



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA.  
INGENIERÍA EN EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE RECURSOS  
NATURALES, PERFORACIÓN.

**IMPACTO ECONÓMICO DE LOS TIEMPOS PERDIDOS INVISIBLES EN LA  
PERFORACIÓN DE POZOS EN AGUAS PROFUNDAS Y ULTRA PROFUNDAS EN  
MÉXICO**

**TESIS**  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
**GÚMARO ANTONIO GUZMÁN ARAIZA**

TUTOR PRINCIPAL:  
**M. EN I. ANTONIO SANCHEZ PEREZ**  
FACULTAD DE INGENIERÍA.

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX., NOVIEMBRE 2017**

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Erick Luna Rojero  
Secretario: M.C. David Escobedo Zenil.  
Vocal 1: M. en I. Antonio Sánchez Pérez.  
Vocal 2: Dr. Daniel García Gavito.  
Vocal 3: M. en I. Noé Santillan Piña.

Ciudad Universitaria, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX.

TUTOR DE TESIS

M. en I. Antonio Sánchez Pérez.

-----

FIRMA

## CONTENIDO

**Agradecimientos**

**Lista de Tablas**

**Lista de Figuras**

**Nomenclatura**

**INTRODUCCIÓN**

<b>CAPITULO 1 ANTECEDENTES.....</b>	<b>14</b>
1.1 EVOLUCIÓN DE LA PERFORACIÓN DE POZOS EN AGUAS PROFUNDAS Y ULTRA PROFUNDAS. ....	15
1.2 DEFINICIÓN DE TIEMPOS PRODUCTIVOS Y NO PRODUCTIVOS. ....	18
1.3 ORIGEN DE LOS KPI.....	20
<b>CAPITULO 2 REVISIÓN DE LA LITERATURA.....</b>	<b>23</b>
2.1 OPTIMIZACIÓN DE LA PERFORACIÓN. ....	25
2.2 PASOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PERFORACIÓN. ....	26
2.3 IMPORTANCIA DE MEDIR, CLASIFICAR Y EVALUAR LA INFORMACIÓN DE LOS POZOS.....	27
2.4 BENEFICIO EN IDENTIFICAR LOS TIEMPOS INVISIBLES.....	28
<b>CAPITULO 3 PROTOCOLO DE OPTIMIZACIÓN DE LA PERFORACIÓN.....</b>	<b>30</b>
3.1 ESTADO DEL ARTE DE LOS CENTROS DE MONITOREO A TIEMPO REAL Y DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO. ....	31
3.1.1 CENTROS DE MONITOREO A TIEMPO REAL (CMTR). ....	31
3.1.1.1 ENVÍO, RECEPCIÓN E INTERPRETACIÓN.....	33
3.1.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	36
3.1.2.1 PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	36
3.1.2.2 HISTOGRAMAS.....	37
3.1.2.3 PERCENTILES .....	39
3.2 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN. ....	40
3.3 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS. ....	49
3.3.1 RECABAR PARÁMETROS OPERATIVOS DEL KPI DE LOS CMTR.....	51
3.3.2 DEPURAR LA INFORMACIÓN RECABADA DE LOS CMTR.....	51
3.3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE “TIEMPO”. ....	52
3.3.4 CÁLCULO DEL INDICADOR DEL KPI Y DEL TIEMPO INVISIBLE POR CADA POZO Y CUADRILLA DE CADA PLATAFORMA. ....	59
<b>CAPITULO 4 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO.....</b>	<b>65</b>
4.1 ANÁLISIS DEL ARMADO E INTRODUCCIÓN DEL RISER. ....	67
4.1.1 ANÁLISIS POR CUADRILLAS DE LA PLATAFORMA.....	71
4.2 ANÁLISIS DEL ARMADO E INTRODUCCIÓN DE LA TR DE 9 7/8-9 5/8 PG. ....	73
4.2.1 ANÁLISIS POR CUADRILLA DE LA PLATAFORMA.....	78
4.3 RESUMEN DEL ANÁLISIS DEL ARMADO E INTRODUCCIÓN DE LOS TUBULARES AL POZO. ....	83
<b>CAPITULO 5 CONCLUSIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>APENDICE A TABLAS DE PARAMETROS OPERATIVOS DE LAS OPERACIONES CRÍTICAS.....</b>	<b>90</b>

**APENDICE B HISTOGRAMAS DEL ANALISIS DE TIEMPOS DE LAS OPERACIONES CRITICAS**

(KPI'S) .....	95
BIBLIOGRAFIA.....	111

---

## *I. Agradecimientos*

---

Dios.

Gracias te doy por la familia que me has dado y a ti te dedico éste trabajo que sin tus bendiciones nunca hubiera logrado conseguir.

A mi esposa Alicia.

Gracias por no permitir que abandonara una de mis metas y por impulsarme a que la consiguiera. Tu amor y confianza fueron el pilar para seguir siempre adelante en este proyecto, has sido y seguirás siendo mi inspiración para ser una mejor persona.

Te amo.

Héctor G. Guzmán y Adrián Guzmán.

Hijos, sus pequeñas sonrisas fueron el motor que me impulsaron a siempre seguir adelante con éste trabajo, espero sirva de inspiración en un futuro para que siempre alcancen las metas que se propongan en su vida.

Patricia R. Araiza y Gúmaro A. Guzmán†

Sus consejos y enseñanzas me dieron las bases para lograr las metas que me he propuesto. Madre tus palabras de aliento siempre me han acompañado y me han dado fuerzas para siempre ponerme en pie cuando tropiezo. Padre†, gracias por hacerme el hombre que ahora soy.

Quiero agradecer muy especialmente a los ingenieros Luis Carrillo y Héctor Suárez por el apoyo y facilidades que me brindaron para terminar con este trabajo.

