N (2.3, 0.2)	N (2.8, 0.2)	-
Tiempo de flowback	-	-	N (2.5, 0.2)
Revisión administrativa pos-trabajo	N(0.2, 0.01)	N (2.0, 0.2)	-

*Tabla 7. Cuantificaciones de tiempos para modelos de operaciones continuas.*

	DISTRITO		
	Wireline	Estimulación	Cliente
Tiempo de Laboratorio	N (2.2, 0.4)	N (1.5, 0.1)	-
Planificación administrativa del trabajo	N (0.7, 0.2)	N (1.0, 0.2)	-
Tiempo de Setup para el trabajo	N (1.5, 0.2)	N (2.2, 0.2)	-
Tiempo de cada trabajo en el pozo	N (1.9, 0.3)	N (3.0, 0.45)	-
Tiempo de Rig Up WS (para fracturar)	-	N (3.2, 0.2)	-
Tiempo de traslado desde o hacia el pozo	N (2.3, 0.2)	N (2.8, 0.2)	-
Tiempo de flowback	-	-	N (2.5, 0.2)
Revisión administrativa pos-trabajo	N (0.5, 0.01)	N (2.0, 0.2)	-

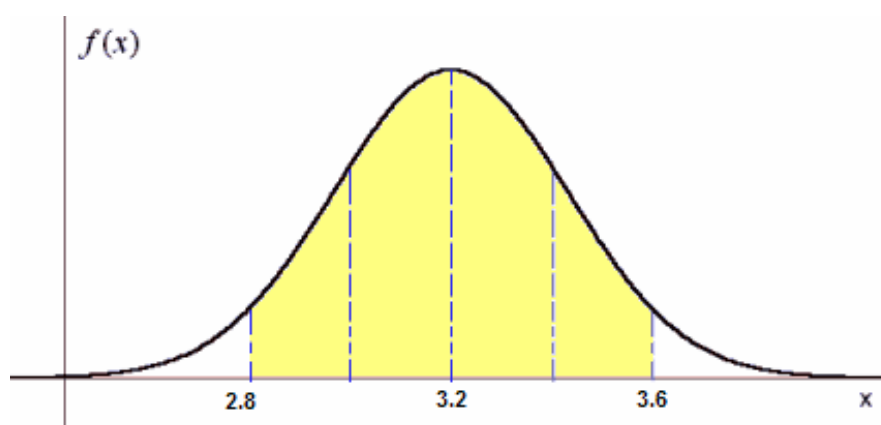
Los tiempos presentados en las Tablas de cuantificaciones corresponden a distribuciones normales, con un intervalo de confianza del 95.46%, los cuales se enmarcan en la dispersión de dos desviaciones estándares de acuerdo a la Figura 8.

Figura 8. Distribución normal al 95%.



Por ejemplo, para el Tiempo de Rig Up WS, que es el tiempo que se toma en construir la infraestructura temporal para el bombeo de fluidos para crear la fractura, la cuantificación de tiempo responde a una distribución normal con media de 3.2 horas, y desviación estándar de 0.2 horas, lo cual genera una gráfica semejante a la Figura 9, con un intervalo de confianza de 95%, de dos desviaciones estándar alrededor de la media.

Figura 9. Distribución Normal de Tiempo de Rig Up.



## **6.2 Funcionamiento del Distrito tradicional.**

Pretende representar con el mayor detalle las operaciones que un distrito tradicional con tres equipos de Fractura puede realizar. En este caso se trata de manera independiente a los segmentos de Estimulación (Well Services) y Wireline, funcionando de forma paralela y sin coordinación. Se trata con un máximo de tres pozos a la vez, debido a la limitación del software y principalmente a la cantidad de equipos de Fractura disponibles, por tanto al día el máximo de pozos que pueden ser atendidos son tres.

### **6.2.1 Localidades**

Las siguientes localidades constituyen el modelo:

- **WS\_district:** Distrito de Well Services o Estimulación (Fractura) que es la base de donde parten los equipos de Fracturación a las diferentes locaciones petroleras. Es una unidad con capacidad de tres equipos, tal cual se definió anteriormente. Recibe trabajos de la WS\_line, que es una “Queue” o línea de espera definida en Promodel.

Se desarrollan análisis de laboratorio y preparaciones administrativas dependiendo del trabajo a realizar. Adicionalmente antes del trabajo se debe realizar un setup denominado JSA, que es la preparación y revisión de toda la maquinaria para asegurar la seguridad de transporte y funcionamiento en la locación.

- **WL\_district:** Distrito de Wireline que es la base de donde parten los equipos de perforación a las diferentes locaciones petroleras. Es una unidad con capacidad de veinte equipos, ya que se considera que esta base no tiene restricciones de recursos ya que siempre se mantienen equipos rotativos y se dispone de personal suficiente para atender cualquier trabajo de perforaciones que corresponda a estimulación.

Se desarrollan análisis de laboratorio y preparaciones administrativas dependiendo del trabajo a realizar. Adicionalmente antes del trabajo se debe realizar un setup

denominado JSA, que es la preparación y revisión de toda la maquinaria para asegurar la seguridad de transporte y funcionamiento en la locación.

- Well\_1: Es un pozo petrolero que puede recibir un trabajo a la vez. Ya que el modelo pretende simular el distrito, no se toma en cuenta para los resultados ya que es una variable que se relaciona con la demanda que recibe el distrito cada determinado periodo de acuerdo a los arribos. Recibe los trabajos desde el cualquier distrito, donde los tiempos para que lleguen dichos trabajos corresponden al tiempo de manejo que depende tanto de la unidad de Wireline como de Estimulación.
- Well\_2: Es un pozo petrolero que puede recibir un trabajo a la vez. Ya que el modelo pretende simular el distrito, no se toma en cuenta para los resultados ya que es una variable que se relaciona con la demanda que recibe el distrito cada determinado periodo de acuerdo a los arribos. Recibe los trabajos desde el WL\_district o WS\_district, donde los tiempos para que lleguen dichos trabajos corresponden al tiempo de manejo que depende tanto de la unidad de Wireline como de Estimulación.
- Well\_3: Es un pozo petrolero que puede recibir un trabajo a la vez. Ya que el modelo pretende simular el distrito, no se toma en cuenta para los resultados ya que es una variable que se relaciona con la demanda que recibe el distrito cada determinado periodo de acuerdo a los arribos. Recibe los trabajos desde el WL\_district o WS\_district, donde los tiempos para que lleguen dichos trabajos corresponden al tiempo de manejo que depende tanto de la unidad de Wireline como de Estimulación.
- WS\_line: Es la línea de arribo de trabajos de Estimulación, con capacidad infinita puede recibir cualquier tipo de trabajo. Para facilidad del modelo, los trabajos los recibe una vez que se realizan las perforaciones en el pozo petrolero, es decir desde el distrito de Wireline: WL\_district.

- WL\_line: Es la línea de arribo de trabajos de Wireline, es decir, es donde se reciben las órdenes desde los clientes que en la realidad llegan desde los pozos o locaciones petroleras o de gas. Tiene capacidad infinita.

### 6.2.2 Entidades

Las siguientes entidades forman parte del modelo:

- Prejob: es la orden inicial del cliente que pasa directo a la línea de espera de Wireline.
- WL\_Job: es el trabajo de Wireline una vez que sale del distrito para la locación o pozo del cliente.
- WL\_job\_done: es el trabajo terminado de Wireline, es decir, son las perforaciones realizadas en el pozo, y que una vez finalizado, se transforma en trabajo de estimulación: WS\_job.
- WS\_Job: es el trabajo de Estimulación una vez que arriba al distrito de Estimulación.
- WS\_job\_done: es el trabajo final de Estimulación donde se han realizado las fracturas correspondientes.

### 6.2.3 Arribos

Los arribos se reciben como órdenes del cliente, con la entidad “Prejob”, que llega a la locación “WL\_line” que es la línea de espera de Wireline y que dispara el trabajo de Estimulación final. Se entiende que cada vez se recibe una sola orden a la vez, y que al iniciar la simulación se recibe un trabajo. Esta es una simple convención del modelo establecido, de la misma forma que las ocurrencias infinitas definidas.

## 6.2.4 Variables

Las variables principales que se pretenden descubrir con el modelo son:

- **Stages:** variable que mide el número de fracturas que se realizan en el periodo de simulación. Se entiende que por cada trabajo que el equipo de estimulación realiza, se realizan dos fracturas, lo cual se cumple en el 80% de veces para un trabajo de fractura tradicional.
- **Setup\_time:** variable que mide el tiempo de Setup antes de partir desde cualquier distrito, ya sea Estimulación o Wireline, hacia la locación del cliente. Básicamente es el tiempo que se toma para asegurar que todo el equipo a utilizar pueda servir de manera segura, eficiente y eficaz.
- **Lab\_time:** es el tiempo de laboratorio necesario tanto en Wireline como en Estimulación para llevar a cabo las debidas pruebas de arena, agua, entre otros, que aseguren que el trabajo diseñado sea adecuado de acuerdo a la formación específica de la locación y los materiales a utilizar.
- **Driving\_time:** es el tiempo de manejo desde los distritos hacia la locación del cliente. Es una variable importante ya que al disminuir las horas de manejo, se disminuye el riesgo de accidentes. Cabe resaltar que las principales causas identificadas de accidentes para la empresa de servicios petroleros, son precisamente los que ocurren en las carreteras.
- **Managing\_time:** es el tiempo administrativo antes y después de realizar un trabajo en ambos distritos: Wireline y Well Services (Estimulación). Comprende todo el papeleo y reportes que se deben realizar para el cliente y a fin de garantizar la calidad del servicio prestado.



- `Rig_up_time_` es el tiempo que se toma en cada trabajo de fractura para construir la infraestructura necesaria para bombear los líquidos en el pozo.
- `Flow_back_time`; es el tiempo de flowback o circulación de fluidos en el pozo a fin de disminuir la presión hidrostática para que puedan entrar las herramientas de Wireline. Se reconoce cada vez que se lleva a cabo la fracturación.
- Tiempo: variable temporal que sirve para facilitar el procesamiento y mediciones del modelo.

### **6.2.5 Atributos**

Se identifica un atributo denominado “`Well_number`”, el cual sirve para repartir la demanda de los tres pozos establecidos en el día, para los tres equipos de fractura. Este atributo se caracteriza por la Distribución “RR”, que ha sido creada por el modelador para facilidad de programación. Dicha caracterización se otorga cuando se define el arribo de las órdenes del cliente denominadas en las entidades como Prejob.

La distribución RR intenta repartir los trabajos equitativamente en los tres pozos con probabilidades de 33%, 33% y 34%; en total el 100% de los arribos.

### **6.2.6 Información General**

Por el diseño del modelo, las unidades de programación en tiempo son las “horas”. Adicionalmente se ha definido correr el modelo por 500 horas, ya que en mes se trabajan cerca de veintiún días, contando que se trabajen las 24 horas del día, por convención de la industria del Petróleo y Gas.

### **6.2.7 Procesamiento**

La idea básica del procesamiento es que una vez que llega la orden del cliente a la línea de espera de Wireline, se analiza en el laboratorio y se realizan las pruebas del caso para corroborar el diseño del trabajo. Una vez que pasa la prueba, se pasa al distrito con el debido tiempo administrativo de planeación y revisión de recursos, para luego iniciar la revisión y setup de la maquinaria disponible, asegurando que responderán de manera eficaz y segura en la locación del cliente.

Se traslada la maquinaria vía terrestre, y una vez en la locación del cliente se realizan las perforaciones de acuerdo al tiempo con la distribución establecida. La maquinaria regresa a la base para su limpieza y preparación posterior, mientras que administrativamente se pasa la orden de Wireline a Estimulación, es decir, desde el distrito de Wireline hasta la línea de espera de Well Services (Estimulación), en la cual se realizan los análisis de laboratorio para crear las fracturas.

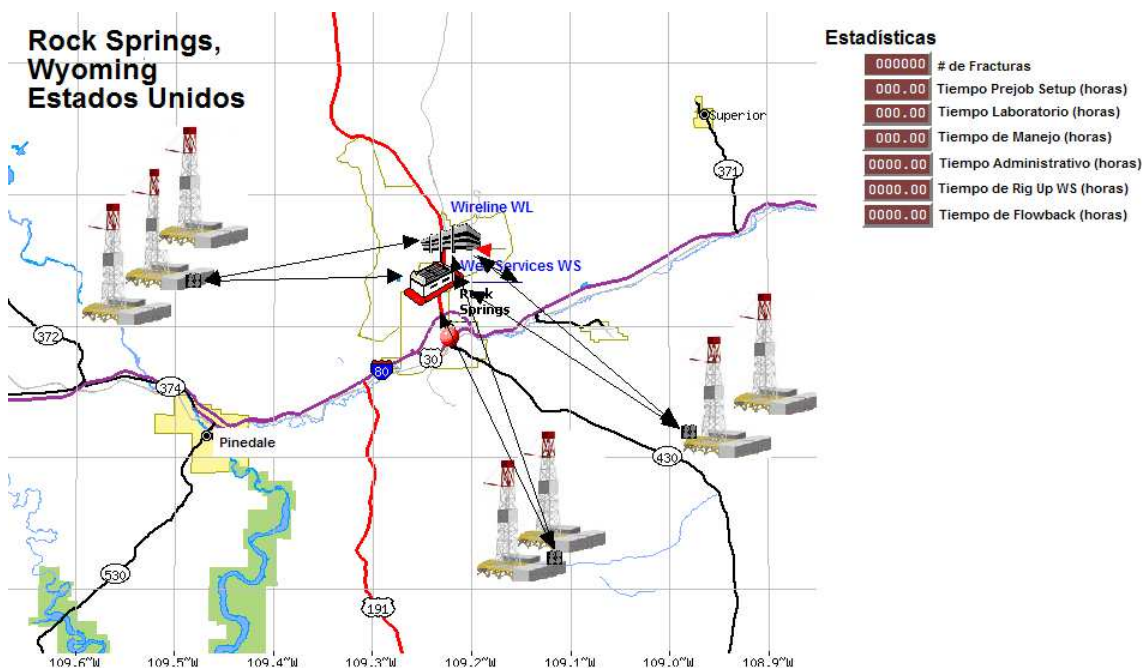
De la línea de espera pasa al distrito de Well Services o Estimulación, donde se prepara el trabajo de forma administrativa, con el correspondiente papeleo e información en sistema. Asimismo el setup con el análisis de maquinaria se lleva a cabo, previo envío vía terrestre del equipo a la locación del cliente.

Una vez en la locación, se realizan las fracturas (dos en promedio), con la contabilización de flowback que el cliente realiza para disminuir la presión del pozo. El equipo vuelve a la base para llevar a cabo la limpieza y puesta a punto de las máquinas y así también, el papeleo y tiempo administrativo para preparar el informe final al cliente.

### **6.2.8 Layout del modelo**

En la Figura 10 se presenta el layout del modelo de Simulación del distrito tradicional.

Figura 10. Layout del Modelo de Simulación del Distrito Tradicional.



### 6.3 Funcionamiento del Distrito con operaciones continuas.

Pretende representar con mayor detalle las operaciones que un distrito con Operaciones Continuas con tres equipos de Fractura puede realizar. En este caso se trata de manera conjunta a los segmentos de Estimulación (Well Services) y Wireline, funcionando de forma coordinada. Se trata con un máximo de tres pozos a la vez, debido a la limitación del software y principalmente a la cantidad de equipos de Fractura disponibles, por tanto al día el máximo de pozos que pueden ser atendidos son tres.

#### 6.3.1 Localidades

Las siguientes localidades constituyen el modelo:

- District: Distrito de Well Services y Wireline, que es la base de donde parten los equipos a las diferentes locaciones petroleras. Es una unidad con capacidad de tres

equipos, tal cual se definió anteriormente. Recibe trabajos de la District\_line, que es una “Queue” o línea de espera definida en Promodel.

Se desarrollan análisis de laboratorio y preparaciones administrativas dependiendo del trabajo a realizar. Adicionalmente antes del trabajo se debe realizar un setup denominado JSA, que es la preparación y revisión de toda la maquinaria para asegurar la seguridad de transporte y funcionamiento en la locación. Cabe resaltar que los análisis de laboratorio, setup y planificación administrativa se realizan simultáneamente para Wireline y Estimulación.

- Well\_1: Es un pozo petrolero que puede recibir un trabajo a la vez. Ya que el modelo pretende simular el distrito, no se toma en cuenta para los resultados ya que es una variable que se relaciona con la demanda que recibe el distrito cada determinado periodo de acuerdo a los arribos. Recibe los trabajos desde el distrito, donde los tiempos para que lleguen dichos trabajos corresponden al tiempo de manejo que depende tanto de la unidad de Wireline como de Estimulación.
- Well\_2: Es un pozo petrolero que puede recibir un trabajo a la vez. Ya que el modelo pretende simular el distrito, no se toma en cuenta para los resultados ya que es una variable que se relaciona con la demanda que recibe el distrito cada determinado periodo de acuerdo a los arribos. Recibe los trabajos desde el distrito, donde los tiempos para que lleguen dichos trabajos corresponden al tiempo de manejo que depende tanto de la unidad de Wireline como de Estimulación.
- Well\_3: Es un pozo petrolero que puede recibir un trabajo a la vez. Ya que el modelo pretende simular el distrito, no se toma en cuenta para los resultados ya que es una variable que se relaciona con la demanda que recibe el distrito cada determinado periodo de acuerdo a los arribos. Recibe los trabajos desde el distrito, donde los

tiempos para que lleguen dichos trabajos corresponden al tiempo de manejo que depende tanto de la unidad de Wireline como de Estimulación.

- **District\_line**: Es la línea de arribo de trabajos tanto para Estimulación como Wireline, ya que se concibe un solo trabajo en conjunto. Tiene capacidad infinita.

### **6.3.2 Entidades**

Las siguientes entidades forman parte del modelo:

- **Prejob**: orden inicial del cliente que pasa directo a la línea de espera del Distrito.
- **Service\_Job**: es el trabajo conjunto de Wireline y Fracturación, una vez que sale del distrito para la locación o pozo del cliente.
- **Service\_job\_done**: es el trabajo terminado de Estimulación, con las perforaciones y fracturas creadas, y que una vez finalizado vuelve al Distrito para su análisis posterior y aseguramiento de calidad.