---

*II. Lista de Tablas.*

---

Tabla 1	Parámetros de fondo y superficie que se monitorean.	21
Tabla 2	Ejemplo de parámetros registrados en el pozo.	41
Tabla 3	Metodología para determinar tiempos invisibles.	45
Tabla 4	Selección de pozos para su análisis.	50
Tabla 5	Cálculo del KPI y por etapa. Pozo Mi-1.	60
Tabla 6	Cálculo del KPI por cuadrilla y etapa. Pozo Mi-1.	61
Tabla 7	Tiempo invisible e impacto económico por etapa. Pozo Mi-1.	62
Tabla 8	Operaciones críticas vs KPI.	67
Tabla 9	Resultado estadístico en el armado e introducción del riser.	68
Tabla 10	Resultados de tiempos perdido invisibles por tipo de conexión.	70
Tabla 11	Índice de tiempo invisible por cuadrilla vs tipo de conexión.	72
Tabla 12	KPI, armado e introducción de TR 9 7/8 – 9 5/8 pg.	74
Tabla 13	Análisis de los KPI por cuadrilla TR 9 7/8 – 9 5/8 pg.	79
Tabla 14	Impacto económico por etapa de pozo / plataforma.	83
Tabla 15	Tiempo perdido invisible / impacto económico.	84
Tabla 16	Porcentaje de información por pozo.	86
Tabla 17	Parámetros de armado e introducción del riser. Pozo Mi-1.	91
Tabla 18	Parámetros de armado e introducción de la TR 14 pg. Pozo Mi-1.	92
Tabla 19	Datos depurados del riser. Pozo Mi-1.	93
Tabla 20	Datos depurados TR de 14 pg. Pozo M-1.	94

---

*III. Lista de Figuras.*

---

Fig.1	Gráfica de tiempos programados (azul) vs reales (roja).	16
Fig. 2	Centro de monitoreo a tiempo real y grupo multidisciplinario.	17
Fig.3	Clasificación de tiempos.	18
Fig.4	Nueva visión en la clasificación de tiempos de un pozo.	19
Fig.5	Cadena de valor de los CMTR.	33
Fig.6	Generación, envío y recepción de datos del pozo en tierra.	34
Fig.7	Modelos actualizados en los CMTR con la información del pozo.	35
Fig.8	Forma de un histograma.	37
Fig.9	Representación de los percentiles.	39
Fig.10	Secuencia metodológica.	42
Fig.11	Histograma: armar y meter riser. Pozo Mi-1, plataforma LM.	54
Fig.12	Histograma: armar y meter riser cuadrilla de 00-12. Pozo Mi-1, plataforma LM.	54
Fig.13	Histograma: armar y meter riser cuadrilla de 12-24. Pozo Mi-1, plataforma LM.	55
Fig.14	Histograma: armar y meter TR 14 pg. Pozo Mi-1, plataforma LM.	56
Fig.15	Histograma: armar y meter TR 14 pg tramo por tramo, cuadrilla 00-12. Pozo Mi-1, plataforma LM.	56
Fig.16	Histograma: armar y meter TR 14 pg tramo por tramo, cuadrilla 12-24. Pozo Mi-1, plataforma LM.	57
Fig.17	Histograma: meter TR 14 pg por lingadas de TP. Pozo Mi-1, plataforma LM.	57
Fig.18	Histograma: Meter TR 14 pg por lingadas de TP cuadrilla de 00-12. Pozo Mi-1, plataforma LM.	58
Fig.19	Histograma: meter TR 14 pg con TP cuadrilla de 12-24. Pozo Mi-1, plataforma LM.	59

---

Fig.20.	Tiempo invisible e impacto económico por etapa. Pozo Mi-1, plataforma LM.	63
Fig.21	Tiempo total perdido por pozo vs impacto económico.	69
Fig.22	Tiempos invisibles promedio por plataforma vs tipo de conexión.	70
Fig.23	Ahorro potencial Vs número de pozos analizados por año de intervención.	71
Fig.24	Tiempos perdidos invisibles por cuadrilla Vs plataforma / pozo.	73
Fig.25	Tiempo perdido invisible vs KPI vs pozo perforado / plataforma "SS", TR 9 7/8 – 9 5/8 pg.	75
Fig.26	Análisis de Actividades "meter TR x Ling" vs "armar y meter TR TxT".	76
Fig.27	Gráfica de tiempo invisible perdido total Vs impacto económico, TR 9 7/8 – 9 5/8 pg.	77
Fig.28	Eficiencia de cuadrillas Vs KPI por pozo. TR 9 7/8 – 9 5/8 pg.	80
Fig.29	Impacto económico/cuadrillas/pozo y plataforma, TR 9 7/8 – 9 5/8pg.	81
Fig.30	Tiempo invisible perdido total vs impacto económico por pozo.	85
Fig. 31	Análisis Riser y TR 13 5/8 del Pozo A-1.	96
Fig. 32	Análisis TR's 13 5/8 y 9 5/8 del Pozo A-1.	96
Fig. 33	Análisis Riser y 13 5/8 del Pozo C-1.	97
Fig. 34	Análisis Riser y TR's 20, 13 5/8 y 9 5/8 del Pozo E-101.	97
Fig. 35	Análisis Riser y 20 del Pozo L-11.	98
Fig. 36	Análisis TR's 13 5/8 y 10 3/4 del Pozo L-11.	98
Fig. 37	Análisis TR's 10 3/4 y 9 5/8 del Pozo L-11.	99
Fig. 38	Análisis Riser y 20 del Pozo L-32.	99
Fig. 39	Análisis TR's 20 y 16 del Pozo L-32.	100
Fig. 40	Análisis TR's 16 y 13 5/8 del Pozo L-32.	100
Fig. 41	Análisis 13 5/8 del Pozo L-32.	101
Fig. 42	Análisis TR's 10 3/4 y 9 5/8 del Pozo L-32.	101
Fig. 43	Análisis 9 5/8 del Pozo L-32.	102
Fig. 44	Análisis Riser y TR 9 7/8 del Pozo M-1DL.	102
Fig. 45	Análisis 28 del Pozo M-1DL.	103
Fig. 46	Análisis 22 del Pozo M-1DL.	103