### **6.3.3 Arribos**

Los arribos se reciben como órdenes del cliente, con la entidad “Prejob”, que llega a la locación “District\_line” que es la línea de espera del Distrito y que dispara el trabajo de Estimulación final. Se entiende que cada vez se recibe una sola orden a la vez, y que al iniciar la simulación se recibe un trabajo. Esta es una simple convención del modelo establecido, de la misma forma que las ocurrencias infinitas definidas.

### **6.3.4 Variables**

Las variables principales que se pretenden descubrir con el modelo son:

- Stages: variable que mide el número de fracturas que se realizan en el periodo de simulación. Se entiende que por cada trabajo que el equipo de estimulación realiza, se realizan doce fracturas, ya que es el promedio de etapas que un pozo recibe cerca del Rock Springs, Wyoming, Estados Unidos.
- Setup\_time: variable que mide el tiempo de Setup antes de partir desde cualquier distrito, hacia la locación del cliente. Básicamente es el tiempo que se toma para asegurar que todo el equipo a utilizar pueda servir de manera segura, eficiente y eficaz.
- Lab\_time: tiempo de laboratorio necesario tanto en Wireline como Estimulación para llevar a cabo las debidas pruebas de arena, agua, entre otros, que aseguren la calidad del trabajo diseñado.
- Driving\_time: tiempo de manejo desde el distrito hacia la locación del cliente. Es una variable importante ya que al disminuir las horas de manejo, se disminuye el riesgo de accidentes. Cabe resaltar que las principales causas identificadas de accidentes para la empresa de servicios petroleros, son precisamente los que ocurren en las carreteras.
- Managing\_time: tiempo administrativo antes y después de realizar un trabajo en el distrito, tanto para Wireline como para Well Services (Estimulación). Comprende todo el papeleo y reportes que se deben realizar para el cliente y a fin de garantizar la calidad del servicio prestado.
- Rig\_up\_time\_ tiempo en cada trabajo de fractura para construir la infraestructura necesaria para bombear los líquidos en el pozo.
- Flow\_back\_time; es el tiempo de flowback o circulación de fluidos en el pozo a fin de disminuir la presión hidrostática para que puedan entrar las herramientas de Wireline. Se reconoce cada vez que se lleva a cabo la fracturación.

- Tiempo: variable temporal que sirve para facilitar el procesamiento y mediciones del modelo.

### **6.3.5 Atributos**

Se identifica un atributo denominado “Well\_number”, el cual sirve para repartir la demanda de los tres pozos establecidos en el día, para los tres equipos de fractura. Este atributo se caracteriza por la Distribución “RR”, que ha sido creada por el modelador para facilidad de programación. Dicha caracterización se otorga cuando se define el arribo de las órdenes del cliente denominadas en las entidades como Prejob. La distribución RR intenta repartir los trabajos equitativamente en los tres pozos con probabilidades de 33%, 33% y 34%; en total el 100% de los arribos.

### **6.3.6 Información General**

Por el diseño del modelo, las unidades de programación en tiempo son las “horas”. Adicionalmente se ha definido correr el modelo por 500 horas, ya que en mes se trabajan cerca de veintiún días, contando que se trabajen las 24 horas del día.

### **6.3.7 Procesamiento**

La idea básica del procesamiento es que una vez que llega la orden del cliente a la línea de espera del Distrito, se analiza en el laboratorio tanto de Wireline como de Estimulación, y se realizan las pruebas del caso para corroborar el diseño del trabajo. Una vez que pasa la prueba, se pasa al distrito con el debido tiempo administrativo de planeación y revisión de recursos, para luego iniciar la revisión y setup de la maquinaria disponible, asegurando que responderán de manera eficaz y segura en el pozo.

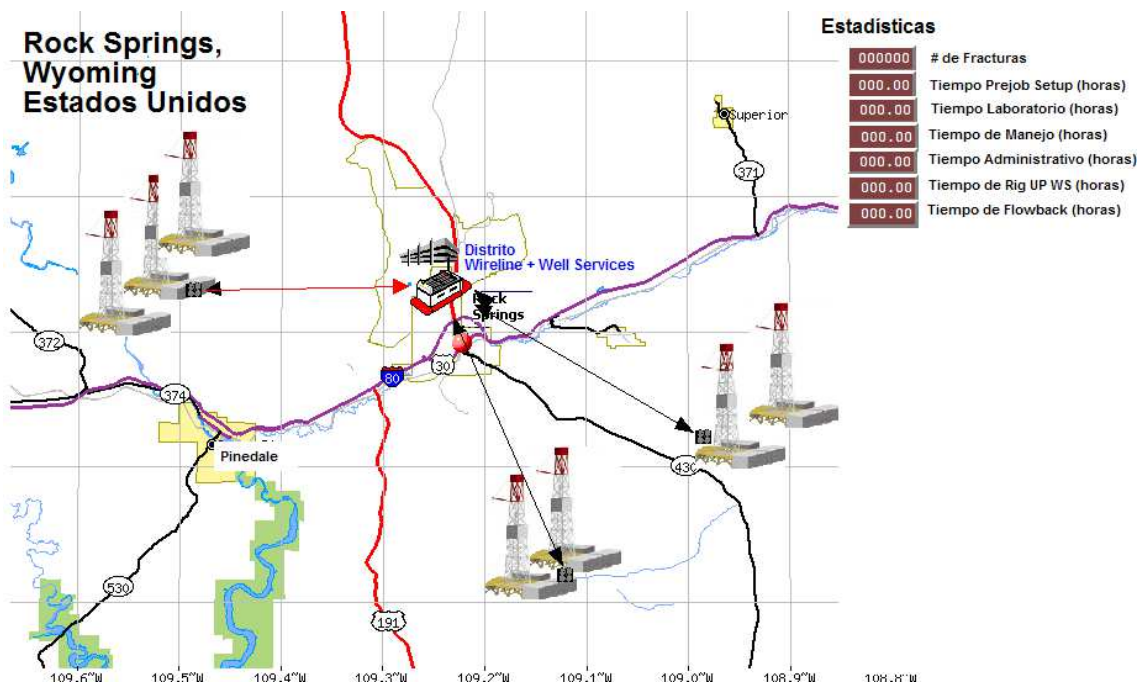
Se traslada la maquinaria vía terrestre, y una vez en la locación del cliente se construye la infraestructura temporal para llevar a cabo las perforaciones y fracturas. Se inicia con la perforación, mientras todo el equipo de Estimulación se sigue armando, para luego alternar entre fractura, flowback y perforación, con sus respectivos tiempos de espera. Dado que en promedio se realizan doce fracturas, y considerando que en cada perforación se generan dos fracturas, básicamente se cuentan con seis turnos que se alternan como se mencionó anteriormente.

Finalmente el equipo vuelve a la base para llevar a cabo la limpieza y puesta a punto de máquinas y manejo administrativo para preparar el informe final al cliente.

### 6.3.8 Layout del modelo

En la Figura 11 se presenta el layout del modelo de Simulación del distrito con operaciones continuas.

Figura 11. Layout del Modelo de Simulación del Distrito con Operaciones Continuas.





## **6.4 Proceso Tradicional con un pozo.**

Pretende representar con mayor detalle las operaciones desde el punto de vista de un pozo petrolero, una vez que se emite una orden para un trabajo de estimulación. En este caso se trata de manera independiente a los segmentos de Well Services y Wireline, y solamente si modela un trabajo. De allí que el parámetro más importante que se busca analizar es la cantidad de horas que toma finalizar un trabajo de estimulación, comparando con operaciones continuas.

### **6.4.1 Localidades**

Las siguientes localidades constituyen el modelo:

- **WS\_district:** Distrito de Well Services o Estimulación (Fractura) que es la base de donde parten los equipos de Fracturación a las diferentes locaciones petroleras. Es una unidad con capacidad de un equipo, tal cual se definió anteriormente. Recibe trabajos de la WS\_line, que es una “Queue” o línea de espera definida en Promodel.

Se desarrollan análisis de laboratorio y preparaciones administrativas dependiendo del trabajo a realizar. Adicionalmente antes del trabajo se debe realizar un setup denominado JSA, que es la preparación y revisión de toda la maquinaria para asegurar la seguridad de transporte y funcionamiento en la locación.

- **WL\_district:** Distrito de Wireline que es la base de donde parten los equipos de perforación a las diferentes locaciones petroleras. Es una unidad con capacidad de un equipo pues se busca simular un trabajo únicamente.

Se desarrollan análisis de laboratorio y preparaciones administrativas dependiendo del trabajo a realizar. Adicionalmente antes del trabajo se debe realizar un setup denominado JSA, que es la preparación y revisión de toda la maquinaria para asegurar la seguridad de transporte y funcionamiento en la locación.

- Well: Es un pozo petrolero que puede recibir un trabajo a la vez.. Recibe los trabajos desde el cualquier distrito, donde los tiempos para que lleguen dichos trabajos corresponden al tiempo de manejo que depende tanto de la unidad de Wireline como de Estimulación.
- WS\_line: Es la línea de arribo de trabajos de Estimulación, con capacidad infinita puede recibir cualquier tipo de trabajo. Para facilidad del modelo, los trabajos los recibe una vez que se realizan las perforaciones en el pozo petrolero, es decir desde el distrito de Wireline: WL\_district.
- WL\_line: Es la línea de arribo de trabajos de Wireline, es decir, es donde se recibe la orden del cliente que en la realidad llegan desde el pozo. Tiene capacidad infinita.

### 6.4.2 Entidades

Las siguientes entidades forman parte del modelo:

- WL\_prejob: es la orden proveniente desde el cliente para iniciar con el trabajo de estimulación.
- WL\_job: es el trabajo terminado de Wireline, es decir, son las perforaciones realizadas en el pozo, y que una vez finalizado, se transforma en trabajo de estimulación: WS\_prejob.
- WS\_prejob: es el trabajo de fractura una vez que arriba al distrito de Estimulación.
- WS\_job: es el trabajo final de Estimulación, con las fracturas generadas.

### 6.4.3 Arribos

Los arribos se reciben como órdenes del cliente, con la entidad “WL\_prejob”, que llega a la locación “WL\_line” que es la línea de espera de Wireline y que dispara el trabajo de

Estimulación final. Se entiende que cada vez se recibe una sola orden a la vez, y que al iniciar la simulación se recibe un trabajo. Por otra parte, dado que un pozo recibe en promedio doce fracturas, y que cada trabajo se generan dos fracturas, la cantidad de ocurrencias o de solicitudes del cliente son seis repartidas de acuerdo a la distribución correspondiente.

#### **6.4.4 Variables**

Las variables principales que se pretenden descubrir con el modelo son:

- Stages: variable que mide el número de fracturas que se realizan en el periodo de simulación. Se entiende que por cada trabajo que el equipo de estimulación realiza, se realizan dos fracturas, lo cual se cumple en el 80% de veces para un trabajo de fractura tradicional.
- Setup\_time: variable que mide el tiempo de Setup antes de partir desde cualquier distrito, ya sea Estimulación o Wireline, hacia la locación del cliente. Básicamente es el tiempo que se toma para asegurar que todo el equipo a utilizar pueda servir de manera segura, eficiente y eficaz.
- Lab\_time: es el tiempo de laboratorio necesario tanto en Wireline como en Estimulación para llevar a cabo las debidas pruebas de arena, agua, entre otros, que aseguren que el trabajo diseñado sea adecuado de acuerdo a la formación específica de la locación y los materiales a utilizar.
- Driving\_time: es el tiempo de manejo desde los distritos hacia la locación del cliente. Es una variable importante ya que al disminuir las horas de manejo, se disminuye el riesgo de accidentes. Cabe resaltar que las principales causas identificadas de accidentes para la empresa de servicios petroleros, son precisamente los que ocurren en las carreteras.

- **Managing\_time**: es el tiempo administrativo antes y después de realizar un trabajo en ambos distritos: Wireline y Well Services (Estimulación). Comprende todo el papeleo y reportes que se deben realizar para el cliente y a fin de garantizar la calidad del servicio prestado.
- **Rig\_up\_time**: es el tiempo que se toma en cada trabajo de fractura para construir la infraestructura necesaria para bombear los líquidos en el pozo.
- **Flow\_back\_time**; es el tiempo de flowback o circulación de fluidos en el pozo a fin de disminuir la presión hidrostática para que puedan entrar las herramientas de Wireline. Se reconoce cada vez que se lleva a cabo la fracturación.
- **Tiempo**: variable temporal para facilitar el procesamiento y mediciones del modelo.

#### **6.4.5 Recursos**

Se cuenta con dos recursos: **WL\_crew** y **WS\_crew**, que son los equipos de Wireline y Estimulación respectivamente. Se ha modelado con recursos facilita el entendimiento y procesamiento de resultados del modelo generado.

El equipo de Wireline, **WL\_crew**, tiene su base en el Distrito de Wireline, y parte hacia la locación del cliente a través de un camino específico que demora en tiempo lo que se cuantifica como tiempo de manejo.

El equipo de Estimulación, **WS\_crew**, tiene su base en el Distrito de Well Services y parte hacia la locación del cliente con un tiempo específico de traslado, equivalente al tiempo de manejo.

#### **6.4.6 Información General**

Por el diseño del modelo, las unidades de programación en tiempo son las “horas”.

### **6.4.7 Procesamiento**

La idea básica del procesamiento es que una vez que llega la orden del cliente a la línea de espera de Wireline, se analiza en el laboratorio y se realizan las pruebas del caso para corroborar el diseño del trabajo. Una vez que pasa la prueba, se pasa al distrito con el debido tiempo administrativo de planeación y revisión de recursos, para luego iniciar la revisión y setup de la maquinaria disponible, asegurando que responderán de manera eficaz y segura en la locación del cliente.

Se traslada la maquinaria vía terrestre con el recurso correspondiente, y una vez en la locación del cliente se realizan las perforaciones de acuerdo al tiempo con la distribución establecida. La maquinaria regresa a la base con el recurso, para su limpieza y preparación posterior, mientras que administrativamente se pasa la orden de Wireline a Estimulación, es decir, desde el distrito de Wireline hasta la línea de espera de Well Services, donde se realizan los análisis de laboratorio para crear las fracturas.

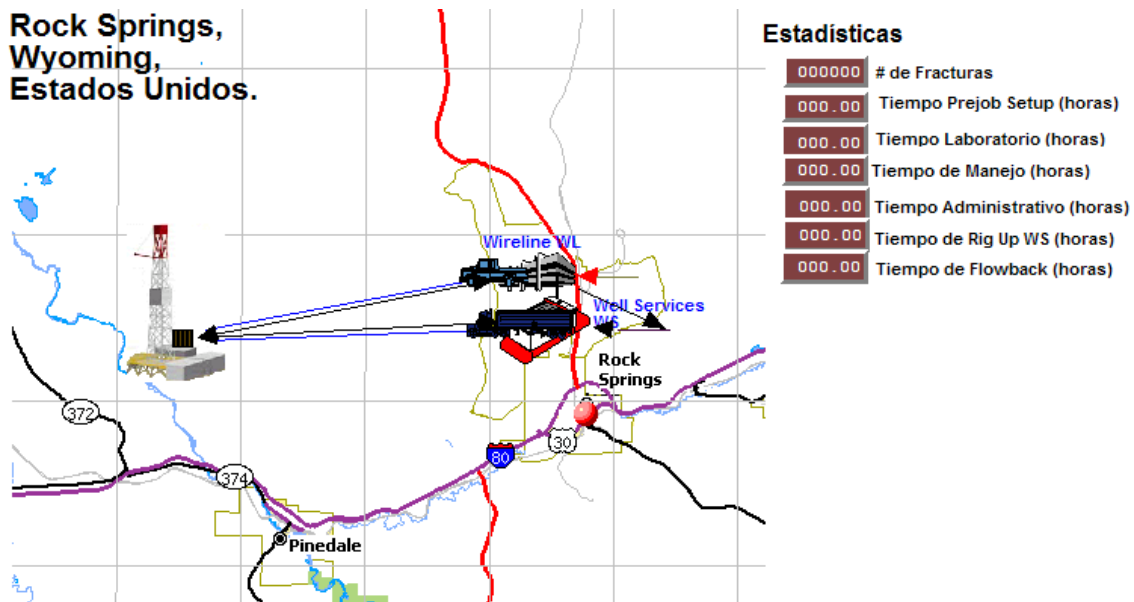
De la línea de espera pasa al distrito de Well Services o Estimulación, donde se prepara el trabajo de forma administrativa, con el correspondiente papeleo e información en sistema. Asimismo el setup con el análisis de maquinaria se lleva a cabo, previo envío vía terrestre del equipo a la locación del cliente.

Una vez en la locación, se realizan las fracturas (dos en promedio), con la contabilización de flowback que el cliente realiza para disminuir la presión del pozo. El equipo vuelve con el recurso a la base, para llevar a cabo la limpieza y puesta a punto de las máquinas y así también, el papeleo y tiempo administrativo para preparar el informe final al cliente.

### 6.4.8 Layout del modelo

En la Figura 12 se presenta el layout del proceso tradicional con un pozo.

Figura 12. Layout del Modelo de Simulación del Proceso Tradicional con un pozo.



### 6.5 Proceso de Operaciones continuas de 24 Horas de Fractura.

Pretende representar con mayor detalle las operaciones desde el punto de vista del pozo petrolero, una vez que se emite una orden para un trabajo de estimulación. En este caso se trata de manera conjunta a los segmentos de Well Services y Wireline, con una sola orden de trabajo ejecutándose para la estimulación del pozo. De allí que el parámetro más importante que se busca analizar es la cantidad de horas que toma finalizar un trabajo de estimulación, comparando con operaciones tradicionales.

Cabe resaltar que trabajando bajo “Operaciones Continuas 24 Horas de Fractura”, se tiene el ciclo de perforación, fracturación y flowback. Cuando se puede coordinar el trabajo con el mismo equipo en dos o tres pozos a la vez, con la misma maquinaria y personal, se pueden optimizar las operaciones y se mejorar los tiempos. Esto queda ilustrado en los

modelos de simulación contruidos con uno, dos y tres pozos, que únicamente se diferencian en el procesamiento en el pozo petrolero. Por esta razón estos tres modelos se caracterizan de la misma forma, variando únicamente en el proceso descrito posteriormente.