---

Fig. 47	Análisis 18 del Pozo M-1DL.	104
Fig. 48	Análisis TR´s 18 y 16 del Pozo M-1DL.	104
Fig. 49	Análisis TR´s 16 y 13 5/8 del Pozo M-1DL.	105
Fig. 50	Análisis 13 5/8 del Pozo M-1DL.	105
Fig. 51	Análisis 11 ¾ del Pozo M-1DL.	106
Fig. 52	Análisis Riser y TR 22 del Pozo N-1DL.	106
Fig. 53	Análisis 22 y 13 5/8 del Pozo N-1DL.	107
Fig. 54	Análisis 9 5/8 del Pozo N-1DL y 13 5/8 del Pozo N-1.	107
Fig. 55	Análisis 9 5/8 del Pozo N-1.	108
Fig. 56	Análisis Riser y TR 13 5/8 del Pozo T-1.	108
Fig. 57	Análisis TR´s 13 5/8 y 11 7/8 del Pozo T-1.	109
Fig. 58	Análisis 11 7/8 del Pozo T-1.	109
Fig. 59	Análisis Riser y 13 5/8 del Pozo V-1.	110

---

#### IV. Nomenclatura

---

<b>VARIABLE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDADES</b>
BE.	Beneficio económico.	(USD)
C.R.E.	Costo de renta del equipo de perforación.	(USD/día)
ITI	Índice de tiempo invisible.	(min/tramo)
N. Even..	Número de evento.	ADIM
P50.	Percentil 50, corresponde al 50% de los datos de la muestra.	(min/tramo)
ROP	Ritmo de penetración.	(min)
T <sub>BHA</sub>	Tiempo de armado del BHA.	(min)
TC <sub>1</sub>	Tiempo de conexión.	(min)
TC <sub>2</sub>	Tiempo de circulación.	(min)
TI	Tiempo invisible.	(min)
T <sub>jeteo</sub>	Tiempo de jeteo.	(min)
T <sub>PROM.</sub>	Tiempo promedio.	(min/tramo)
T <sub>rebajar</sub>	Tiempo de molienda de cemento.	(min)
T <sub>repaso</sub>	Tiempo de rimado o de repaso de agujero.	(min)
T <sub>Riser</sub>	Tiempo de introducción del Riser.	(min)
T <sub>TR</sub>	Tiempo de introducción de TR.	(min)
T <sub>v</sub>	Tiempo de viaje en agujero entubado.	(min)

## DEFINICIONES

BHA	Aparejo de fondo de una sarta de una sarta de perforación.
CMTR	Centro de monitoreo a tiempo real.
Subsea	Personal especialista en equipo submarino a bordo de una instalación de perforación para aguas profundas.
FEL	Metodología de un grupo multidisciplinario para la planeación del desarrollo del campo.
NPT(s)	Tiempos no productivos.
KPI	Indicador de desempeño.
Lingada(s)	Tres o cuatro tuberías armadas y colocadas en el changuero o área de maniobras para estibar tubería de la plataforma.
Landing string.	Tubería que se emplea en pozos de aguas profundas para bajar TR de diámetro grande, cuyo peso compromete a la tubería de trabajo.
Moon Pool	Área de maniobras en una plataforma semi sumergible o barco perforador, para las herramientas subsea.
Riser	Tubular que se emplea en pozos de perforación en aguas profundas para permitir el retorno del lodo del Lecho marino a la superficie.
ROV	Vehículo de inspección remota (Remote Operated Vehicle)
P	Percentil.
“SS”	Semi sumergible.
T.A.	Tirante de agua.
TR	Tubería de revestimiento.
VCD	Equipo multidisciplinario para la planeación del proyecto pozo, (visualización, conceptualización y definición).
VCDSE	Evolución del VCD, añadiendo la “SE”, seguimiento y evaluación del proyecto pozo.
WITS	Sistema de transferencia de información.

---

## V. INTRODUCCIÓN

---

En este trabajo se demuestra la relevancia que tiene, no sólo, el monitoreo de las operaciones a tiempo real, sino la importancia de analizar los datos por especialistas en perforación, quienes son capaces de determinar, mediante métodos de estadística descriptiva y herramientas probabilísticas, los tiempos invisibles que se pierden en cada una de las operaciones que se llevan a cabo a bordo de las plataformas que perforan pozos petroleros.

Para mostrar lo anterior, se desarrolló una metodología de estudio, con la cual se analizaron las etapas de 11 pozos perforados en aguas profundas y ultra profundas, la cual tiene como base seleccionar indicadores de desempeño (KPI) que deben estar alineados a los objetivos de la empresa para lograr una optimización del proceso de perforación, los cuales se mencionan a continuación:

- Armar y meter riser.
- Armar y meter tubería de revestimiento tramo por tramo.
- Meter tubería de revestimiento por lingadas.
- Meter tubería de revestimiento por lingadas de tubería de perforación.

Con el apoyo de la metodología y con los KPI seleccionados, se logró, no sólo demostrar el tiempo total perdido por pozo en todas sus etapas analizadas, sino que también su impacto económico que representó para la empresa dichos tiempos. Así como también, en algunos casos, determinar un indicador que sirva como referencia para evaluar el desempeño de éstas operaciones en pozos futuros. Finalmente, también se identificaron las cuadrillas, por plataforma y etapa, que presentan la mayor área de oportunidad y las que tienen la mejor eficiencia en cada una de las operaciones analizadas.

---

## *VI. INTRODUCTION*

---

This work shows the relevance of both the real time operations monitoring and the importance of the data analysis by drilling specialists, who are capable of determining the invisible times lost in each of the operations performed on board the rigs drilling oil wells by using descriptive statistical methods and probabilistic tools.

In order to prove the above, a study methodology was developed, analyzing stages on 11 wells drilled in Deep and Ultradeep waters, based on the selection of performance indicators (KPI) which have to be aligned with the company goals in order to achieve the drilling process optimization in the drilling process as listed below:

- Rig up and run riser.
- Rig up and run casing joint by joint.
- Run casing by stand.
- Run casing by drill pipe stand.

With support from methodology and selected KPI, it was possible not to only demonstrate the total of time lost per well but also the economic impact those times had on the company. Likewise, in some cases determine an indicator serving as reference for the evaluation of these operations in future wells. Finally, crews were identified by rig and stage representing the biggest area of opportunity and those being more efficient in each of the analyzed operations.

## CAPITULO 1

# ANTECEDENTES.

---

## ANTECEDENTES

---

### **1.1 Evolución de la Perforación de Pozos en Aguas Profundas y Ultra Profundas.**

La perforación de pozos en aguas profundas y ultra profundas es por excelencia una actividad que demanda un alto costo económico para las compañías petroleras a nivel mundial, por lo que desde hace poco más de 10 años la visión que se tenía de la perforación se ha venido transformando. Hoy en día podemos hablar de dos tipos de visión de la industria de perforación: la conservadora y la innovadora.

La conservadora se caracteriza en que los ingenieros y especialistas estaban más preocupados por perfeccionar las técnicas de perforación en materia de hidráulica, trayectoria direccional, de cementación, asentamientos de tuberías de revestimiento (TR), interpretación de cubos sísmicos, interpretaciones geológicas, modelos geomecánica y de geopresiones, por mencionar algunas de las variables que pensaban eran la clave para abatir los altos costos asociados a los tiempos de ejecución, así como el apego a las mejores prácticas para perforar. Lo anterior dio inicio al nacimiento de la metodología FEL y VCD que dieron como resultado el trabajo en grupos multidisciplinarios en los cuales los diferentes especialistas del área de geociencias, así como de yacimientos, de producción y de perforación trabajaban juntos para generar un programa de diseño lo más apegado a las condiciones reales del pozo.

La visión innovadora se caracteriza por la constante búsqueda de la mejora continua tanto en el diseño de pozos como en la ejecución operación del día con día, e inicia con la renovación del FEL y del VCD, éste último se convierte a VCDSE, para el caso de Petróleos Mexicanos, lo que permitió abatir los tiempos y costos del proyecto pozo.

Sin embargo, a pesar del éxito alcanzado y con los cambios, en el mercado internacional del precio del barril de petróleo y aunado a la falta de especialistas en el área de perforación para realizar tareas de supervisión a bordo de las plataformas, los tiempos empleados para perforar un pozo seguían por arriba de lo programado y en el mejor de los casos, ligeramente menores o iguales. En la Fig.1 se muestran unas gráficas de profundidad contra tiempo, en donde se observa que el pozo L-11 presenta un tiempo real superior al programado, mientras que los pozos L-32 y E-101 presentan tiempos reales por debajo a los programados. Sin embargo, en los tres pozos existen áreas de mejora en sus tiempos de ejecución en diversas etapas ya que los tiempos reales superan a lo programado.

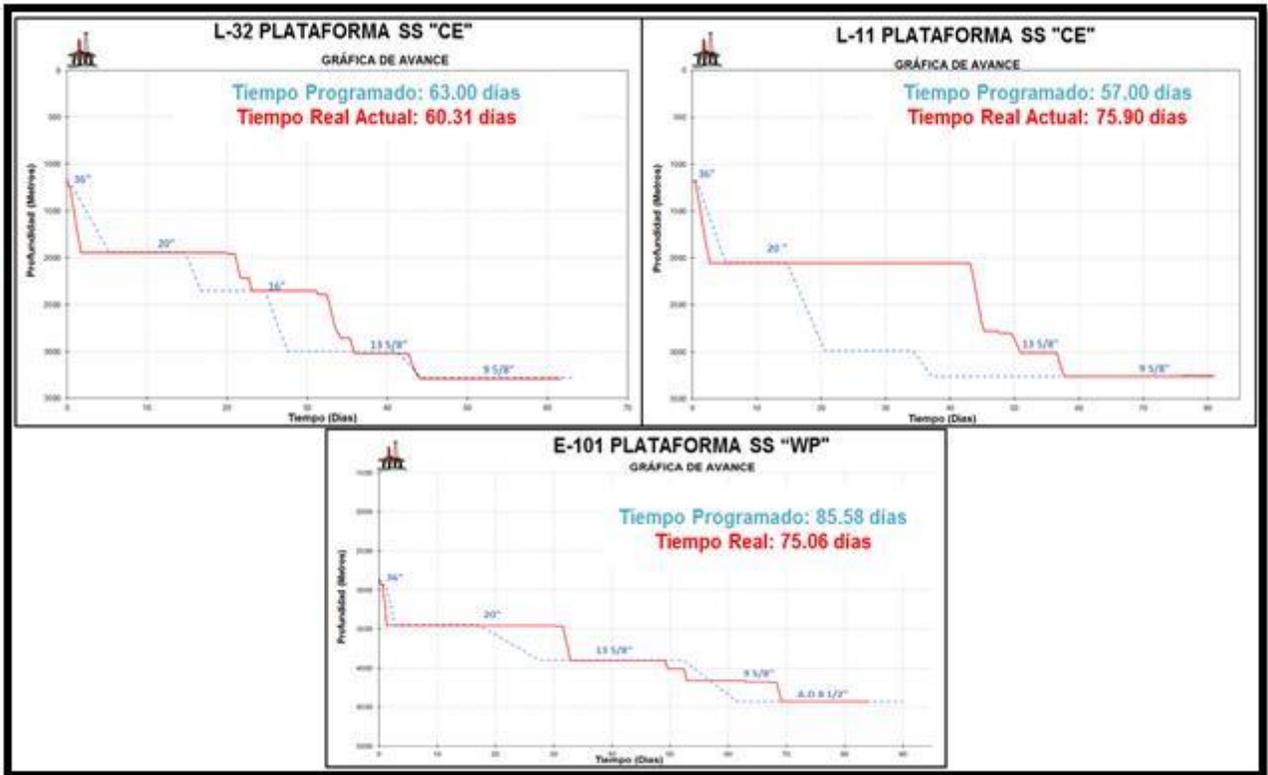


Fig.1 Gráficas de tiempos programados (azul) vs reales (roja).

Una vez que los profesionistas se dieron cuenta que no bastaba con los esfuerzos realizados anteriormente y que con el desarrollo de nuevas tecnologías tampoco era suficiente para abatir de manera considerable los tiempos, fue hasta entonces que se comenzó a pensar en una forma diferente de trabajar en donde se suplieran las carencias de ingenieros experimentados a bordo de plataforma y se aprovechara el conocimiento de los mismos en tierra, de esta forma surgieron los centros de monitoreo a tiempo real (CMTR) en donde los especialistas reciben, depuran y analizan la información proveniente de los pozos, empleando herramientas de riesgo y de estadística para darle un mayor sustento a las tendencias observadas durante la ejecución de pozos y de ésta forma tener los elementos más precisos para la toma de decisiones en tiempo real. En la Fig.2 se muestra un centro de monitoreo a tiempo real y el trabajo del grupo multidisciplinario.