### **6.5.1 Localidades**

Las siguientes localidades constituyen el modelo:

- **District:** Distrito de Well Services y Wireline, que es la base de donde parten los equipos a las diferentes locaciones petroleras. Es una unidad con capacidad de tres equipos, tal cual se definió anteriormente. Recibe trabajos de la District\_line, que es una “Queue” o línea de espera definida en Promodel. Se desarrollan análisis de laboratorio y preparaciones administrativas dependiendo del trabajo a realizar. Adicionalmente antes del trabajo se debe realizar un setup denominado JSA, que es la preparación y revisión de toda la maquinaria para asegurar la seguridad de transporte y funcionamiento en la locación. Cabe resaltar que los análisis de laboratorio, setup y planificación administrativa se realizan simultáneamente para Wireline y Estimulación.
- **Well:** Es un pozo petrolero que puede recibir un trabajo a la vez, desde el distrito, donde los tiempos para que lleguen dichos trabajos corresponden al tiempo de manejo que depende tanto de la unidad de Wireline como de Estimulación.
- **District\_line:** Es la línea de arribo de trabajos tanto para Estimulación como Wireline, ya que se concibe un solo trabajo en conjunto. Tiene capacidad infinita.

### **6.5.2 Entidades**

Las siguientes entidades forman parte del modelo:

- Prejob: orden inicial del cliente que pasa directo a la línea de espera del Distrito.
- Service\_Job: es el trabajo conjunto de Wireline y Fracturación, una vez que sale del distrito para la locación o pozo del cliente.

### **6.5.3 Arribos**

Los arribos se reciben como órdenes del cliente, con la entidad “Prejob”, que llega a la locación “WL\_District” que es la línea de espera del Distrito y que dispara el trabajo de Estimulación final. Se entiende que cada vez se recibe una sola orden a la vez, y que al iniciar la simulación se recibe un trabajo. Por otra parte, dado que un pozo recibe en promedio doce fracturas a la vez, se concibe única la ocurrencia del pedido del cliente.

### **6.5.4 Variables**

Las variables principales que se pretenden descubrir con el modelo son:

- Stages: variable que mide el número de fracturas que se realizan en el periodo de simulación. Para facilidad del modelo se entiende que por cada trabajo que el equipo de estimulación realiza, se generan doce fracturas.
- Setup\_time: variable que mide el tiempo de Setup antes de partir desde el distrito, hacia la locación del cliente. Básicamente es el tiempo que se toma para asegurar que todo el equipo a utilizar pueda servir de manera segura, eficiente y eficaz.
- Lab\_time: es el tiempo de laboratorio necesario tanto en Wireline como en Estimulación, concebidos como un solo distrito, para llevar a cabo las debidas pruebas de arena, agua, entre otros, que aseguren que el trabajo diseñado sea adecuado de acuerdo a la formación específica de la locación y los materiales a utilizar.



- **Driving\_time:** es el tiempo de manejo desde el distrito hacia la locación del cliente. Es una variable importante ya que al disminuir las horas de manejo, se disminuye el riesgo de accidentes. Cabe resaltar que las principales causas identificadas de accidentes para la empresa de servicios petroleros, son precisamente los que ocurren en las carreteras.
- **Managing\_time:** es el tiempo administrativo antes y después de realizar un trabajo en el distrito, conjuntamente para Wireline y Well Services (Estimulación). Comprende todo el papeleo y reportes que se deben realizar para el cliente y a fin de garantizar la calidad del servicio prestado.
- **Rig\_up\_time\_** es el tiempo que se toma en cada trabajo de fractura para construir la infraestructura necesaria para bombear los líquidos en el pozo.
- **Flow\_back\_time;** es el tiempo de flowback o circulación de fluidos en el pozo a fin de disminuir la presión hidrostática para que puedan entrar las herramientas de Wireline. Se reconoce cada vez que se llevan a cabo dos fracturas.
- **Tiempo:** variable temporal para facilitar el procesamiento y mediciones del modelo.

### **6.5.5 Recursos**

Se cuenta con un recurso: **District\_crew**, constituido por los equipos de Wireline y Estimulación.

El recurso parte desde el Distrito hacia la locación del cliente a través de un camino específico que demora en tiempo lo que se cuantifica como tiempo de manejo.

### **6.5.6 Información General**

Por el diseño del modelo, las unidades de programación en tiempo son las “horas”.

### 6.5.7 Procesamiento

La idea básica del procesamiento es que una vez que llega la orden del cliente a la línea de espera del Distrito, se analiza en el laboratorio tanto de Wireline como de Estimulación, y se realizan las pruebas del caso para corroborar el diseño del trabajo. Una vez que pasa la prueba, se pasa al distrito con el debido tiempo administrativo de planeación y revisión de recursos, para luego iniciar la revisión y setup de la maquinaria disponible, asegurando que responderán de manera eficaz y segura en el pozo.

Se traslada la maquinaria vía terrestre con el recurso, y una vez en la locación del cliente se construye la infraestructura temporal para llevar a cabo las perforaciones y fracturas. Es aquí donde se diferencia el proceso dependiendo del número de pozos:

- 1 Pozo: Se inicia con la perforación, mientras todo el equipo de Estimulación se sigue armando, para luego alternar entre fractura, flowback y perforación, con sus respectivos tiempos de espera. Dado que en promedio se realizan doce fracturas, y considerando que en cada perforación se generan dos fracturas, básicamente se cuentan con seis turnos rotativos.
- 2 Pozos: el turno rotativo es de fractura, fractura, flowback, ya que mientras en un pozo se realiza la fractura, en otro se hace flowback o perforación. Dado que el flowback toma más tiempo que la perforación, el ciclo repetitivo queda definido tal cual quedó explicado.
- 3 Pozos: el turno rotativo es de fractura, fractura, fractura, ya que mientras en un pozo se realiza la perforación, en otro se hace el flowback y en el restante se genera la fractura. Dado que el tiempo máximo de espera es el de la fractura, es el eje principal de cada rotación, definido por la distribución correspondiente.

Finalmente, el equipo vuelve con el recurso a la base, para llevar a cabo la limpieza y puesta a punto de las máquinas y así también el manejo administrativo para el cliente.

### 6.5.8 Layout del modelo

Desde la Figura 13 hasta la Figura 15, se presenta los layouts de los modelos Operaciones Continuas con uno, dos y tres pozos respectivamente.

Figura 13. Layout del Modelo de Simulación con Operaciones Continuas con un pozo.

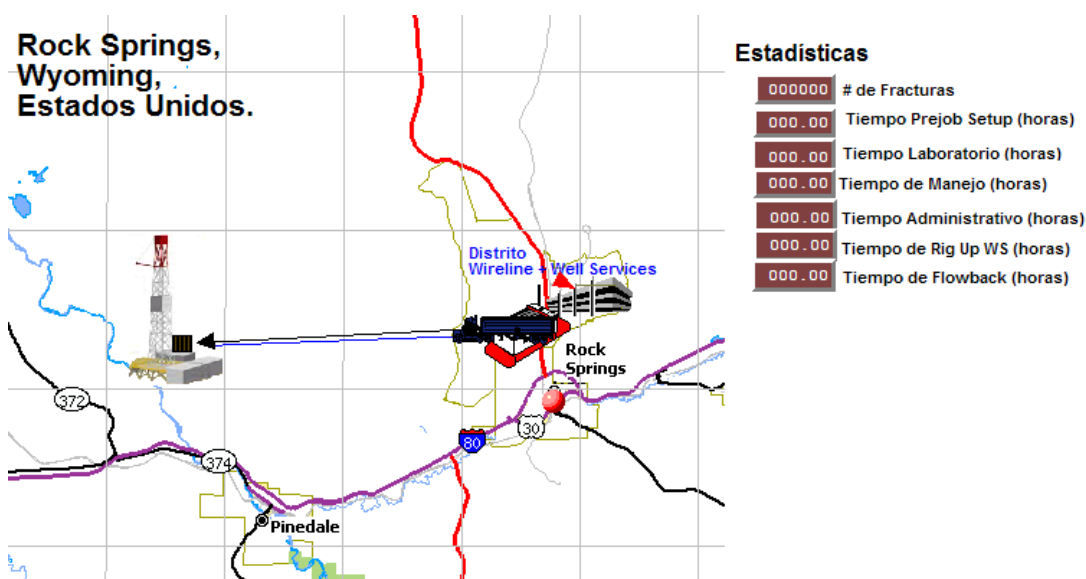


Figura 14. Layout del Modelo de Simulación con Operaciones Continuas con dos pozos.

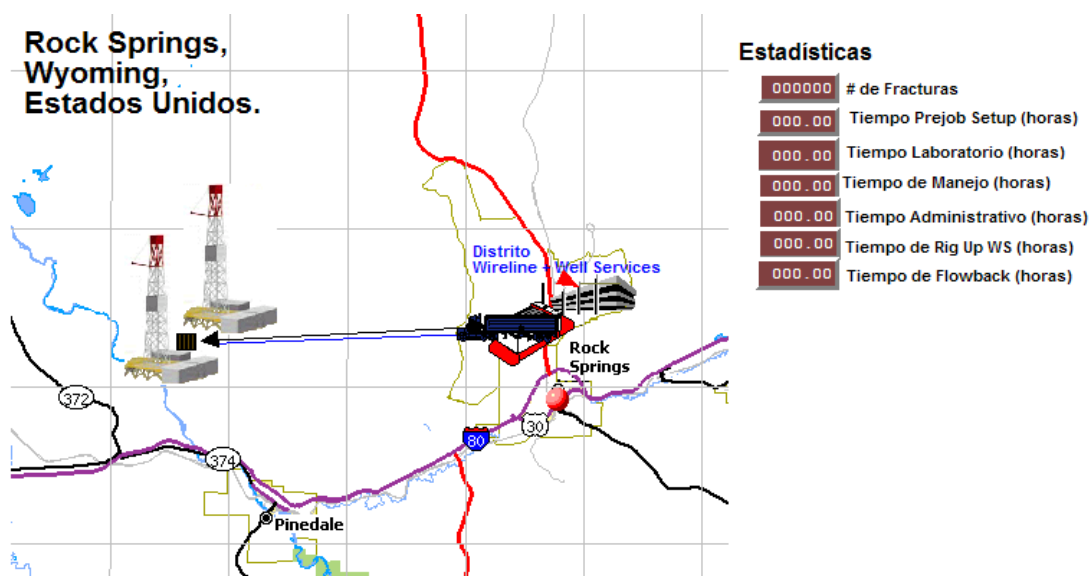
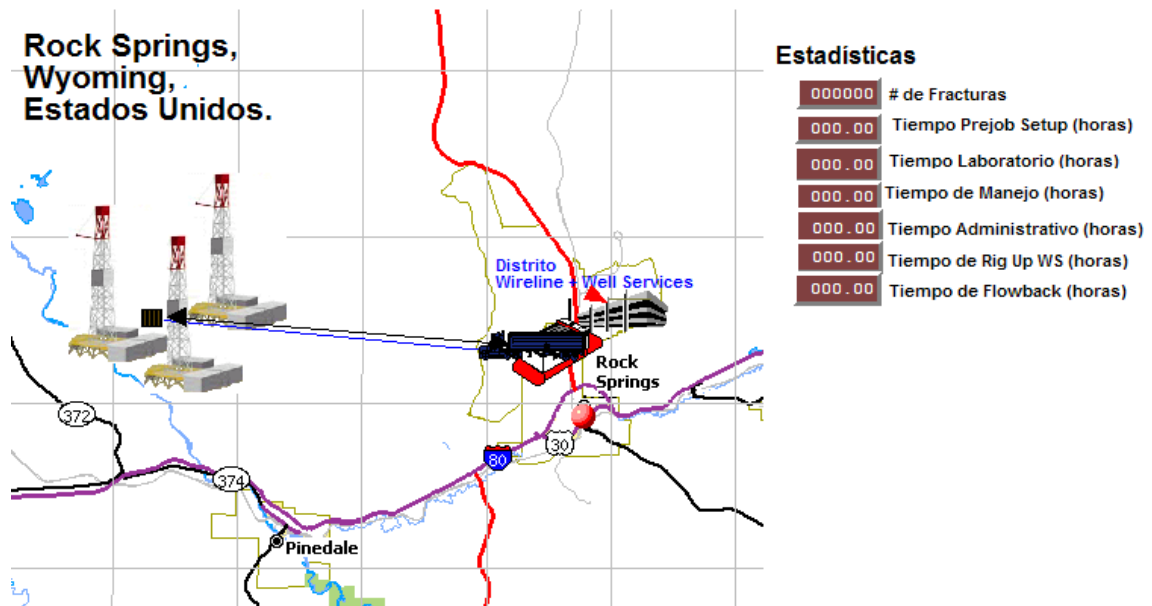


Figura 15. Layout del Modelo de Simulación con Operaciones Continuas con tres pozos.



## Capítulo 7. Resultados

### 7.1 Operaciones en Febrero 2006 – Cliente Específico

Analizando el mes de febrero del 2006, una vez seleccionado el cliente específico que a partir de este punto se denominará como “Cliente” (por motivos de confidencialidad), se verificó que se trabajó en seis pozos distintos. Los resultados se resumen en la Tabla 8.

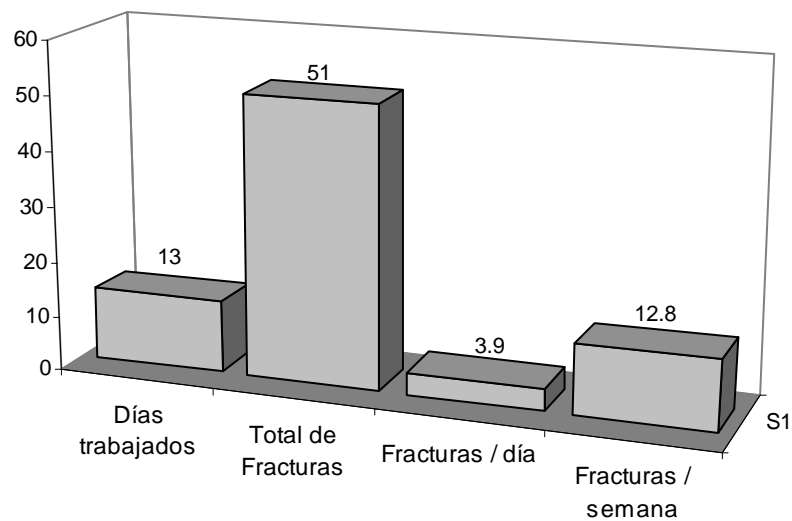
Tabla 8. Resultados en Febrero del 2006 con el Cliente.

#	Nombre	# fracturas	# de días	Personal	
				Operadores	FE - SS
1	Pozo 1	5	2	22	4
2	Pozo 2	10	3	22	4
3	Pozo 3	10	3	22	4
4	Pozo 4	7	1	22	4
5	Pozo 5	9	5	18	4
6	Pozo 6	10		18	4

FE es la abreviación de Field Engineer o Ingeniero de Campo, mientras que SS refiere a Supervisor. Ambos se encargan de correr los trabajos en las locaciones petroleras.

La Figura 16 permite visualizar datos promedios cuantificados para el análisis.

Figura 16. Resumen de Operaciones con el Cliente a Febrero del 2006.



Consecuentemente, se obtuvo un aumento del 300% en el número de fracturas realizadas, duplicando la cantidad de pozos tratados y fortificando la relación con el cliente. Por otra parte, los principales fluidos bombeados fueron:

- *Gel:* aumenta la viscosidad del fluido, inicialmente mezclado con agua, el cual genera un fluido lineal, es decir, estructuras unidas en una dirección.
- *Crosslinker:* crea uniones tridimensionales de los planos del fluido lineal, aumentando la viscosidad del fluido y facilitando el transporte de sólidos como la arena, que es usada en los tratamientos de fractura.
- *Surfactant - Clay Stabilizer:* cambia la tensión superficial del gas y de los líquidos, de tal forma que actúa como un lubricante que facilita la interacción del líquido bombeado y los gases – líquidos de la formación o reservorio.
- *Delay Agent – Buffer:* detiene momentáneamente la creación de cadenas tridimensionales determinadas por el Crosslinker, manteniendo el pH en niveles específicos.

En la Tabla 9 se presenta la cantidad de galones de fluidos bombeados en los seis diferentes pozos.

Tabla 9. Fluidos bombeados para el Cliente en febrero del 2006.

#	Nombre	Gel	Crosslinker	Surf - Clay	Delay A	
1	Pozo 1	1567	-	1597.5	-	1483.1
2	Pozo 2	3470.5385	1050.505	2223.5966	535.0256	2846.096
3	Pozo 3	3886.4078	3886.4078	2842.8283	434.6774	3251.5333
4	Pozo 4	3651.5188	1054.75	2360.65	527.375	2836.92
5	Pozo 5	4520.224	3964.415	-	1940.016	3626.448
6	Pozo 6	3968.0125	3655.61	-	1746.683	3439.288

Es de considerar que se bombearon más de nueve millones de libras de sólidos, denominados “proppants”, en los seis pozos, de acuerdo a los datos resumidos en la Tabla 10.

*Tabla 11.* Sólidos bombeados para el Cliente en febrero del 2006.

#	Nombre	Proppant
1	Pozo 1	750000
2	Pozo 2	1554574
3	Pozo 3	1751765.6
4	Pozo 4	1674092
5	Pozo 5	1885717
6	Pozo 6	1703020

Por otra parte, tal cual ilustra la Figura 17, no se registraron accidentes (HSE) en las locaciones del Cliente durante los trabajos de Operaciones Continuas para el mes de Febrero del 2006. QHSE es la abreviación en inglés de Calidad, Salud, Seguridad y Protección Ambiental.

*Figura 17.* Accidentes HSE en Febrero del 2006.