Fig.2 Centro de monitoreo a tiempo real y grupo multidisciplinario.

## 1.2 Definición de Tiempos Productivos y no Productivos.

A medida que se han analizado los tiempos de perforación con mayor detenimiento, gracias a los avances tecnológicos y con el empleo de nuevas técnicas de análisis, han surgido diferentes clasificaciones de los mismos. Por ejemplo, de acuerdo a Thonhauser y Mathis [15] los tiempos reales que se emplean para perforar un pozo generalmente son diferentes a los tiempos programados, debido a los tiempos perdidos, y establece la clasificación que se muestra en la Fig.3 en donde observamos que existen dos tipos de tiempos: normales y no productivos, en éstos últimos aparecen los problemas y las esperas, siendo los normales todos aquellos que no generan paros de equipo ni esperas.

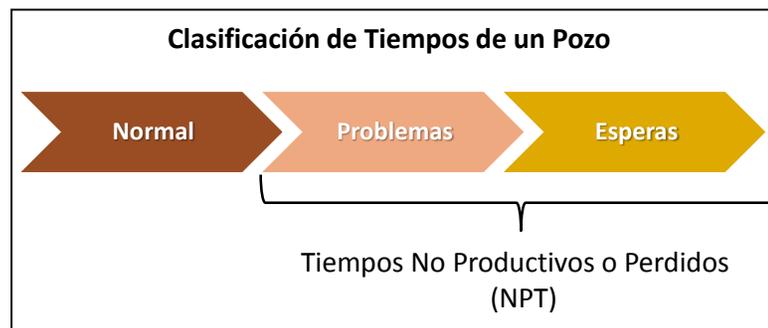


Fig.3 Clasificación de tiempos.

Bond [9] estableció una clasificación que consiste en dividir a los tiempos normales en dos: tiempos programados de perforación y tiempos perdidos invisibles. En los primeros están todas aquellas actividades que no suspenden la actividad de perforación, y los tiempos invisibles son actividades que, aunque no suspenden la operación generan retrasos operativos ya sea por falta de capacitación del personal, falla de las herramientas o por no aplicar correctamente las mejores prácticas operativas. En esta clasificación, también se agrupan a los tiempos con esperas, problemas y fallasen uno sólo, tiempos no productivos.

En la Fig.4 se muestra éste tipo clasificación en donde se observa que los tiempos normales o productivos se pueden mejorar con la incorporación de nuevas herramientas o de nuevas tecnologías, pero sobre todo con el monitoreo de las operaciones realizadas a bordo de las plataformas, así como, su correcta interpretación y es aquí en donde se presenta el mayor reto para la optimización del proyecto pozo ya que es donde se encuentran los tiempos invisibles y en México apenas se comienza a mirar la implementación del monitoreo y análisis a tiempo real con especialistas en perforación. Por otro lado, vemos que los tiempos no productivos tiene una componente en las esperas que se refiere a las malas condiciones climatológicas, la cual es la única variable que no se puede eliminar, pero si reducir.

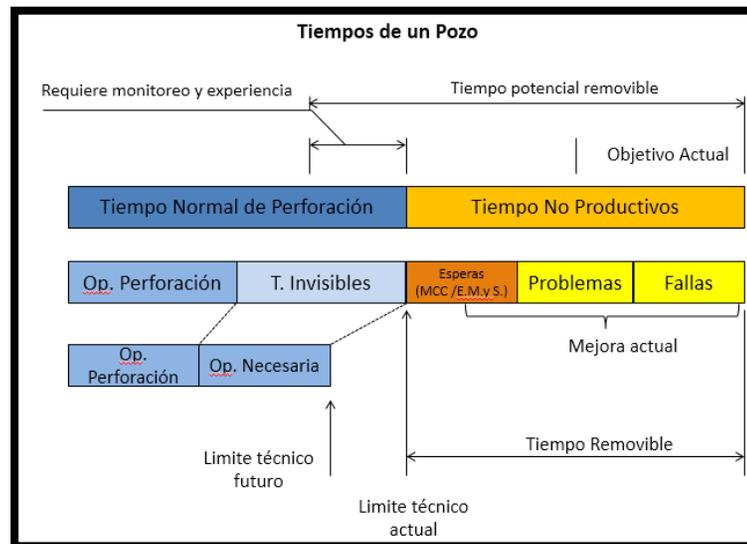


Fig.4 Nueva visión en la clasificación de tiempos de un pozo.

El impacto de los tiempos perdidos invisibles, de acuerdo a estudios realizados por Thohauser [9], [15] son del orden del 20 al 30% y representan la mitad de los tiempos no productivos que se pueden remover, ya que las identificaciones de los mismos están basadas en el análisis de los reportes diarios de perforación de las compañías perforadoras. El reto consiste en identificarlos y analizarlos ya que resulta complicado leer el reporte de operaciones por las abreviaciones usadas por las diferentes compañías

perforadoras y porque dichos análisis, generalmente, son elaborados por ingenieros con poca experiencia. Para lograr el éxito de identificar los tiempos invisibles es necesario emplear una nueva metodología de análisis y contar con un sistema que nos ayude a monitorear las operaciones que consumen un mayor tiempo del necesario y que permita determinar oportunamente las desviaciones al programa o que nos identifique parámetros críticos que nos pudieran generar tiempos perdidos al presentarse un evento en el pozo.

### **1.3 Origen de los KPI.**

Los indicadores de desempeño (KPI) son una métrica analítica y actualmente su empleo ha jugado un papel cada vez más importante en la ingeniería de perforación ya que proporcionan una evaluación analítica y continua del desempeño en múltiples niveles gerenciales de la organización que nos permiten optimizar el proyecto pozo.

El desarrollo de los KPI tiene su origen de la necesidad de los contratistas para tener un panorama claro de cómo está funcionando su proceso de perforación y que, además, les permitiera orientarlos en el mejoramiento del mismo. “No se puede controlar lo que no se puede medir”. M. Brown [5].

Es importante señalar que los indicadores, pueden ser tan generales como se quieran o tan específicos como se requieran, en otras palabras, existen KPI que engloban los objetivos de la empresa, con los cuales se mide su eficiencia, por otro lado, hay KPI específicos para cada pozo y esto depende de las características de la formación a perforar o del tipo y especificaciones de los equipos de perforación que se utilizará. Lo importante es que los indicadores específicos siempre deben de estar orientados a los objetivos de la empresa para lograr alcanzar las metas fijadas. S. Hammad y G. Akinnirenye [24], así como también, claros y estar bien definidos para obtener los resultados esperados y deben de contar con un sistema automatizado que transmita los datos desde el fondo del pozo hasta el centro de monitoreo en tierra o remoto. Para lograr lo anterior es necesario instalar sensores que se colocan a lo largo del aparejo de fondo de la sarta de perforación (BHA), así como en la consola del perforador en superficie. En

la Tabla 1 se muestran los parámetros que se logran medir tanto en superficie como en el fondo del pozo.

Tabla 1 Parámetros de fondo y superficie que se monitorean.

Superficie	Fondo del Pozo
Peso sobre barrena.	Vibraciones axiales.
Carga al gancho.	Vibraciones laterales.
Presión de bomba.	Choques laterales.
Revoluciones por minuto.	Revoluciones en Turbina del MWD (TRPM).
Torque.	Atrapamiento y torsión de sarta (stick and slip).
Gasto.	Densidad equivalente de circulación (DEC).
Posición del block.	Densidad estática ( $\rho$ ó Dens).
ROP.	Temperatura (T).
Profundidad.	

Con el análisis de los parámetros monitoreados en la tabla anterior, se pueden obtener los siguientes indicadores de desempeño clave (KPI) los cuales están ligados a operaciones críticas que se realizan en el pozo.

1. Ritmo de penetración, ROP.
2. Tiempos de conexión, TC1.
3. Tiempo de viaje en agujero entubado, Tv.
4. Tiempos de introducción de TR o de riser, Ttr/Triser
5. Tiempos de armado de BHA o tubulares, Tbha.
6. Tiempo de circulación, TC2.
7. Tiempo de repaso o de rimado del agujero, Trepaso.
8. Tiempo de molienda de cemento, Trebajar.
9. Tiempo de jeteo, etc.

Identificadas y seleccionadas las operaciones críticas de los pozos perforados, se debe de integrar la información de cada una de ellas en bases de datos, las cuales deben de considerar:

- a. Ubicación geográfica.
- b. Campo.
- c. Tipo de pozo (exploratorio y desarrollo).
- d. Tipo de trayectoria del pozo.
- e. Tirante de agua.
- f. Tipo y generación de plataforma.
- g. Distribución de tiempos (productivos y no productivos).
- h. Costos, etc.

La información anterior se puede analizar de dos formas: por separado, de acuerdo a lo que establecen S. Hammad / G. Akinnirenye [24] y C. Hernandez / R. Torres [8] con la cual podemos realizar un benchmarking interno o externo. Con un análisis cruzado, se identifican tendencias y relaciones del comportamiento de la variable crítica en estudio para llegar a establecer el valor del indicador con el cual se medirá el desempeño de cada operación crítica analizada. Con ambos estudios se identifican no sólo las herramientas más apropiadas a utilizar para un pozo determinando de un campo específico, sino no que logra optimizar el tiempo de ejecución y el costo del proyecto.

En resumen, el cálculo del KPI, así como el estudio de las operaciones críticas, nos proporcionan una visión de cómo se está desarrollando la perforación del pozo y las áreas de oportunidad en las cuales nos debemos enfocar para su mejoramiento, ya que nos muestra de forma gráfica el desempeño no sólo de las herramientas o de las operaciones, sino que podemos identificar que cuadrilla, por equipo, es la que opera de manera óptima y apegada a los estándares establecidos por la empresa.

## CAPITULO 2

# REVISIÓN DE LA LITERATURA.

---

## *REVISIÓN DE LA LITERATURA.*

---

Numerosos estudios se han realizado con el fin de optimizar la perforación de pozos en Aguas Profundas y Ultra Profundas ya que los costos asociados son muy superiores a los de un pozo en aguas someras o terrestres. Hoy en día, los factores que contribuyen a que los pozos sean tan costosos, se debe a cuatro razones fundamentales: carencia de personal especialista, complejidad de la formación, tecnología y condiciones climatológicas. A continuación, se enlistan algunos ejemplos.

- Susceptibilidad a las condiciones climatológicas adversas.
- Riesgos someros, flujos de gas o agua.
- Formación de hidratos en el sistema secundario de control de pozo (conjunto de preventores – cabezal submarino).
- Limitaciones de equipo por el tirante de agua (T.A.).
- Estrecha ventana de geopresiones para la perforación, debido al T.A.
- Capa de hidratos someros en la formación a perforar.
- Tiempos prologados para mover y preparar equipos de la cubierta a la mesa rotaria o hacia el moon pool y hacia el fondo del pozo, por sus dimensiones.
- Carencia de especialistas en aguas profundas, como el especialista subsea, por mencionar alguno, etc.
- Dependencia del ROV, en ciertas operaciones, para continuar operando.

Los cuatro factores mencionados anteriormente contribuyen a la suspensión del equipo de perforación y con ello la generación de NPT y de Tiempos Invisibles.

## **2.1 Optimización de la Perforación.**

Con el afán de buscar la mejora continua en los procesos de perforación para abatir los tiempos y los costos de los proyectos a perforar, las empresas comenzaron a fortalecer a los grupos multidisciplinarios de trabajo, para mejorar el grado de análisis de la información recabada de los pozos que se encuentran en actividad, como lo establecen [18], quienes hablan sobre la forma en que se debe presentarse la información para que los especialistas tomen las mejores decisiones en el momento preciso. Con estas acciones de reforzar a los grupos de trabajo, también van cobrando mayor relevancia los CMTR que es el lugar en donde se concentra y analiza toda la información proveniente de los parámetros de perforación de los pozos durante las 24 hr del día los 365 días del año, actualizándose los modelos 3D de geociencias [3]. Por otro lado, para lograr incrementar la eficiencia de la empresa no basta con las acciones de monitoreo a tiempo real, sino que también hay que tener identificados tanto al personal, la tecnología y a los procesos que están involucrados en el proyecto [28] que pueden considerarse, también, como puntos críticos para alcanzar la optimización de las operaciones en la perforación de pozos [25].