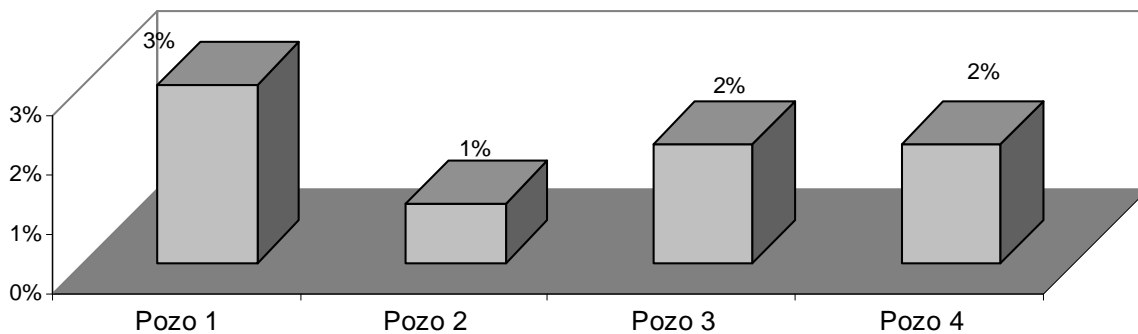


**Accidentes en Feb 2006: 0|0|0|0|0|0**

Respecto a la calidad de las operaciones, en la Figura 18 se resume el Aseguramiento y Control de Calidad (QAQC por siglas en Inglés), definido bajo el porcentaje de error del diseño del trabajo y lo que realmente se bombeó para crear la fractura. Numéricamente y

por estándar de la industria, se entiende que cualquier error mayor del 5% es un problema de Calidad.

*Figura 18.* Comparativo de diseño y trabajo real QAQC.



Cabe resaltar que no se registraron “screenouts” en ninguno de los pozos tratados. Estos screenouts son incrementos repentinos de presión debido a la acumulación de puentes o bloques de sólidos que no permiten el flujo de fluidos en la fractura. Por tanto el trabajo diseñado se cumplió a cabalidad en los seis pozos tratados, bajo un margen mínimo de diferencia oscilando entre uno y tres por ciento.



## 7.2 Simulaciones efectuadas

Ya que no se tiene información real que pueda ser comparada directamente con los resultados de los modelos, es imposible realizar una prueba estadística que valide que se ha construido el correcto modelo. No obstante, se ha realizado una Prueba Turing (Banks, 392), en la cual se han validado los modelos con el personal del Distrito (Ingeniero de Distrito, Supervisores y Operadores), todos ellos certificando que el modelo y los resultados se asemejan a la realidad, lo cual es una parte indispensable para la verificación del planteamiento. La evidencia de dicha validación es únicamente verbal una vez presentados los datos en el Distrito de Rock Springs, Wyoming.

Empero se puede validar estadísticamente la consistencia de los resultados generando réplicas independientes del modelo (Banks, 383). La independencia se garantiza por el uso de números aleatorios distintos producidos por el generador de números aleatorios de Promodel. El concepto es que al programar un modelo con datos estocásticos, los resultados a obtener serán también probabilísticos, por lo cual si alguna variable rechaza la hipótesis nula que plantea que el parámetro o variable es igual a lo estimado promedio por el modelo, entonces el modelo en conjunto no tendrá validez.

Por tanto es indispensable reconocer si los resultados son estadísticamente considerables o no, lo cual viene dado con la información que devuelve Promodel del promedio de las variables y las desviaciones estándar. Para esto se lleva a cabo una prueba de hipótesis para cada variable cuantificada, considerando 20 réplicas para cada modelo, de acuerdo al siguiente planteamiento.

$H_0$  : variable<sub>x</sub> = valor (Hipótesis nula que afirma que el valor de la variable estimado por Promodel es el real).

$H_1$  :  $\mu_d \neq 0$  (Hipótesis alternativa donde la variable tiene otro valor invalidando el modelo)

Con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , la prueba estadística es:

$$t_0 = \frac{Y - \mu_0}{S / \sqrt{n}}$$

Donde n es el número de repeticiones, en este caso 20 para cada prueba. “Y” es el valor actual de la variable que es cuantificada en el tiempo y  $\mu_0$  es el promedio de la variable a través de las repeticiones.

Considerando que el valor crítico de acuerdo a la distribución  $t_{\alpha/2, n-1} = t_{0.025, 19} = 2.1$ , cualquier valor calculado para cualquier variable que sea mayor que el valor crítico rechazará la hipótesis nula e invalidará el modelo.

Utilizando el programa Excel, se ha organizado la información de los resultados para los seis modelos de simulación planteados desde la Tabla 11 hasta la Tabla 16. Cabe resaltar que no se ha tomado en cuenta todos los resultados que devuelven las estadísticas al final de la corrida de Promodel, ya que dependiendo del punto de vista del modelo, ciertos datos no son representativos.

El procesamiento de las pruebas de hipótesis para cada variable también se presenta en cada tabla, junto con la evaluación positiva o negativa (que invalida el modelo). Se ha procedido de esta manera ya que automatiza las operaciones y reduce posibles errores de cálculo manual.

Tabla 11. Resultados del Modelo de Simulación del Distrito tradicional.

	Valor actual	Promedio	Desv. Est.	Valor Exp.	Evaluación
Número de Fracturas	48	48.2	0.57	-1.57	Positiva
Número de Trabajos	24	24.1	0.57	-0.78	Positiva
Tiempo Prejob de Setup	84.86	85.69	2.68	-1.39	Positiva
Tiempo de Laboratorio	59.18	58.62	4.38	0.57	Positiva
Tiempo de Manejo	157.13	154.78	5.26	2.00	Positiva
Tiempo administrativo	94.84	93.41	4.36	1.47	Positiva
Tiempo de Rig Up	42.79	42.87	1.94	-0.18	Positiva
Tiempo de Flowback	60.21	60.42	1.04	-0.90	Positiva

Tabla 12. Resultados del Modelo del Distrito con Operaciones Continuas.

	Valor actual	Promedio	Desv. Est.	Valor Exp.	Evaluación
Número de Fracturas	180	180.2	0.7	-1.28	Positiva
Número de Trabajos	15	15	0.4	0.00	Positiva
Tiempo Prejob de Setup	46.98	44.06	6.37	2.05	Positiva
Tiempo de Laboratorio	71.27	69.4	4.32	1.94	Positiva
Tiempo de Manejo	113.15	114.58	5.01	-1.28	Positiva
Tiempo administrativo	77.17	78.45	4.2	-1.36	Positiva
Tiempo de Rig Up	20.64	18.98	3.71	2.00	Positiva
Tiempo de Flowback	130.62	128.77	6.02	1.37	Positiva

Tabla 13. Resultados del Modelo del Proceso tradicional con un pozo.

	Valor actual	Promedio	Desv. Est.	Valor Exp.	Evaluación
Número de Fracturas	12	12	0.066	0.00	Positiva
Número de Trabajos	6	6	0.066	0.00	Positiva
Horas trabajadas	306.95	309.68	7.46	-1.64	Positiva
Tiempo Prejob de Setup (hrs)	21.45	21.97	1.43	-1.63	Positiva
Tiempo de Laboratorio (hrs)	16.16	16.19	0.6	-0.22	Positiva
Tiempo de Manejo (hrs)	47.23	47.36	0.5	-1.16	Positiva
Tiempo administrativo (hrs)	24.45	24.22	0.52	1.98	Positiva
Tiempo de Rig Up (hrs)	18.81	19.00	0.44	-1.93	Positiva
Tiempo de Flowback (hrs)	15.49	15.70	0.51	-1.84	Positiva

Tabla 14. Resultados del Modelo del Proceso de Operaciones Continuas con un pozo.

	Valor actual	Promedio	Desv. Est.	Valor Exp.	Evaluación
Número de Fracturas	12	12	0.12	0.00	Positiva
Número de Trabajos	1	1	0.12	0.00	Positiva
Horas trabajadas	61.6	62.202	1.57	-1.71	Positiva
Tiempo Prejob de Setup (hrs)	3.67	3.67	0.19	0.00	Positiva
Tiempo de Laboratorio (hrs)	3.45	3.39	0.5	0.54	Positiva
Tiempo de Manejo (hrs)	10.19	10.05	0.43	1.46	Positiva
Tiempo administrativo (hrs)	3.72	3.96	0.65	-1.65	Positiva
Tiempo de Rig Up (hrs)	2.95	3.07	0.27	-1.99	Positiva
Tiempo de Flowback (hrs)	14.64	14.81	0.44	-1.73	Positiva

Tabla 15. Resultados del Modelo del Proceso de Operaciones Continuas con dos pozos.

	Valor actual	Promedio	Desv. Est.	Valor Exp.	Evaluación
Número de Fracturas	24	24	0.2	0.00	Positiva
Número de Trabajos	2	2	0.2	0.00	Positiva
Horas trabajadas	77.7	78.4	1.56	-2.01	Positiva
Tiempo Prejob de Setup (hrs)	7.76	7.76	0.4	0.00	Positiva
Tiempo de Laboratorio (hrs)	8.18	8.41	0.74	-1.39	Positiva
Tiempo de Manejo (hrs)	13.19	13.05	0.44	1.42	Positiva
Tiempo administrativo (hrs)	13.89	14.01	0.59	-0.91	Positiva
Tiempo de Rig Up (hrs)	5.62	5.76	0.35	-1.79	Positiva
Tiempo de Flowback (hrs)	28.97	29.26	1.01	-1.28	Positiva

Tabla 16. Resultados del Modelo del Proceso de Operaciones Continuas con tres pozos.

	Valor actual	Promedio	Desv. Est.	Valor Exp.	Evaluación
Número de Fracturas	36	36	0.18	0.00	Positiva
Número de Trabajos	3	3	0.18	0.00	Positiva
Horas trabajadas	107.4	108.18	1.75	-1.99	Positiva
Tiempo Prejob de Setup (hrs)	12.42	12.44	0.61	-0.15	Positiva
Tiempo de Laboratorio (hrs)	13.09	13.31	0.76	-1.29	Positiva
Tiempo de Manejo (hrs)	14.31	14.48	0.42	-1.81	Positiva
Tiempo administrativo (hrs)	19.2	19.6	0.94	-1.90	Positiva
Tiempo de Rig Up (hrs)	8.62	8.79	0.38	-2.00	Positiva
Tiempo de Flowback (hrs)	43.78	44.33	1.18	-2.08	Positiva

Como se aprecia en cada Tabla con los resultados de los modelos, ninguna variable rechaza la hipótesis nula que afirma su valor de acuerdo a la evaluación de Promodel. Por tanto cada modelo es consistente y válido estadísticamente.

## Capítulo 8. Análisis de Resultados

### 8.1 Comparativo de Operaciones en Semestres 2005 - 2006

Los datos que se presentan en la Tabla 17 se registraron en el distrito de Rock Springs, en el estado de Wyoming en los Estados Unidos. La información establece un marco comparativo entre el *primer semestre del 2005* contra el *primer semestre del 2006*.

La fuente de la información fue la base de datos del Distrito, que apalanca el Sistema de Información Gerencial manejado a distintos niveles de autoridad dentro de la empresa.

Algunos datos comparativos se ilustran desde la Figura 19 hasta la Figura 24.

Tabla 17. Cuantificaciones del 1er semestre 2005 vs. 1er semestre 2006

	Ene 05 - Jun 05	Ene 06 - Jun 06
% de Operaciones	47%	89%
ROA	17%	44%
Ingresos	\$ 28,083,044.00	\$ 40,895,850.00
Ingresos / mes	\$ 4,680,507.33	\$ 6,815,975.00
Compensación	\$ 4,221,422.00	\$ 3,779,813.00
Costo de mantenimiento	\$ 2,415,759.00	\$ 2,372,793.00
Costo Mantenimiento / mes	\$ 402,626.50	\$ 395,465.50
Costo de Subcontratistas	\$ 1,318,117.00	\$ 1,825,539.00
Costo Subcontrat / mes	\$ 219,686.17	\$ 304,256.50
# de empleados	109	78
Ventas / empleado	\$ 47,901.17	\$ 86,421.00
Compensación / empleado	\$ 38,728.64	\$ 96,711.63
Días de inventario	20	28.5