## 2.2 Pasos Para la Optimización de la Perforación.

Una vez que se cuenta con la información proveniente de los pozos y de acuerdo con la nueva visión de análisis de la información, surge la necesidad de renovar a los CMTR [20], en donde se planteó la necesidad de implementar nuevas metodologías de trabajo, análisis de los datos y de diseño de pozos; que permitan alcanzar las metas establecidas por la empresa. Lo anterior, son producto de los nuevos retos que demanda la industria de los hidrocarburos como son:

- Perforar en campos cada vez más profundos.
- Entornos poco favorables u hostiles.
- Inestabilidad del precio del petróleo.

Con estos nuevos retos que se presentan para perforar las nuevas localizaciones de pozos, hace necesario que el análisis de la información, también sea llevada a otro nivel, en el que no sólo participen especialistas en operación de perforación de pozos, de diseño, si no que se empleen herramientas de análisis de estadística descriptiva, así como probabilísticas, tal es el caso, de acuerdo a J.F. Brett, K.K. Millheim [16] del estudio de las curvas de los parámetros de perforación mediante la definición de tres componentes: C1 relacionada con la dificultad del área a ser perforada, C2 que hace referencia al grado de aprendizaje del área y C3 que se refiere a la implementación de nuevas tecnologías en el proceso. Otros autores como D.F., P.W. Scott, P.E. Page y T.M. Windham [9] establecen se puede tener un ahorro de hasta el 20% del presupuesto del pozo al realizar el estudio enfocándolas en las siguientes tres preguntas:

- ¿Cuál es el rendimiento actual de mi proceso de perforación?
- ¿Qué es posible alcanzar?
- ¿Qué necesitamos conseguir para conseguir el objetivo?

Lo anterior establece a que tenemos que tener claro, cuál es el estado actual de nuestro proceso y hacia donde lo queremos llevar. Para lo cual es necesario emplear técnicas o

herramientas que nos permitan conocer dicho comportamiento de nuestro proceso, como por ejemplo, el empleo de técnicas de análisis como la de la curva de aprendizaje, como hace referencia el autor F. Juárez [17], en donde se consideran las lecciones aprendidas de los proyectos anteriores para ir mejorando paulatinamente el desempeño en la ejecución de las operaciones mediante toma de decisiones más asertivas. Otra técnica es empleando el límite técnico como lo establece L. Carrillo [7] empleando una técnica estadístico probabilístico en donde emplean a Monte Carlo para definir el comportamiento de la variable tiempo de ejecución. Por otro lado, J. Cortés [6], analiza por separado, con base a un algoritmo de cómputo y a un método matemático, de una de las variables en la perforación de pozos como lo es el ritmo de penetración (ROP), para determinar lograr establecer los parámetros óptimos de la misma y conseguir su optimización.

### **2.3 Importancia de Medir, Clasificar y Evaluar la Información de los Pozos.**

De lo anterior, podemos establecer que todos los autores coinciden en que para mejorar le eficiencia de la perforación de pozos, es necesario realizar un análisis de los parámetros obtenidos a tiempo real durante la perforación de los pozos, considerando sus variables que los afectan bajo una metodología previamente establecida y con un objetivo definido desde el principio y que se encuentre alineado con el de la empresa, dando origen a los indicadores de desempeño (KPI). Diferentes autores como Cesar I. Hernández, Rodolfo Kyros [8], Bob Lauder [4] y Brown Megan [5], hacen referencia a la importancia que tiene el medir éstos indicadores para lo cual definen diferentes metodologías de análisis ya que el uso, de los estudios de mercado ya no era suficiente para alcanzar los objetivos establecidos y era necesario enriquecer el análisis con nuevas técnicas que permitieran conocer, no sólo la situación actual del proceso, ni de compararlo con las demás empresas, sino que se requería conocer la eficiencia de las cuadrillas de cada uno de los equipos de perforación de manera interna, así como a nivel internacional, partiendo del estudio de los tiempos no productivos (NPT), para de ahí determinar los tiempos invisibles asociados a éstos. La relevancia que guarda el estudio de los KPI, radica a que se evita que las decisiones sean tomadas exclusivamente en base a la experiencia o sentimiento del analista, sino que sean con base en un análisis

del comportamiento de los tiempos operativos u operaciones realizadas a bordo de los equipos de perforación.

El trabajar en base a los KPI seleccionados, permite, además, una interacción más estrecha entre las diferentes compañías de servicio involucradas en el proyecto, lo que se traduce a una mejoría en el rendimiento operativo en base a un mejor entendimiento de la tecnología con el indicador en estudio.

## **2.4 Beneficio en Identificar los Tiempos Invisibles.**

Con la identificación de los tiempos invisibles que se pierden en cada una de las operaciones de perforación, de acuerdo a Ketil Andersen, Per Arild Sjøwall, Eric Maidla, Buddy King, Gerhard Thonhauser, y Philipp Zöllner [19], se puede ahorrar hasta el 30% del costo total del proyecto pozo con el simple hecho de contar con mecanismos a tiempo real. Así como también, se puede llegar a tener una disminución de tiempos entre el 40 y 60% de tareas específicas como son:

- Viajes.
- Conexiones.
- Repaso de agujero.
- Circulación en el fondo.
- Armado e introducción de tubulares.
- Cambios de etapa.
- Preparativos para correr tubería de revestimiento (TR).
- Desmantelar equipo para correr TR, etc.

Lo anterior se logra con el análisis de éstas variables para determinar su tendencia mediante el uso de histogramas, de los percentiles (P50) y del promedio del tiempo de la actividad.

Otra aplicación de los KPI, de acuerdo a David M. Pitchard [10] y Bob Lauder [4], es en la administración de los riesgos, ya que a través de los indicadores se obtiene una herramienta eficaz en el control de la calidad de los procesos, así como también, para proporcionarles mantenimiento a los equipos críticos involucrados en nuestro proceso.