Figura 19. Porcentaje de Operaciones

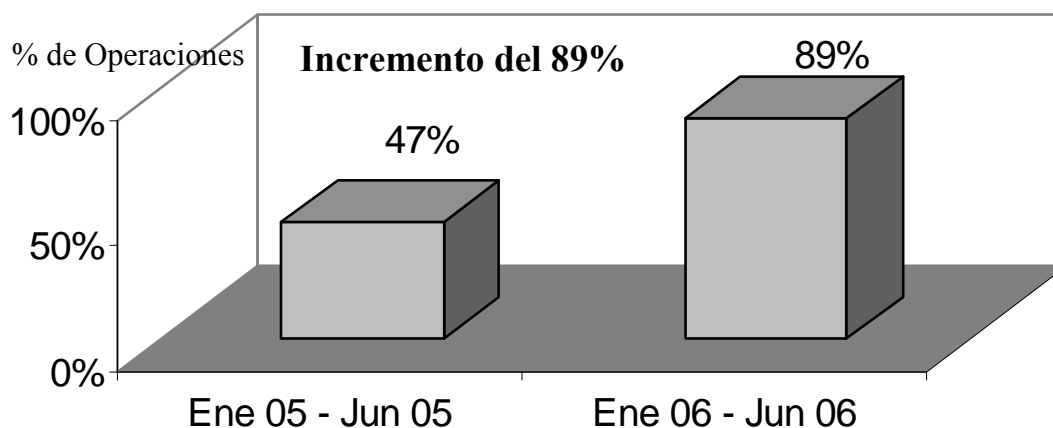


Figura 20. Retorno sobre los activos

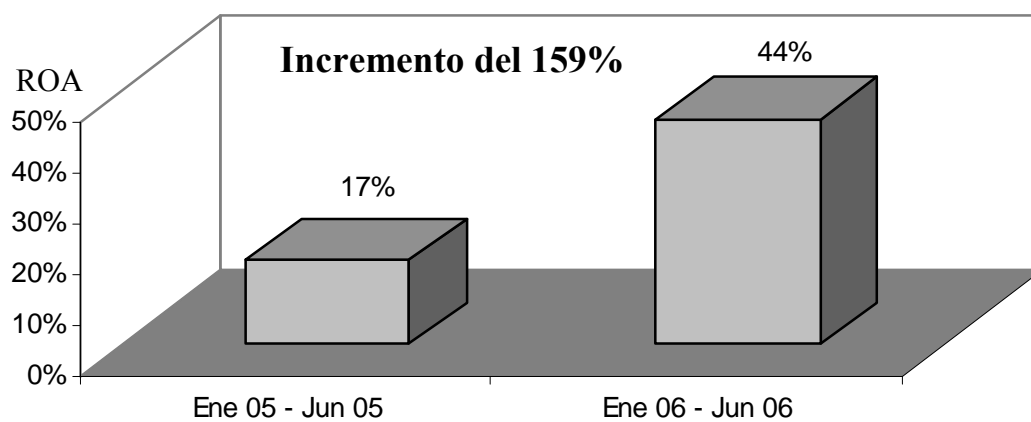


Figura 21. Ingresos comparativos

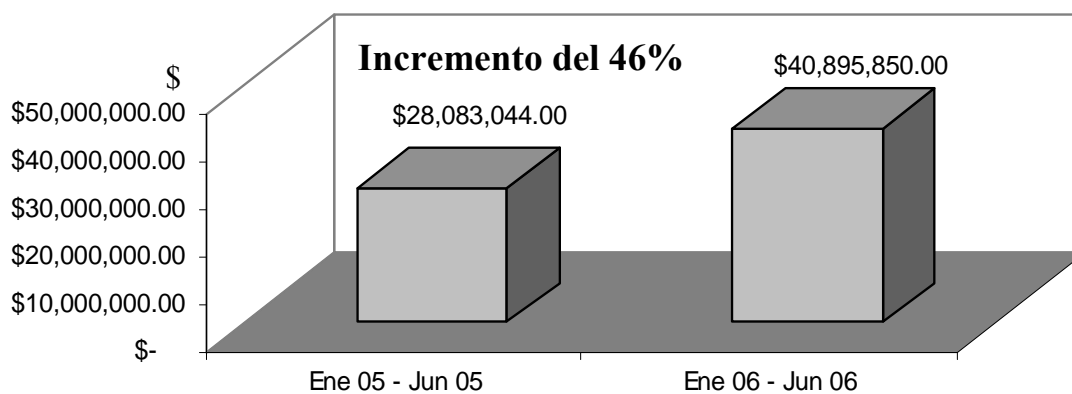


Figura 22. Número de personas

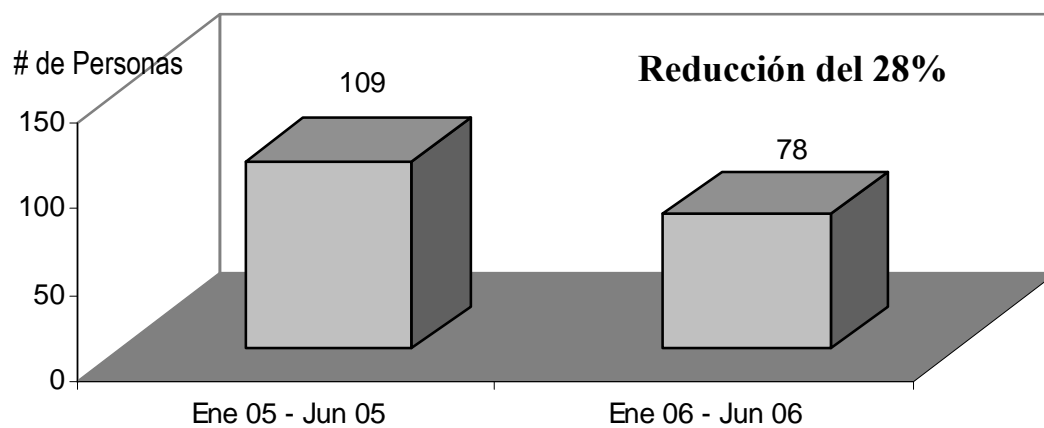


Figura 23. Días de inventario

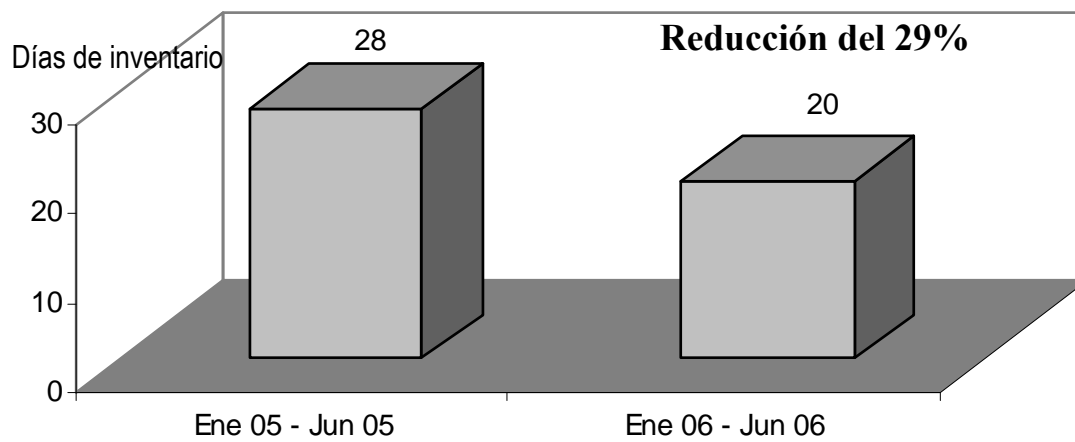
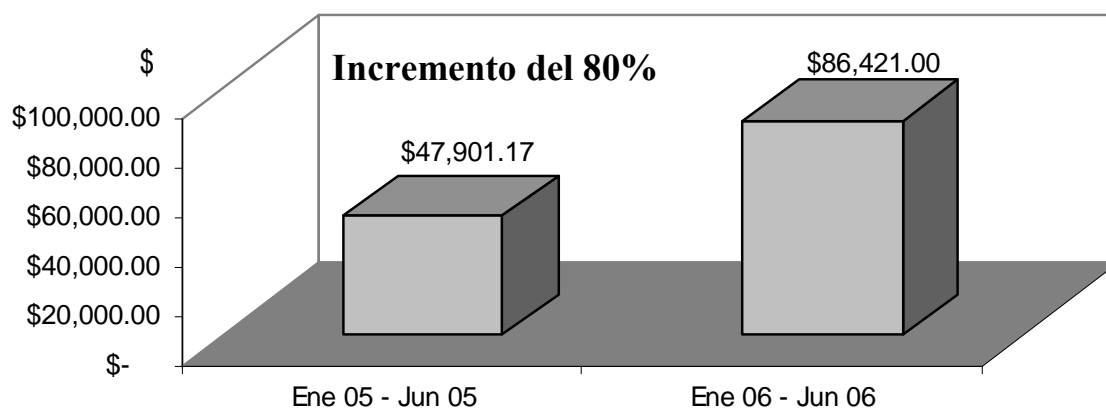


Figura 24. Ventas por empleado



## 8.2 Comparativo de Simulaciones

Las comparaciones se basan en los valores actuales de las variables y no en promedios, ya que se verificó su validez estadística en los “Resultados”. A fin de establecer un marco comparativo válido, se ha tomado en cuenta los dos puntos de vista de la construcción de los modelos: en primer lugar se comparan los “Distritos” funcionando bajo Operaciones Tradicionales y con Operaciones Continuas, para después comparar los modelos desde el ámbito de la locación petrolera. Esta diferenciación se basa en la programación y parámetros distintos de acuerdo a cada punto de referencia.

Para comparar el Distrito Tradicional con el Distrito de Operaciones Continuas se ha procedido a parametrizar el número de fracturas, es decir evaluar ambos distritos con igual número de fracturas de tal forma que la comparación sea viable. De esta forma, de acuerdo a los resultados se ha dividido por un factor de 3.75 que es la relación especificada que se busca, cuyos datos se presentan en la Tabla 18.

*Tabla 18. Comparativo de distritos con operaciones tradicionales y continuas.*

	Operaciones Tradicionales	Operaciones Continuas	% de comparación
Número de Fracturas	48	48	-
Número de Trabajos	24	4	-83%
Tiempo Prejob de Setup	84.86	12.53	-85%
Tiempo de Laboratorio	59.18	19.01	-68%
Tiempo de Manejo	157.13	30.17	-81%
Tiempo administrativo	94.84	20.58	-78%
Tiempo de Rig Up	42.79	5.50	-87%
Tiempo de Flowback	60.21	34.83	-42%

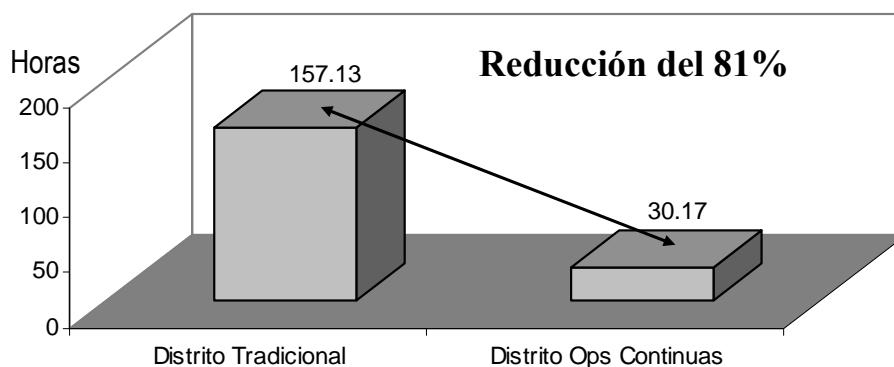
Es de considerar que todos los tiempos cuantificados se reducen en porcentajes oscilantes en el 80%, a excepción del tiempo de laboratorio que está en un 68% y el tiempo de flowback, ya que son actividades que deben hacerse en una menor medida que el setup,



manejo, armado y trabajo administrativo. Estas actividades disminuyen con Operaciones Continuas.

Es de considerar que el tiempo de manejo se reduce en un 81%, tal cual se demuestra en la Figura 25. Para el distrito tiene un impacto directo en la reducción del riesgo, con la garantía de calidad de las operaciones.

Figura 25. Comparativo de tiempo de manejo con distritos de operaciones diferentes.



En cuanto al porcentaje de utilización del distrito, se entiende que el distrito de Estimulación, junto con el Wireline, mantienen un 42% de uso compuesto, cuando trabajan con procedimientos tradicionales. Mientras que desempeñándose bajo Operaciones Continuas, la utilización está en alrededor del 53%. La variación de 11% no significa que el distrito aumenta en productividad, sino que al contrario, el 53% trabajan con actividades que agregan mayor valor por cada trabajo de estimulación, y adicionalmente devuelven rentabilidad e ingresos mayores que un distrito de 42% de utilización.

Por otra parte, el número de fracturas generadas con operaciones continuas sobrepasa más del 300% al número de fracturas con operaciones tradicionales. De esta forma se atiende más clientes, lo cual genera mayores ingresos, y mayor aprovechamiento de activos, lo cual es una medida sumamente crítica para la empresa, ya que justifica la inversión en el distrito, así como Investigación y Desarrollo, garantizando crecimiento sostenido.

Para el proceso tradicional con un pozo, se obtiene un número de doce fracturas, que da un total de seis trabajos independientes, realizados en conjunto en el pozo por cerca de 360 horas. Se puede establecer una comparación directa con el proceso de operaciones continuas con un pozo, donde con un solo trabajo, se realizan doce fracturas y se trabaja por un poco más de 61 horas. De esta manera se entiende el impacto de las Operaciones Continuas, ya que el tiempo que toma realizar la fracturación disminuye considerablemente, y consecuentemente, el tiempo de pago para el cliente es menor.

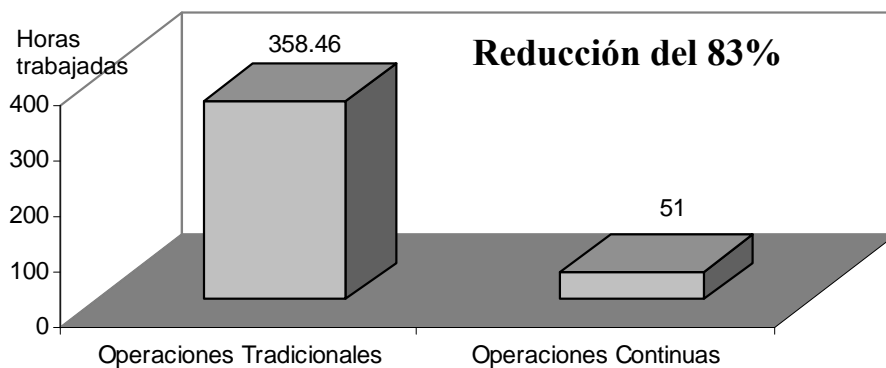
En la Tabla 19 se presentan los porcentajes de reducción en distintos parámetros desplegados en los resultados. Dichos porcentajes, a pesar de ser basados en números referenciales, denotan la disminución de tiempo, justificada en actividades repetitivas que son eliminadas con el proceso de operaciones continuas, como el manejo, laboratorio, el rig up (construcción de infraestructura temporal) y el setup antes de realizar el trabajo.

*Tabla 19. Comparativo de operaciones en un pozo con diferentes procesos.*

Horas trabajadas	83%
Tiempo Prejob de Setup (hrs)	83%
Tiempo de Laboratorio (hrs)	79%
Tiempo de Manejo (hrs)	78%
Tiempo administrativo (hrs)	85%
Tiempo de Rig Up (hrs)	84%
Tiempo de Flowback (hrs)	5%

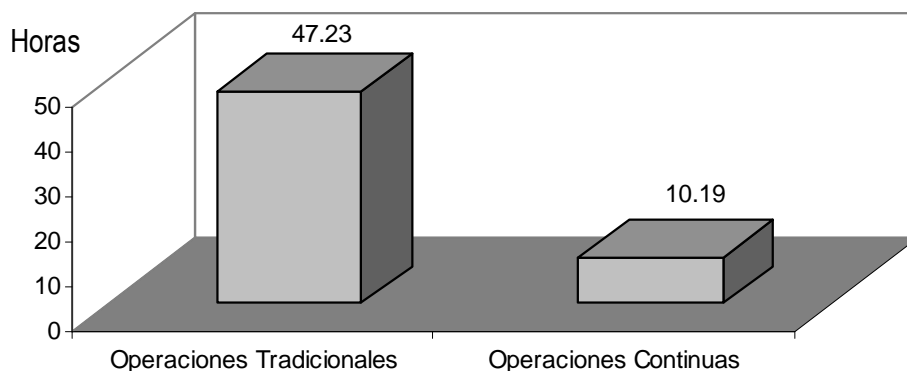
De hecho, el número más importante es la cantidad de horas trabajadas, ya que como se explicó anteriormente, incide directamente en los días de pago menores para el cliente. Si el cliente tiene un pozo estimulado, esto representa que en teoría puede obtener mayor cantidad de petróleo o gas en menor tiempo, ya que al aumentar la conductividad del pozo, el flujo de los fluidos se ve favorecido. En la Figura 26 se presenta la comparación de las horas trabajadas.

Figura 26. Comparación de horas trabajadas con diferentes operaciones.



Otro parámetro de importancia y que vale la pena resaltar es el menor número de horas de manejo, ya que existe una relación directa con cantidad de accidentes. La comparación se presenta en la Figura 27.

Figura 27. Comparación de horas de manejo con diferentes operaciones.



Con la perspectiva de procesos, las actividades que no agregan valor son las que deben eliminarse del procedimiento (Chopra, 145). Si se aprecia las operaciones tradicionales, es imposible eliminar cualquier actividad, dígame manejo o laboratorio, entre otras. No obstante, abstrayendo la idea principal de las operaciones continuas que es la coordinación interna con los segmentos de la empresa y externa con el cliente, dichas actividades llegan a ser repetitivas ya que por el diseño no hace falta volver a realizarlas. Esta es una manera de generar valor en el proceso, y por tanto al cliente y a la propia empresa de servicios petroleros operativamente.

Cuando se compara las operaciones continuas variando el número de pozos, se entiende que la máxima eficiencia se alcanza cuando se trabaja en la mayor cantidad de pozos, con un máximo de tres a la vez para el mismo equipo con su respectiva maquinaria. Cuando se trabaja en un solo pozo, el tiempo de espera para los diferentes equipos: Wireline y Estimulación oscila entre dos y tres horas por cada actividad. Es decir, si solo se trabaja en un pozo, el equipo de Estimulación puede llegar a esperar hasta cuatro horas para entrar a trabajar nuevamente ya que primero se debe realizar el flowback y posteriormente se debe llevar a cabo las perforaciones. Dicha espera no genera valor ni a la empresa de servicios petroleros ni al cliente.

Por tanto es ideal trabajar con operaciones continuas con varios pozos a la vez, de tal forma que el ciclo de perforaciones, fracturación y flowback sea aprovechado al máximo por los equipos en la locación del cliente.

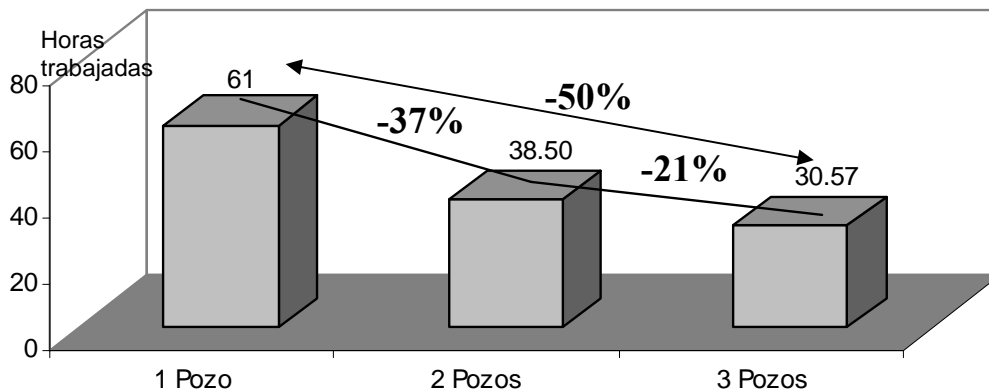
En la Tabla 20 se presentan datos comparativos de operaciones continuas con distintos pozos a la vez; los datos están parametrizados a un solo pozo, es decir, ya que no se puede comparar lo que pasa en una locación contra lo que sucede en varias a la vez, se obtienen los resultados de las variables de dos y tres pozos y convertirlas por simple división a lo que sucede en un solo pozo, de tal forma que la comparación sea viable.

*Tabla 20.* Comparativo de operaciones continuas con varios pozos.

	1 Pozo	2 Pozos	3 Pozos
Número de Fracturas	12	12	12
Número de Trabajos	1	1	1
Horas trabajadas	61	38.50	30.57
Tiempo Prejob de Setup (hrs)	3.67	3.88	3.55
Tiempo de Laboratorio (hrs)	3.45	4.09	3.74
Tiempo de Manejo (hrs)	10.19	6.60	4.09
Tiempo administrativo (hrs)	3.72	6.95	5.45
Tiempo de Rig Up (hrs)	2.95	2.81	2.46
Tiempo de Flowback (hrs)	14.64	14.49	12.51

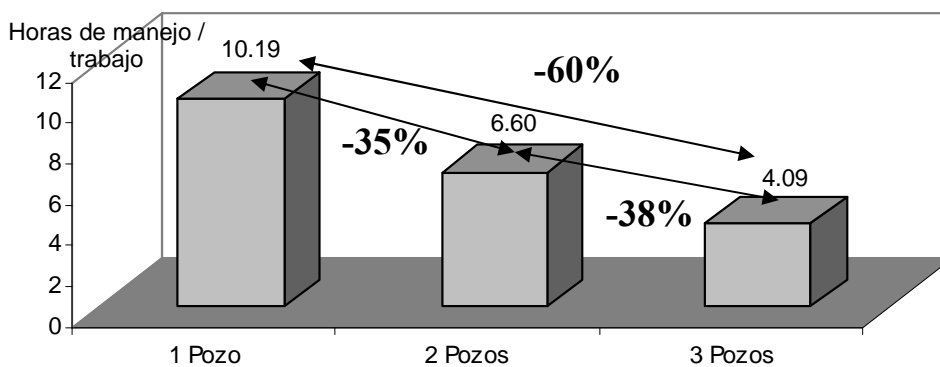
La Figura 28 presenta la relación decreciente de horas trabajadas con distinta cantidad de pozos, parametrizado a un solo pozo. Se ratifica que conforme se trabaja en más pozos, se requieren menos horas para terminar la operación.

Figura 28. Relación de horas trabajadas con varios pozos en operaciones continuas.



Comparando de la misma forma la cantidad de horas de manejo que se obtiene con la parametrización para los tres pozos, se comprueba que el riesgo de accidentes es menor ya que la cantidad de horas de manejo se reduce. Esto queda ilustrado en la Figura 29.

Figura 29. Relación de horas de manejo con varios pozos en operaciones continuas.



### 8.3 Desventajas

Las principales desventajas que se registran con Operaciones Continuas de 24 Horas de Fractura son:

- Descomposición acelerada de piezas y maquinaria utilizada en los trabajos de fractura.
- Dificultad en la planificación inicial de asignación para los diferentes trabajos, especialmente de:
  - Personal
  - Camiones
- No existe tiempo de descanso para el personal que ejecuta las operaciones en campo, lo cual genera fatiga e insatisfacción.
- Dificultad con las restricciones de manejo de vehículos comerciales en función de las cláusulas de DOT (Department of Transportation), o Departamento de Transportación por sus siglas en Inglés, que rige en los Estados Unidos de Norteamérica, ya que los operadores no pueden trabajar y conducir a partir de cierto número de horas, que fácilmente se sobrepasa con los turnos de 12 horas en las Operaciones Continuas.
- Tiempos de espera considerables (entre tres y cuatro horas con cada fractura) cuando se trabaja únicamente en un pozo.
- Elevado nivel de inversión inicial (cerca de 15 millones de dólares) para contar con un nuevo conjunto de equipos para operaciones de fractura.
- Considerable cantidad de tiempo para entrenamiento adecuado de nuevo personal.
- Considerable rotación de personal.

## 8.4 Valor agregado al Cliente

A pesar que no se cuenta con datos cuantitativos de beneficios al cliente, es indiscutible que al generar el número de fracturas deseadas en menor tiempo del esperado, los días de pago para el cliente son menores, lo cual se traduce en dinero y consecuentemente mayor liquidez.

Organizando por niveles, el valor al cliente se presenta a continuación:

### 1. Primer Nivel:

- Múltiples fracturas en menor tiempo.
- Pozos estimulados.
- Menores costos con más fracturas.
- Altos estándares de Seguridad.
- Protección ambiental.

### 2. Segundo Nivel:

- Operaciones de calidad.
- Información y experiencia.
- Menos días de pago.
- Mayor tasa de producción.

### 3. Tercer Nivel:

- Menores costos.
- Mayor rentabilidad.
- Partnership.
- Valor al acreedor.

## 8.5 Valor agregado a la empresa

Considerando el Comparativo de Operaciones con los resultados del primer semestre del 2005 contra el primer semestre del 2006 como punto de partida, el valor agregado a la empresa se puede clasificar cualitativamente en los siguientes niveles:

### 1. Primer Nivel:

- Menores costos con mayor cantidad de fracturas realizadas.
- Menores costos de administración.
- Mayor utilización de horas disponibles del personal de campo.
- Menor tiempo para completar los trabajos.
- Altos Estándares de Calidad, Seguridad, Salud y Protección ambiental.

### 2. Segundo Nivel:

- Oportunidad para llevar a cabo promociones, descuentos, pricing.
- Apertura para continuar con proyectos de Investigación y Desarrollo.
- Mayor retorno sobre los activos.
- Menores costos operacionales.
- Satisfacción de los empleados por la cantidad de horas trabajadas (la mayoría de operadores trabaja por horas), turnos fijos, entre otros.

### 3. Tercer Nivel:

- Menores costos.
- Mayor rentabilidad.
- Partnership.
- Imagen Institucional.
- Satisfacción del cliente y valor agregado.



## 8.6 Valor compartido

Se define como valor compartido a la percepción de valor generada de la misma forma para el cliente como para la empresa de servicios petroleros, basados en los menores costos y mayor rentabilidad, que a la larga se fortalece con el fortalecimiento de las relaciones de ambas compañías, generando valor al acreedor a través de mayor rentabilidad en las inversiones. Esto queda ilustrado en la Figura 30.

Figura 30. Valor compartido – Nuevos Parámetros de la Industria



## **Capítulo 9. Análisis de Conclusiones, Recomendaciones y Futuro de las Operaciones.**

### **9.1 Conclusiones**

- Operaciones Continuas de 24 Horas de Fractura son en sí una solución integral que la empresa debe desarrollar y ofrecer como un servicio de Supply Chain Management, a fin de obtener reconocimiento y preferencias del cliente en el ámbito de la Estimulación de pozos petroleros y de gas a nivel mundial
- Los resultados obtenidos en febrero del 2006 con el Cliente seleccionado dejan en claro que la calidad no se ve afectada por el proceso de Operaciones Continuas, asegurando además los altos estándares de salud (higiene), seguridad y protección ambiental que toda empresa de servicios petroleros debe garantizar a sus clientes.
- Una solución que maximice la productividad de la Cadena de Demanda sin duda beneficia a todas las partes, desde el cliente del cliente hasta el proveedor del proveedor; esto queda demostrado con Operaciones Continuas de Fractura y su desempeño en el tiempo.
- La adaptabilidad es un requisito fundamental en cualquier industria. Satisfacer los cambios de demanda en reducidos tiempos de respuesta asegura la continuidad del negocio y crecimiento sostenido en el tiempo.
- Los modelos de simulación pueden anticipar de forma coherente los resultados que se podrían obtener en la práctica. En el caso específico de Operaciones Continuas, los

modelos presentados en el documento aseguran el impacto visual y datos cuantitativos útiles a la hora de tomar decisiones. De esta manera, dichos modelos pueden servir como herramientas a la hora de presentaciones con clientes y venta de servicios y soluciones.

- Operaciones Continuas de 24 Horas de Fractura no necesariamente pueden ser aplicadas en todos los lugares debido a las limitaciones de capacidad y demanda. En tal caso, si la demanda de trabajos de fractura es reducida, o si la inversión inicial no puede ser claramente justificada de acuerdo a parámetros de retorno sobre la inversión y retorno esperado sobre los activos, es mejor mantener los procedimientos de operaciones tradicionales o buscar una forma de mantener la eficiencia que tienen las Operaciones Continuas sin aumentar los costos o el riesgo de los procesos.
- Cuando se trabaja bajo los conceptos de Cadena de Demanda, cambios en los procesos devuelven resultados exitosos y sumamente rentables.
- Operaciones Continuas de fractura representa un beneficio grande reflejado en los menores días de pago para el cliente, garantizando un riesgo menor de accidentes por la disminución de horas de manejo, así como la calidad del trabajo generado en conjunto por el Distrito con sus unidades de Well Services y Wireline.
- Si bien es cierto que la propuesta de Operaciones Continuas no es una invención planteada por el autor de este documento, el análisis del cambio de proceso y los modelos de simulación constituyen el primer estudio de un tipo de operaciones que

pueden cambiar la forma de generar trabajos de fracturación hidráulica a nivel mundial, razón por la cual el proyecto es valioso como fuente de información para la industria del producción de petróleo y gas.

- El sentido común es el menos común de todos. Si se analiza la base de Operaciones Continuas, cualquier persona está en capacidad de afirmar que trabajar bajo dichos procedimientos es una manera “obvia” de hacer las cosas. Sin embargo, en la práctica toma un esfuerzo exorbitante organizar los procesos y tener una visión general para llegar a laborar bajo Operaciones Continuas. Cuando se clarifica, todo parece ser fácil, no obstante el camino hasta definir la solución toma tiempo y no es fácil.

## **9.2 Recomendaciones**

- El crecimiento y mejoras que se experimentó en el distrito de Rock Springs Wyoming, en Estados Unidos, debería ser una base que sirva como ejemplo para replicar en otros distintos a nivel mundial, de acuerdo al volumen de operaciones. Adicionalmente se debería dar a conocer los resultados de Operaciones Continuas abiertamente al público, sin ofrecer información sobre los procesos o Core Business del negocio, sino con afán de fortalecer la imagen institucional de la corporación.
- Es indispensable mejorar los procesos de planificación inicial de trabajos de fractura, ya sea con el uso de algoritmos o con metodologías que reduzcan el tiempo que la línea inicial de administración invierte.

### **9.3 El Futuro de las Operaciones**

Asegurar la continuidad del negocio, manteniendo un crecimiento sostenido se logra únicamente mediante mejoramiento continuo. Dicha vía llevó a la generación de Operaciones Continuas, y la misma vía debería garantizar buscar mayor eficiencia y productividad en el tiempo.

#### ***Flowback***

En el futuro inmediato es indispensable reconocer la importancia del “Flowback”. El problema se centra en definir el efecto de realizar flowback después de cada fractura, considerando que el principal objetivo de dicha actividad es la preparación del pozo para futuros tratamientos, compensando la presión que es resultado del fluido circulante en el pozo.

Por tanto se debería establecer un diseño experimental que permita identificar la producción entre pozos que registran flowback después de cada fractura y los que no lo hicieron. De esta manera se puede identificar la relación entre dicha actividad y la producción en el tiempo.

Es de considerar que la opción de ciertos clientes es llevar a cabo flowback, no obstante otros lo toman en cuenta únicamente cuando es necesario, por ejemplo para introducir las herramientas de Wireline.

En caso que el flowback no siempre sea necesario, es decir, si no existe una relación entre la producción y la ejecución de dicha actividad, se pueden ahorrar horas valiosas de trabajo en el pozo y consecuentemente acelerar la producción en la locación.

Es importante mencionar que no se contempló responder esta incógnita en el proyecto ya que se necesita información del cliente, la cual no fue accesible al momento de completar el documento.

### ***Aplicación***

Se debe buscar distritos en los cuales por volumen de operaciones y por cantidad de personal y activos, pueda aplicarse el proceso de Operaciones Continuas de 24 Horas de Fractura. El modelo de simulación puede servir de primer parámetro para determinar los distritos que puedan ofrecer dicha nueva solución.

### ***Tecnologías potenciales***

El principal objetivo en el ámbito operativo de los trabajos de estimulación, específicamente de las operaciones de fractura, es realizar diversas estimulaciones efectivas en el menor tiempo posible. Para esto, miles de millones se invierten anualmente en Investigación y Desarrollo.

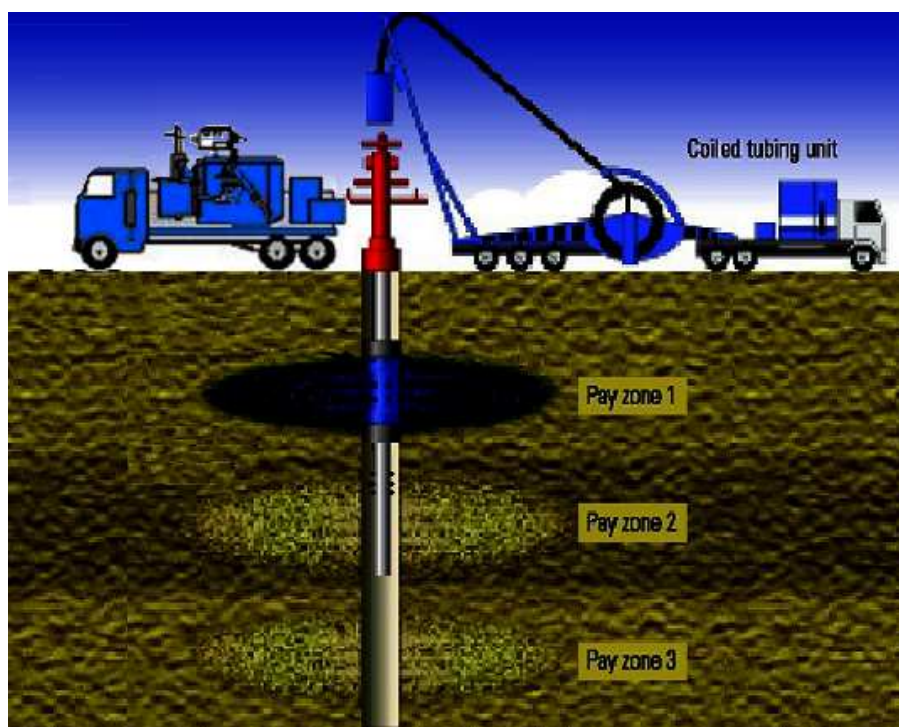
Entre las Tecnologías capaces de mejorar la eficiencia de las operaciones de fractura, se puede considerar:

- ***Coilfrac***

Integración de Coiled Tubing (tubería flexible) y equipos de Fractura. Funciona integrando el Manifold de la unidad de Coiled Tubing con las Bombas y el Misil que permite equilibrar la presión de bombeo de los fluidos a través del tubo flexible. De esta manera se puede reconocer en todo momento la profundidad bajo la cual se trabaja, con un margen de error menor del 1%, lo cual favorece la precisión en la fracturación selectiva de pozos productores de petróleo o de gas.

El proceso de fracturación por tanto consiste en introducir el tubo, una vez organizado todo el equipo y maquinaria necesaria, de tal forma que se alcance la profundidad deseada, momento en el cual se inicia el bombeo de fluidos y sólidos, que generen la fractura deseada. Una vez terminada la etapa o fractura, se reduce la profundidad del tubo y dependiendo del caso se genera otra fractura. El proceso es cíclico hasta que la presión hidrostática se considere demasiado elevada, lo cual lleva a hacer flowback o retirar el tubo del pozo para poder instalar plugs o tapones que aíslen las fracturas generadas (Schlumberger, Coilfrac, 3). En la Figura 31 se ilustra de una forma sencilla la unidad de Coiled Tubing unida a una Bomba de fluidos.

Figura 31. Coilfrac



Fuente: Schlumberger, Coilfrac.

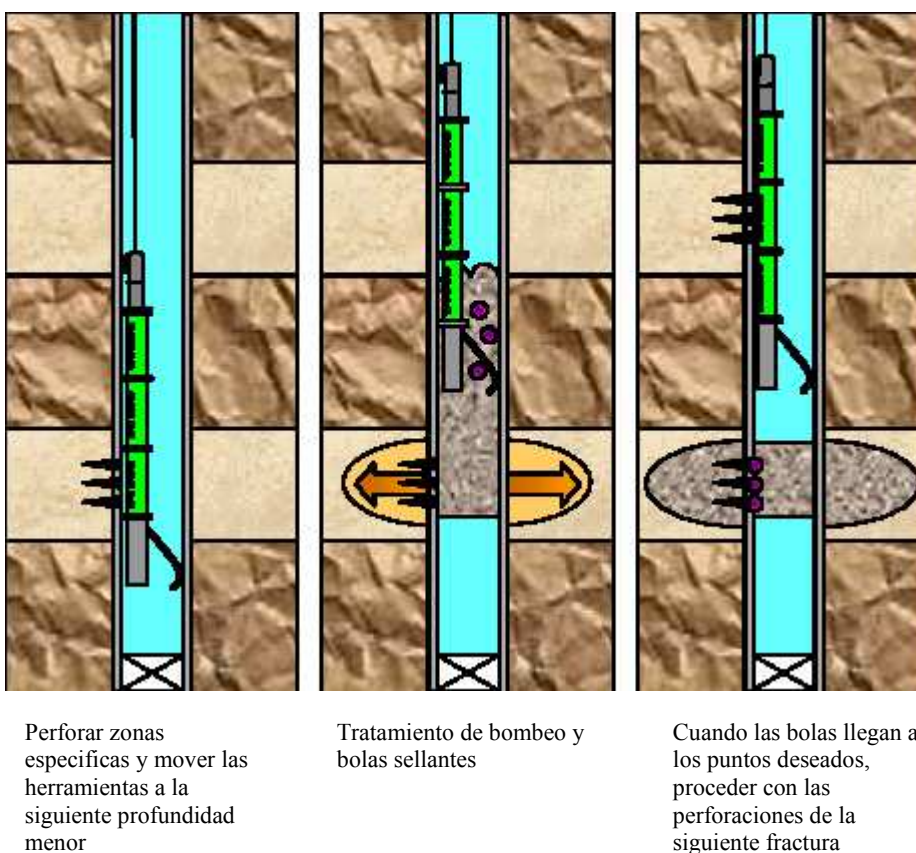
- **JITP / ACT Frac**

Tecnologías desarrolladas por ExxonMobil, publicadas a finales del 2005, en las cuales se continúa trabajando, y donde varias empresas importantes de la industria

han centrado sus esfuerzos por mejorar y hacerlas posibles. JITP (Just in Time Perforation), así como ACT Frac (Annular Coiled Tubing Fracturing), permiten realizar numerosos tratamientos de estimulación en un pozo, con varias zonas de producción en el menor tiempo posible. Esto se logra garantizando la precisión de la profundidad y la capacidad de mantener una elevada tasa de bombeo de fluidos (Lonnes, 1).

El proceso que se lleva a cabo con JITP consiste en estimular zonas individuales con perforaciones a intervalos deseados, para después proceder con el bombeo y colocación de bolas sellantes especiales, que cubren la fractura generada. En la Figura 32 se presenta el proceso de estimulación con JITP (Lonnes, 3).

Figura 32. JITP



Fuente: SPE 95778. *Advanced Multizone Stimulation Technology*



ACT Frac es la evolución de JITP y CoilFrac, donde se involucra herramientas de Wireline que son capaces de realizar las perforaciones, a la tubería flexible provista por Coiled Tubing, unida a la maquinaria necesaria para realizar operaciones de Coil Frac. El proceso de ACT Frac se presenta en la Figura 33.

Figura 33. ACT Frac



Perforar zonas específicas y mover las herramientas a la siguiente profundidad menor

Setear herramientas, inflar plugs y bombear

Mover las herramientas a siguiente profundidad menor, y realizar el mismo proceso.

Fuente: SPE 95778. *Advanced Multizone Stimulation Technology*

### ***Partnership y relaciones con el cliente***

Es indispensable establecer una alianza estratégica que permita a la empresa de servicios petroleros así como al cliente, sacar provecho de sus fortalezas y generar altos niveles de calidad. Para esto se debe trabajar siempre en conjunto para tomar decisiones que afecten alguna de las partes, de tal forma que se genere mayor ingreso comparado a trabajar independientemente. Se podría firmar un contrato, el cual debe ser la base para cualquier

circunstancia legal o resolución explícita, no obstante el aprendizaje en el proceso del día a día debe reforzar la relación de la Cadena de Demanda (Chopra, 34).

A mediano plazo se podría usar tecnología para compartir información, de tal forma que cuando se emita el requerimiento de cualquier tipo de trabajo en un pozo, la solicitud pueda anticiparse electrónicamente, y mediante un workflow se generará el pedido del cliente que debe ser confirmado. Esta plataforma electrónica e-business disminuirá costos y garantizará la satisfacción del cliente. También se podría instalar un sistema para que en cada momento la empresa de servicios petroleros, conozca la situación de todos los pozos en tiempo real, de tal forma que ante cualquier eventualidad se pueda tomar acciones preventivas y planear adecuadamente.

Por otra parte se podría considerar el pricing, con la opción de rebates que puedan extenderse al cliente cuando se alcancen ciertos niveles de rentabilidad en función de volumen de operaciones; es decir, si un cliente firma un contrato para un número considerable de pozos, se puede reducir el precio o se devolver dinero al cliente una vez que se alcancen las metas propuestas.

Cabe resaltar que la sociedad o partnership se debe basar en (Rodríguez):

- La confianza y transparencia.
- Un espíritu ganar - ganar.
- Un excelente desempeño diario.
- El respeto de obligaciones y objetivos.
- Una relación comercial a largo plazo.
- La resolución en común de dificultades.

## Bibliografía

- Banks, Jerry et. al. *Discrete Event System Simulation*. Prentice Hall. 3ra Edición. 2001.
- Berger, W. Anderson, K. *Modern Petroleum - A Basic Primer of the Industry*. Penn Well Publ. Co. 3ra Edición. 1992,
- British Petroleum. *BP statistical review of world energy*. Junio del 2004.
- British Petroleum y Schlumberger (2006). *Maximizing Performance Through 24 Hr Fracturing Efficiency*.
- Cluff, Robert. U.S. Geological Survey Bulletin. "The Origin of Jonah Field, Northern Green River Basin". Wyoming. 2002.
- Chopra, Sunil. Meindl, Peter. *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation*. New Jersey, 2004.
- Dickerson, L. Bureau of Land Management, Pinedale and Rock Springs Office. "*Final Environmental Impact Statement, Jonah Infill Drilling Project*". Obtenido en línea el 01 de agosto del 2006. Disponible en: [www.blm.com](http://www.blm.com).
- Dorado, Christian. "Simulación de Sistemas". Obtenida en línea el 14 de agosto del 2006. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos20/simulacion-sistemas/simulacion-sistemas.shtml>.
- Entrevista: Da-Costa Shado. Ingeniero de Distrito. Rock Springs, Wyoming. Estados Unidos. (11 de agosto del 2006).
- Ferrari, Romina. *Petróleo y Petroquímica*. Obtenido en línea el 12 de septiembre del 2006. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos5/petpe/petpe.shtml>
- Harbaug, J. Davis, C. *Probability Methods in Oil Exploration*. London. 1997.
- Instituto Mexicano del Petróleo. <http://www.imp.mx/petroleo/>. (21 de agosto del 2006).
- Jonah Field. [www.jonahfield.com](http://www.jonahfield.com). (18 de julio del 2006).

Leffler, Matías. “Petróleo”. <http://www.gestiopolis.com/recursos2/documentos/fulldocs/eco/petroleo.htm>. (21 de agosto del 2006).

Lonnes, at al. Exxonmobil. “Advanced Multizone Stimulation Technology”. Society of Petroleum Engineers. SPE 95778. 2005.

Looff, Christian. “La adicción del Siglo XX. Oro Negro: Petróleo”. Obtenida en línea el 14 de agosto del 2006. Disponible en: <http://www.e-libro.net/E-libro-viejo/gratis/petroleo.pdf>.

Mohd Zaki bin Awang. Petronas Carigali Sdn Bhd. *Hydraulic Fracturing. Sharing Information*. Obtenido en línea el 25 de julio del 2006. Disponible en: [www.petronas.com](http://www.petronas.com).

National Energy Foundation. *Understanding Petroleum Exploration and Production*. Salt Lake City, 1995.

Promodel. <http://www.promodel.com.mx/>. (27 de agosto del 2006).

SAP. <http://www.sap.com/spain/solutions/business-suite/scm/benefits/index.epx>. (29 de julio del 2006).

Schlumberger (2002). *Coilfrac: Pinpoint placement to tap bypassed pay zones*. Obtenido en línea el 8 de julio de 2006. Disponible en: [www.slb.com](http://www.slb.com)

Schlumberger (2003). *Coolfrac: Optimized fracturing service for high – permeability frac packs*. Obtenido en línea el 20 de julio de 2006. Disponible en: [www.slb.com](http://www.slb.com)

Schlumberger. *StageFrac*. Obtenido en línea el 16 de julio de 2006. Disponible en: [www.slb.com](http://www.slb.com)

Simulart. “Promodel”. [http://www.simulart.cl/software\\_promodel.htm](http://www.simulart.cl/software_promodel.htm).(27 de agosto del 2006).

Universidad San Francisco de Quito. Colegio Politécnico. Cadena de Demanda. Lorena Rodríguez. 2005.

Universidad San Francisco de Quito. Colegio Politécnico. Ingeniería Industrial. Patricio Cisneros. 2003.

Universidad San Francisco de Quito. Colegio Politécnico. Simulación. Andrés Batallas. 2004.

Von Flatern, Rick. *Fracture fluids in flux*. Obtenido en línea el 02 de septiembre del 2006. Disponible en: <http://www.oilonline.com/news/features/oe/20030305.Fracture.10878.asp>

Wikipedia. “Petróleo”. <http://es.wikipedia.org/wiki/Petr%C3%B3leo>.(21 de agosto del 2006).

Zapatero, Miguel, et al. “Aprovechamiento del metano contenido en las capas de carbón”. Obtenida en línea el 21 de agosto del 2006. Disponible en: <http://www.igme.es/internet/RecursosMinerales/metano/produccion.htm>



```

Setup_time = Setup_time + Tiempo
Tiempo = 0

If Well_number = 1 Then <route 1>
else < if Well_number = 2 Then <route 2>
else route 3>
1   WS_Job   Well_1   FIRST 1   Tiempo = 0
                                           Tiempo = N<2.75,0.2>
                                           Move for Tiempo
                                           Driving_time = Driving_time + Tiempo
                                           Tiempo = 0
2   WS_Job   Well_2   FIRST 1   Tiempo = 0
                                           Tiempo = N<2.75,0.2>
                                           Move for Tiempo
                                           Driving_time = Driving_time + Tiempo
                                           Tiempo = 0
3   WS_Job   Well_3   FIRST 1   Tiempo = 0
                                           Tiempo = N<2.75,0.2>
                                           Move for Tiempo
                                           Driving_time = Driving_time + Tiempo
                                           Tiempo = 0

WS_Job   Well_1   Tiempo = 0
                                           Tiempo = N<3.2,0.2>
                                           Wait <Tiempo>
                                           Rig_up_time = Rig_up_time + Tiempo
                                           Tiempo = 0

                                           Wait N<3,0.4>
                                           Stages = Stages+2

                                           Tiempo = 0
                                           Tiempo = N<2.5,0.2>
                                           Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
                                           Tiempo = 0
                                           1   WS_job_done WS_district FIRST 1   Tiempo = 0
                                           Tiempo = N<2.75,0.2>
                                           Move for Tiempo
                                           Driving_time = Driving_time + Tiempo
                                           Tiempo = 0

WS_Job   Well_2   Tiempo = 0
                                           Tiempo = N<3.2,0.2>
                                           Wait <Tiempo>
                                           Rig_up_time = Rig_up_time + Tiempo
                                           Tiempo = 0

                                           Wait N<3,0.4>
                                           Stages = Stages+2

                                           Tiempo = 0
                                           Tiempo = N<2.5,0.2>
                                           Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
                                           Tiempo = 0
                                           1   WS_job_done WS_district FIRST 1   Tiempo = 0
                                           Tiempo = N<2.75,0.2>
                                           Move for Tiempo
                                           Driving_time = Driving_time + Tiempo
                                           Tiempo = 0

WS_Job   Well_3   Tiempo = 0
                                           Tiempo = N<3.2,0.2>
                                           Wait <Tiempo>
                                           Rig_up_time = Rig_up_time + Tiempo
                                           Tiempo = 0

                                           Wait N<3,0.4>
                                           Stages = Stages+2

                                           Tiempo = 0
                                           Tiempo = N<2.5,0.2>
                                           Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
                                           Tiempo = 0
                                           1   WS_job_done WS_district FIRST 1   Tiempo = 0
                                           Tiempo = N<2.75,0.2>
                                           Move for Tiempo
                                           Driving_time = Driving_time + Tiempo
                                           Tiempo = 0

WS_job_done WS_district Tiempo = 0
                                           Tiempo = N<2,0.2>
                                           Wait <Tiempo>
                                           Managing_time = Managing_time + Tiempo
                                           Tiempo = 0
                                           1   WS_job_done EXIT   FIRST 1

```

```

*****
* Arrivals *
*****
Entity Location Qty each First Time Occurrences Frequency Logic
Preorder WL_Line 1 1 INF U<20,3> Well_number = RR<

```

```

*****
* Attributes *
*****

```

```

ID          Type          Classification
-----
#
#Well 1, Well 2 or Well3
Well_number Integer      Entity

*****
*                               Variables (global)                               *
*****

ID          Type          Initial value  Stats
-----
#
#Count the number of stages worked for the three crews in a month
Stages      Integer      0             Time Series
#
#Counting of the setup time involved
Setup_time  Real            0             Time Series
#
#Counting of the lab time involved
Lab_time    Real            0             Time Series
#
#Counting of the driving time involved
Driving_time Real          0             Time Series
#
#Counting of the time taken to assign
Managing_time Real        0             Time Series
Tiempo     Real            0             Time Series
Rig_up_time Real            0             Time Series
Flow_back_time Real        0             Time Series

```

```

*****
*                               User Distributions                               *
*****

```

## Modelo Distrito con Operaciones Continuas

```

*****
*                               Formatted Listing of Model:                               *
*                               C:\DOCUME~1\INGENI~1\ESCRIT~1\MODELO~1\DISTRI~1.MOD          *
*****

```

Time Units: Hours  
Distance Units: Feet

```

*****
*                               Locations                               *
*****

```

Name	Cap	Units	Stats	Rules	Cost
District	3	1	Time Series	Oldest, , First	
Well_1	1	1	Time Series	Oldest, , First	
Well_2	1	1	Time Series	Oldest, , First	
Well_3	1	1	Time Series	Oldest, , First	
District_line	INFINITE	1	Time Series	Oldest, FIFO,	

```

*****
*                               Entities                               *
*****

```

Name	Speed (fpm)	Stats	Cost
Service_job	150	Time Series	
Service_job_done	150	Time Series	
Prejob	150	Time Series	

```

*****
*                               Processing                               *
*****

```

Entity	Location	Process	Routing		
			Blk	Output	Destination Rule
Prejob	District_line	//Wireline Tiempo = 0 Tiempo = N(2.2,0.4) Wait (Tiempo) Lab_time = Lab_time + Tiempo //Well Services Tiempo = 0 Tiempo = N(1.5,0.2) Wait (Tiempo) Lab_time = Lab_time + Tiempo			
Prejob	District	//Wireline Tiempo = 0 Tiempo = N(0.7,0.2) Wait (Tiempo) Managing_time = Managing_time + Tiempo Tiempo = 0 Tiempo = N(1.5,0.2) Wait (Tiempo) Setup_time = Setup_time + Tiempo Tiempo = 0 //Well Services Tiempo = 0 Tiempo = N(1.0,0.2) Wait (Tiempo) Managing_time = Managing_time + Tiempo Tiempo = 0 Tiempo = N(2.2,0.2) Wait (Tiempo) Setup_time = Setup_time + Tiempo Tiempo = 0 If Well_number = 1 Then (route 1) else ( if Well_number = 2 Then (route 2) else (route 3))	1	Prejob	District FIRST 1
		//WL Tiempo = 0 Tiempo = N(2.25,0.2) Driving_time = Driving_time + Tiempo Tiempo = 0 //WS Tiempo = 0 Tiempo = N(2.75,0.2) Move for Tiempo Driving_time = Driving_time + Tiempo Tiempo = 0 //WL	1	Service_job	Well_1 FIRST 1
		//WL Tiempo = 0 Tiempo = N(2.75,0.2) Move for Tiempo Driving_time = Driving_time + Tiempo Tiempo = 0 //WL	2	Service_job	Well_2 FIRST 1



```

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.25,0.2)
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

//MS

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.75,0.2)
Move for Tiempo
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

Service_job    Well_1    //Trabajo en Conjunto
Tiempo = 0
Tiempo = N(3.2,0.2)
Wait (Tiempo)
Rig_up_time = Rig_up_time + Tiempo
Tiempo = 0
//ciclo
Wait N(3,0.45)
Stages= Stages+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Wait (tiempo)
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N(1.9,0.3)
//fin de ciclo

//ciclo
Wait N(3,0.45)
Stages= Stages+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Wait (tiempo)
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N(1.9,0.3)
//fin de ciclo

//ciclo
Wait N(3,0.45)
Stages= Stages+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Wait (tiempo)
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N(1.9,0.3)
//fin de ciclo

//ciclo
Wait N(3,0.45)
Stages= Stages+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Wait (tiempo)
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N(1.9,0.3)
//fin de ciclo

//ciclo
Wait N(3,0.45)
Stages= Stages+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Wait (tiempo)
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N(1.9,0.3)
//fin de ciclo

1    Service_job_done District    FIRST 1 //WL
Tiempo = 0
Tiempo = N(2.25,0.2)
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

//MS

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.75,0.2)
Move for Tiempo
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

```

```

Service_job Well_2 //Trabajo en Conjunto
Tiempo = 0
Tiempo = N(3,2,0.2)
Wait (Tiempo)
Rig_up_time = Rig_up_time + Tiempo
Tiempo = 0

//ciclo
Wait N(3,0.45)
Stages= Stages+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2,5,0.2)
Wait (tiempo)
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N(1,9,0.3)
//fin de ciclo

//ciclo
Wait N(3,0.45)
Stages= Stages+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2,5,0.2)
Wait (tiempo)
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N(1,9,0.3)
//fin de ciclo

//ciclo
Wait N(3,0.45)
Stages= Stages+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2,5,0.2)
Wait (tiempo)
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N(1,9,0.3)
//fin de ciclo

//ciclo
Wait N(3,0.45)
Stages= Stages+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2,5,0.2)
Wait (tiempo)
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N(1,9,0.3)
//fin de ciclo

//ciclo
Wait N(3,0.45)
Stages= Stages+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2,5,0.2)
Wait (tiempo)
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N(1,9,0.3)
//fin de ciclo

1 Service_job_done District FIRST 1 //AL
Tiempo = 0
Tiempo = N(2,25,0.2)
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

//AS
Tiempo = 0
Tiempo = N(2,75,0.2)
Move for Tiempo
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

```

```

Service_job      Well_3      //Trabajo en Conjunto
Tiempo = 0
Tiempo = N<3.2,0.2>
Wait <Tiempo>
Rig_up_time = Rig_up_time + Tiempo
Tiempo = 0

//ciclo
Wait N<3,0.45>
Stages= Stages+2

Tiempo = 0
Tiempo = N<2.5,0.2>
Wait <tiempo>
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N<1.9,0.3>
//Fin de ciclo

//ciclo
Wait N<3,0.45>
Stages= Stages+2

Tiempo = 0
Tiempo = N<2.5,0.2>
Wait <tiempo>
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N<1.9,0.3>
//fin de ciclo

//ciclo
Wait N<3,0.45>
Stages= Stages+2

Tiempo = 0
Tiempo = N<2.5,0.2>
Wait <tiempo>
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N<1.9,0.3>
//Fin de ciclo

//ciclo
Wait N<3,0.45>
Stages= Stages+2

Tiempo = 0
Tiempo = N<2.5,0.2>
Wait <tiempo>
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N<1.9,0.3>
//Fin de ciclo

//ciclo
Wait N<3,0.45>
Stages= Stages+2

Tiempo = 0
Tiempo = N<2.5,0.2>
Wait <tiempo>
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N<1.9,0.3>
//Fin de ciclo

1      Service_job_done District      FIRST 1 //WL
Tiempo = 0
Tiempo = N<2.25,0.2>
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

//WS
Tiempo = 0
Tiempo = N<2.75,0.2>
Move for Tiempo
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

```

```

Service_job_done District //WL
                          Tiempo = 0
                          Tiempo = N(0.5,0.01)
                          Wait (Tiempo)
                          Managing_time = Managing_time + Tiempo
                          Tiempo = 0
                          //WS
                          Tiempo = 0
                          Tiempo = N(2,0.2)
                          Wait (Tiempo)
                          Managing_time = Managing_time + Tiempo
                          Tiempo = 0
                          1 Service_job_done EXIT FIRST 1
    
```

```

***** Arrivals *****
*
Entity Location Qty each First Time Occurrences Frequency Logic
-----
Prejob District_line 1 1 INF U(20,3) Well_number = RR<
    
```

```

***** Attributes *****
*
ID Type Classification
#
#Well 1, Well 2 or Well3
Well_number Integer Entity
    
```

```

***** Variables (global) *****
*
ID Type Initial value Stats
#
#Count the number of stages worked for the three crews in a month
Stages Integer 0 Time Series
#
#Counting of the setup time involved
Setup_time Real 0 Time Series
#
#Counting of the lab time involved
Lab_time Real 0 Time Series
#
#Counting of the driving time involved
Driving_time Real 0 Time Series
#
#Counting of the time taken to assign
Managing_time Real 0 Time Series
Tiempo Real 0 Time Series
Rig_up_time Real 0 Time Series
Flow_back_time Real 0 Time Series
    
```

```

***** User Distributions *****
*
ID Type Cumulative Percentage Uvalue
RR Discrete No 33% 1
33% 2
34% 3
    
```

## Proceso Tradicional con un pozo.

```

*****
*                                     *
*               Formatted Listing of Model:               *
*               C:\DOCUME~1\INGENI~1\ESCRIT~1\MODELO~1\WELLTR~1.MOD *
*               *                                         *
*****

Time Units:          Hours
Distance Units:     Feet

*****
*                                     *
*                               Locations                    *
*               *                                         *
*****

Name      Cap      Units Stats      Rules      Cost
-----
WL_district 1      1      Time Series Oldest, ,
WS_district 1      1      Time Series Oldest, ,
Well      1      1      Time Series Oldest, ,
WL_line   INFINITE 1      Time Series Oldest, FIFO,
WS_line   INFINITE 1      Time Series Oldest, FIFO,

*****
*                                     *
*                               Entities                    *
*               *                                         *
*****

Name      Speed <fpm>  Stats      Cost
-----
WL_prejob 150          Time Series
WS_prejob 150          Time Series
WS_job    150          Time Series
WL_job    150          Time Series

*****
*                                     *
*                               Path Networks              *
*               *                                         *
*****

Name      Type      I/S      From      To      BI      Dist/Time  Speed Factor
-----
WL_net    Passing    Time      N1      N2      Bi      N<2.25,0.5>
WS_net    Passing    Time      N1      N2      Bi      N<2.75,0.5>

*****
*                                     *
*                               Interfaces                  *
*               *                                         *
*****

Net      Mode      Location
-----
WL_net   N1      WL_district
         N2      Well
WS_net   N1      WS_district
         N2      Well

*****
*                                     *
*                               Resources                  *
*               *                                         *
*****

Name      Units Stats      Res Search  Ent Search  Path      Motion      Cost
-----
WL_crew   1      By Unit  Closest Closest  WL_net     Empty: 150 fpm
         Home: N1  Full: 150 fpm
WS_crew   1      By Unit  Closest Closest  WS_net     Empty: 150 fpm
         Home: N1  Full: 150 fpm

*****
*                                     *
*                               Processing                  *
*               *                                         *
*****

Process                                Routing
Entity  Location  Operation  Blk Output  Destination Rule  Move Logic
-----
WL_prejob WL_line  Tiempo = 0
         Tiempo = N<1.2,0.4>
         Wait <Tiempo>
         Lab_time = Lab_time + Tiempo
         Tiempo = 0
         1  WL_prejob WL_district FIRST 1
WL_prejob WL_district Tiempo = 0
         Tiempo = N<0.7,0.2>
         Wait <Tiempo>
         Managing_time = Managing_time + Tiempo
         Tiempo = 0
         Tiempo = N<1.5,0.2>
         Wait <Tiempo>
         Setup_time = Setup_time + Tiempo
         Tiempo = 0

```

```

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.25,0.2)
Driving_time = Driving_time + Tiempo
WL_job Well 1 WL_job Well FIRST 1 move with WL_crew then free
Tiempo = 0
Wait N(3,0.6)
WL_job WL_district 1 WL_job WL_district FIRST 1 move with WL_crew then free
Tiempo = 0
Tiempo = N(0.5,0.01)
Wait (Tiempo)
Managing_time = Managing_time + Tiempo
WS_prejob WS_line 1 WS_prejob WS_line FIRST 1
Tiempo = 0
Tiempo = N(1.5,0.1)
Wait (Tiempo)
Lab_time = Lab_time + Tiempo
WS_prejob WS_district 1 WS_prejob WS_district FIRST 1
Tiempo = 0
Tiempo = N(1,0.2)
Wait (Tiempo)
Managing_time = Managing_time + Tiempo
Tiempo = 0
Tiempo = N(2.2,0.2)
Wait (Tiempo)
Setup_time = Setup_time + Tiempo
Tiempo = 0
Tiempo = 0
Tiempo = N(2.75,0.2)
Driving_time = Driving_time + Tiempo
WS_job Well 1 WS_job Well FIRST 1 move with WS_crew then free
Tiempo = 0
Tiempo = N(3.2,0.2)
Wait (Tiempo)
Rig_up_time = Rig_up_time + Tiempo
Tiempo = 0
Wait N(3,0.45)
Fracturas = Fracturas+2
Tiempo = 0
Tiempo = N(2.75,0.2)
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0
Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0
WS_job WS_district 1 WS_job WS_district FIRST 1 move with WS_crew then free
Tiempo = 0
Tiempo = N(2,0.2)
Wait (Tiempo)
Managing_time = Managing_time + Tiempo
Tiempo = 0
1 WS_job EXIT FIRST 1

```

\*\*\*\*\*  
\* Arrivals \*  
\*\*\*\*\*

Entity	Location	Qty each	First Time	Occurrences	Frequency	Logic
WL_prejob	WL_line	1		6		U<56,6>

\*\*\*\*\*  
\* Variables (global) \*  
\*\*\*\*\*

ID	Type	Initial value	Stats
Fracturas	Integer	0	Time Series
Setup_time	Real	0	Time Series
Lab_time	Real	0	Time Series
Driving_time	Real	0	Time Series
Managing_time	Real	0	Time Series
Tiempo	Real	0	Time Series
Rig_up_time	Real	0	Time Series
Flow_back_time	Real	0	Time Series

# Proceso de Operaciones continuas de 24 Horas de Fractura con un pozo.

```

*****
* Formatted Listing of Model:
* C:\DOCUME~1\INGENI~1\ESCRIT~1\MODELO~1\WELLOP~1.MOD
*
*****

Time Units:          Hours
Distance Units:     Feet

*****
* Locations
*****

Name      Cap      Units  Stats      Rules      Cost
-----
District  1          1      Time Series Oldest, ,
Well      1          1      Time Series Oldest, ,
Service_line INFINITE 1      Time Series Oldest, FIFO,

*****
* Entities
*****

Name      Speed (fpm)  Stats      Cost
-----
Prejob    150           Time Series
Service_job 150           Time Series

*****
* Path Networks
*****

Name      Type      T/S      From      To      BI      Dist/Time  Speed Factor
-----
Service_net Passing  Time      N1      N2      Bi      N(2.75,0.5)

*****
* Interfaces
*****

Net      Node      Location
-----
Service_net N1      District
           N2      Well

*****
* Resources
*****

Name      Units  Stats      Res      Ent      Path      Motion      Cost
-----
District_crew 1      By Unit  Closest Closest  Service_net Empty: 150 fpm
                                           Home: N1    Full: 150 fpm

*****
* Processing
*****

Process Routing
Entity Location Operation Blk Output Destination Rule Move Logic
-----
Prejob Service_line //Wireline
Tiempo = 0
Tiempo = N(2.2,0.4)
Wait (Tiempo)
Lab_time = Lab_time + Tiempo

//Well Services
Tiempo = 0
Tiempo = N(1.5,0.2)
Wait (Tiempo)
Lab_time = Lab_time + Tiempo

Prejob District //Wireline
Tiempo = 0
Tiempo = N(0.7,0.2)
Wait (Tiempo)
Managing_time = Managing_time + Tiempo

Tiempo = 0
Tiempo = N(1.5,0.2)
Wait (Tiempo)
Setup_time = Setup_time + Tiempo
Tiempo = 0

//Well Services
Tiempo = 0
Tiempo = N(1,0.2)
Wait (Tiempo)
Managing_time = Managing_time + Tiempo
Tiempo = 0

Tiempo = N(2.2,0.2)
Wait (Tiempo)
Setup_time = Setup_time + Tiempo
Tiempo = 0

1 Service_job Well FIRST 1 move with District_crew then free

//WL
Tiempo = 0
Tiempo = N(2.25,0.2)
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

//WS
Tiempo = 0
Tiempo = N(2.75,0.2)
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0
    
```

```

Service_job Well //Trabajo en Conjunto
Tiempo = 0
Tiempo = N(3.2,0.2)
Wait <Tiempo>
Rig_up_time = Rig_up_time + Tiempo
Tiempo = 0

//ciclo
Wait N(3,0.45)
Fracturas = Fracturas+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Wait <tiempo>
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N(1.5,0.4)
//fin de ciclo

//ciclo
Wait N(3,0.45)
Fracturas = Fracturas+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Wait <tiempo>
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N(1.5,0.4)
//fin de ciclo
//ciclo
Wait N(3,0.45)
Fracturas = Fracturas+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Wait <tiempo>
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N(1.5,0.4)
//Fin de ciclo
//ciclo
Wait N(3,0.45)
Fracturas = Fracturas+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Wait <tiempo>
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N(1.5,0.4)
//fin de ciclo
//ciclo
Wait N(3,0.45)
Fracturas = Fracturas+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Wait <tiempo>
Flow_back_time = Flow_back_time + Tiempo
Tiempo = 0

Wait N(1.5,0.4)
//fin de ciclo

1 Service_job District FIRST 1 move with District_crew then free

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.75,0.2)
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.25,0.2)
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

```



```

Service_job District //WL
Tiempo = 0
Tiempo = N<0.5,0.01>
Wait <Tiempo>
Managing_time = Managing_time + Tiempo
Tiempo = 0

//WS
Tiempo = 0
Tiempo = N<2,0.2>
Wait <Tiempo>
Managing_time = Managing_time + Tiempo
Tiempo = 0
1 Service_job EXIT FIRST 1

```

```

*****
* Arrivals *
*****
Entity Location Qty each First Time Occurrences Frequency Logic
-----
Prejob Service_line 1 1 1

```

```

*****
* Variables (global) *
*****

```

ID	Type	Initial value	Stats
Fracturas	Integer	0	Time Series
Setup_time	Real	0	Time Series
Lab_time	Real	0	Time Series
Driving_time	Real	0	Time Series
Managing_time	Real	0	Time Series
Tiempo	Real	0	Time Series
Rig_up_time	Real	0	Time Series
Flow_back_time	Real	0	Time Series

## Proceso de Operaciones continuas de 24 Horas de Fractura con dos pozos.

```

*****
*                               Formatted Listing of Model:                               *
*                               C:\DOCUME~1\INGENI~1\ESCRIT~1\MODELO~1\WELLOP~2.MOD          *
*                               *                                                         *
*****
Time Units:                      Hours
Distance Units:                   Feet

*****
*                               Locations                                                 *
*****
Name      Cap      Units Stats      Rules      Cost
-----
District  1        1      Time Series Oldest, ,
Well      1        1      Time Series Oldest, ,
Service_line INFINITE 1      Time Series Oldest, FIFO,

*****
*                               Entities                                                 *
*****
Name      Speed (fpm)  Stats      Cost
-----
Prejob    150          Time Series
Service_job 150          Time Series

*****
*                               Path Networks                                           *
*****
Name      Type      I/S      From      To      BI      Dist/Time  Speed Factor
-----
Service_net Passing  Time      N1      N2      Bi      N<2.75,0.5>

*****
*                               Interfaces                                               *
*****
Net      Node      Location
-----
Service_net N1      District
Service_net N2      Well

*****
*                               Resources                                               *
*****
Name      Units Stats      Res Search  Ent Search  Path      Motion      Cost
-----
District_crew 1      By Unit  Closest Closest  Service_net Empty: 150 fpm
Home: N1      Full: 150 fpm

*****
*                               Processing                                               *
*****
Process Routing
Entity Location Operation Blk Output Destination Rule Move Logic
-----
Prejob Service_line //Wireline
Tiempo = 0
Tiempo = N<3.2,0.4>
Wait (1.5*Tiempo)
Lab_time = Lab_time + 1.5*Tiempo

//Well Services
Tiempo = 0
Tiempo = N<2.5,0.2>
Wait (1.5*Tiempo)
Lab_time = Lab_time + 1.5*Tiempo

Prejob District //Wireline
Tiempo = 0
Tiempo = N<1,0.2>
Wait (1.5*Tiempo)
Managing_time = Managing_time + 1.5*Tiempo

Tiempo = 0
Tiempo = N<2.2,0.2>
Wait (1.5*Tiempo)
Setup_time = Setup_time + 1.5*Tiempo
Tiempo = 0

//Well Services
Tiempo = 0
Tiempo = N<1.5,0.2>
Wait (1.5*Tiempo)
Managing_time = Managing_time + 1.5*Tiempo
Tiempo = 0

Tiempo = N<3,0.2>
Wait (1.5*Tiempo)
Setup_time = Setup_time + 1.5*Tiempo
Tiempo = 0

1 Service_job Well FIRST 1 move with District_crew then free

//WL
Tiempo = 0
Tiempo = N<2.25,0.2>
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

//WS
Tiempo = 0
Tiempo = N<2.75,0.2>
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0
    
```

```

Service_job Well //Trabajo en Conjunto
Tiempo = 0
Wait N(4,0.2)
Wait (1.5*Tiempo)
Rig_up_time = Rig_up_time + 1.5*Tiempo
Tiempo = 0

//ciclo
Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Flow_back_time = Flow_back_time + 2*Tiempo
Tiempo = 0

Driving_time = Driving_time + 0.25
//fin de ciclo

//ciclo
Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Flow_back_time = Flow_back_time + 2*Tiempo
Tiempo = 0

Driving_time = Driving_time + 0.25
//fin de ciclo

//ciclo
Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Flow_back_time = Flow_back_time + 2*Tiempo
Tiempo = 0

Driving_time = Driving_time + 0.25
//fin de ciclo

//ciclo
Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Flow_back_time = Flow_back_time + 2*Tiempo
Tiempo = 0

Driving_time = Driving_time + 0.25
//fin de ciclo

//ciclo
Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Flow_back_time = Flow_back_time + 2*Tiempo
Tiempo = 0

Driving_time = Driving_time + 0.25
//fin de ciclo

FIRST 1 move with District_crew then free

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.75,0.2)
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.25,0.2)
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

```

```

Service_job District //WL
Tiempo = 0
Tiempo = N(1.5,0.01)
Wait (2*Tiempo)
Managing_time = Managing_time + 2*Tiempo
Tiempo = 0

//WS
Tiempo = 0
Tiempo = N(4,0.2)
Wait (2*Tiempo)
Managing_time = Managing_time + 2*Tiempo
Tiempo = 0
1 Service_job EXIT FIRST 1
*****
* Arrivals *
*****
Entity Location Qty each First Time Occurrences Frequency Logic
-----
Prejob Service_line 1 1 1
*****
* Variables (global) *
*****
ID Type Initial value Stats
-----
Fracturas Integer 0 Time Series
Setup_time Real 0 Time Series
Lab_time Real 0 Time Series
Driving_time Real 0 Time Series
Managing_time Real 0 Time Series
Tiempo Real 0 Time Series
Rig_up_time Real 0 Time Series
Flow_back_time Real 0 Time Series

```

# Proceso de Operaciones continuas de 24 Horas de Fractura con tres pozos.

```

*****
*                               Formatted Listing of Model:                               *
*                               C:\DOCUME~1\INGENI~1\ESCRIT~1\MODELO~1\WELLOP~3.MOD          *
*                               *                                                         *
*****
Time Units:                      Hours
Distance Units:                   Feet

*****
*                               Locations                                                 *
*****
Name          Cap      Units Stats      Rules          Cost
-----
District      1        1      Time Series Oldest, ,
Well          1        1      Time Series Oldest, ,
Service_line  INFINITE 1      Time Series Oldest, FIFO,

*****
*                               Entities                                                 *
*****
Name          Speed <fpm>  Stats      Cost
-----
Pre_job      150          Time Series
Service_job  150          Time Series

*****
*                               Path Networks                                           *
*****
Name          Type          I/S          From      To      BI      Dist/Time  Speed Factor
-----
Service_net  Passing      Time          N1        N2        Bi      0.32

*****
*                               Interfaces                                               *
*****
Net          Node          Location
-----
Service_net  N1          District
Service_net  N2          Well

*****
*                               Resources                                               *
*****
Name          Units Stats      Res      Ent      Path      Motion      Cost
-----
District_crew 1      By Unit Closest Closest Service_net Empty: 150 fpm
Home: N1      Full: 150 fpm

*****
*                               Processing                                               *
*****
*                               Process                                               *
*                               Routing                                               *
Entity      Location  Operation      Blk  Output  Destination Rule  Move Logic
-----
Pre_job     Service_line //Wireline
Tiempo = 0
Tiempo = N(3.2,0.4)
Wait (2.4*Tiempo)
Lab_time = Lab_time + 2.4*Tiempo

//Well Services
Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Wait (2.4*Tiempo)
Lab_time = Lab_time + 2.4*Tiempo

Pre_job     District //Wireline
Tiempo = 0
Tiempo = N(1,0.2)
Wait (2.4*Tiempo)
Managing_time = Managing_time + 2.4*Tiempo

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.2,0.2)
Wait (2.4*Tiempo)
Setup_time = Setup_time + 2.4*Tiempo
Tiempo = 0

//Well Services
Tiempo = 0
Tiempo = N(1.5,0.2)
Wait (2.4*Tiempo)
Managing_time = Managing_time + 2.4*Tiempo
Tiempo = 0

Tiempo = N(3,0.2)
Wait (2.4*Tiempo)
Setup_time = Setup_time + 2.4*Tiempo
Tiempo = 0

1      Service_job Well  FIRST 1 move with District_crew then free

//WL
Tiempo = 0
Tiempo = N(2.25,0.2)
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

//WS
Tiempo = 0
Tiempo = N(2.75,0.2)
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

```

```

Service_job Well //Trabajo en Conjunto
Tiempo = 0
Tiempo = N(4,0.2)
Wait (2*Tiempo)
Rig_up_time = Rig_up_time + 2*Tiempo
Tiempo = 0

//ciclo
Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Flow_back_time = Flow_back_time + 3*Tiempo
Tiempo = 0
//Fin de ciclo

//ciclo
Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Flow_back_time = Flow_back_time + 3*Tiempo
Tiempo = 0
//fin de ciclo

//ciclo
Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Flow_back_time = Flow_back_time + 3*Tiempo
Tiempo = 0
//fin de ciclo

//ciclo
Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Wait N(3,0.25)
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Tiempo = 0
Tiempo = N(2.5,0.2)
Flow_back_time = Flow_back_time + 3*Tiempo
Tiempo = 0
//fin de ciclo

```

```

//ciclo
Wait N<3,0.25>
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Wait N<3,0.25>
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Wait N<3,0.25>
Fracturas = Fracturas+2

Driving_time = Driving_time + 0.25

Tiempo = 0
Tiempo = N<2.5,0.2>
Flow_back_time = Flow_back_time + 3*Tiempo
Tiempo = 0
//fin de ciclo      1      Service_job District      FIRST 1      move with District_crew then free

Tiempo = 0
Tiempo = N<2.75,0.2>
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

Tiempo = 0
Tiempo = N<2.25,0.2>
Driving_time = Driving_time + Tiempo
Tiempo = 0

Service_job District      //WL
Tiempo = 0
Tiempo = N<1.5,0.01>
Wait <2.5*Tiempo>
Managing_time = Managing_time + 2.5*Tiempo
Tiempo = 0

//WS
Tiempo = 0
Tiempo = N<4,0.2>
Wait <2.5*Tiempo>
Managing_time = Managing_time + 2.5*Tiempo
Tiempo = 0      1      Service_job EXIT      FIRST 1

***** Arrivals *****
*
Entity Location Qty each First Time Occurrences Frequency Logic
-----
Prejob Service_line 1 1 1

***** Variables (global) *****
*
ID Type Initial value Stats
-----
Fracturas Integer 0 Time Series
Setup_time Real 0 Time Series
Lab_time Real 0 Time Series
Driving_time Real 0 Time Series
Managing_time Real 0 Time Series
Tiempo Real 0 Time Series
Rig_up_time Real 0 Time Series
Flow_back_time Real 0 Time Series

```