Finalmente con apoyo de las herramientas de probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería, de acuerdo a William Navidi [30], así como por William Mendenhall, Robert Beaver y Barbara M. Baver [31], quienes establecen las bases para la determinación de los tiempos invisibles, y analizando el comportamiento de la variable y su tendencia, se puede llegar a determinar no sólo el tiempo total invisible que se perdió en cada plataforma, sino también el rendimiento y/o eficiencia de sus cuadrillas y el impacto económico que tiene dichos tiempos perdidos para la organización.

## CAPITULO 3

# PROTOCOLO DE OPTIMIZACIÓN DE LA PERFORACIÓN.

---

*PROTOCOLO DE OPTIMIZACION DE LA PERFORACIÓN*

---

En este capítulo se explicará, brevemente, como es el flujo de la información entre la plataforma y el personal en tierra en los centros de monitoreo a tiempo real. Lo anterior para obtener los parámetros de perforación del pozo, depurarlos y su posterior análisis. Así como también, se establecerá una metodología para realizar el análisis de toda la información proveniente de los pozos, con la cual es posible optimizar las operaciones de perforación mediante la selección y estudio de índices de desempeño (KPI).

### **3.1 Estado del Arte de los Centros de Monitoreo a Tiempo Real y del Análisis Estadístico.**

#### **3.1.1 Centros de Monitoreo a Tiempo Real (CMTR).**

La industria del petróleo está enfocada no solo en la búsqueda de nuevos yacimientos, sino en mejorar y ejecutar de forma eficiente la perforación de pozos, los cuales cada día cuesta más trabajo perforarlos debido a las profundidades cada vez mayores a la cual se encuentra el yacimiento, la complejidad geológica, falta de personal especialista y problemas financieros que atraviesa la Industria originada por los precios del barril de petróleo [20]. Lo anterior dio origen a que los centros de monitoreo a tiempo real retomaran fuerza y se les diera el valor que representan en la industria, los cuales cuentan con la tecnología que permite recibir en tierra los datos provenientes del fondo del pozo y de superficie, y es con el apoyo de éstos centros que las compañías perforadoras pueden lograr optimizar las operaciones de perforación de pozos mediante:

- Monitorear parámetros críticos.
- Monitoreo multidisciplinario (perforación, geología y petrofísica) usando plataformas avanzadas y aplicando procedimientos que busquen la oportuna optimización de la perforación de los pozos.
- Anticipar posibles problemas operativos.
- Mejorar toma de decisiones a través de la aplicación de experiencias, conocimiento y aprendizaje.
- Reducir costos mediante la reducción de tiempos no productivos y tiempos perdidos invisibles.
- Creación de mapas de identificación de riesgos de perforación de los pozos de correlación.

En los CMTR existe un grupo multidisciplinario de especialistas en perforación, geología, geofísica, geomecánica y en petrofísica [21]; los cuales constan de tres etapas [2]:

- 1) Planeación, los especialistas recaban información de los pozos de correlación registrando los eventos de cada uno de ellos, los cuales se analizan y clasifican, para generar un mapa de riesgos que contiene, no sólo los eventos, sino que también la acción para su mitigación. Lo anterior servirá de guía para el pozo que se perforará.
- 2) Ejecución, es aquí donde se da el seguimiento a las operaciones del pozo en tiempo real y también es donde se origina la identificación y análisis de riesgos potenciales durante la ejecución del pozo, ya que se analizan los eventos reales del pozo Vs los esperados, de acuerdo al mapa de riesgos de la etapa de planeación, con el grupo de especialistas de perforación y de geociencias para la oportuna toma de decisiones. Por lo anterior, es la etapa en donde se optimiza la perforación.
- 3) Evaluación, es donde se generan las lecciones aprendidas que nos dejó la perforación del pozo, analizando los resultados obtenidos en función con lo programado en el diseño del pozo.

En la Fig.5 se muestra la cadena de valor de los CMTR, en donde observamos que una vez que la información se va generando durante la perforación del pozo, en la plataforma se envía a tierra para ser analizada y tomar las acciones necesarias para lograr la optimización del proceso.

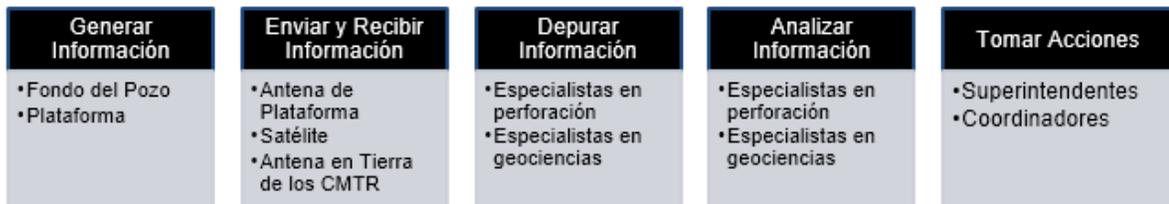


Fig.5 Cadena de valor de los CMTR.

### 3.1.1.1 Envío, Recepción e Interpretación.

En el aparejo de fondo (BHA), así como en la plataforma se instalan sensores, los cuales leen los valores de los diferentes parámetros que se emplean durante la perforación de un pozo petrolero, como son: peso sobre barrena, galones por minuto, revoluciones por minuto, presión de bomba, revoluciones por minuto, carga al gancho, torque, así como volúmenes activos en presas, por mencionar los más importantes. Esta información se envía de una antena (transmisora) instalada en la plataforma de perforación, a través de un protocolo internacional de envío de información, una señal (WITS) hacia un satélite, el cual reenvía por el mismo formato la información a otra antena (receptora) ubicada en el centro de monitoreo en tierra, en donde los datos recabados son almacenados en un servidor y procesados, de acuerdo al parámetro de perforación registrado. Finalmente, la información se direcciona a cada especialista dentro del centro de monitoreo, quienes analizan y elaboran reportes de la misma [2], como se muestra en la Fig.6.

Actualmente, la forma de trabajar en la CMTR también ha ido evolucionado con el paso del tiempo y se han integrado nuevos especialistas a estos centros de monitoreo, debido

a la falta de especialistas en perforación con experiencia operativa, así como a la necesidad de optimizar la ejecución de los trabajos a bordo de las plataformas.

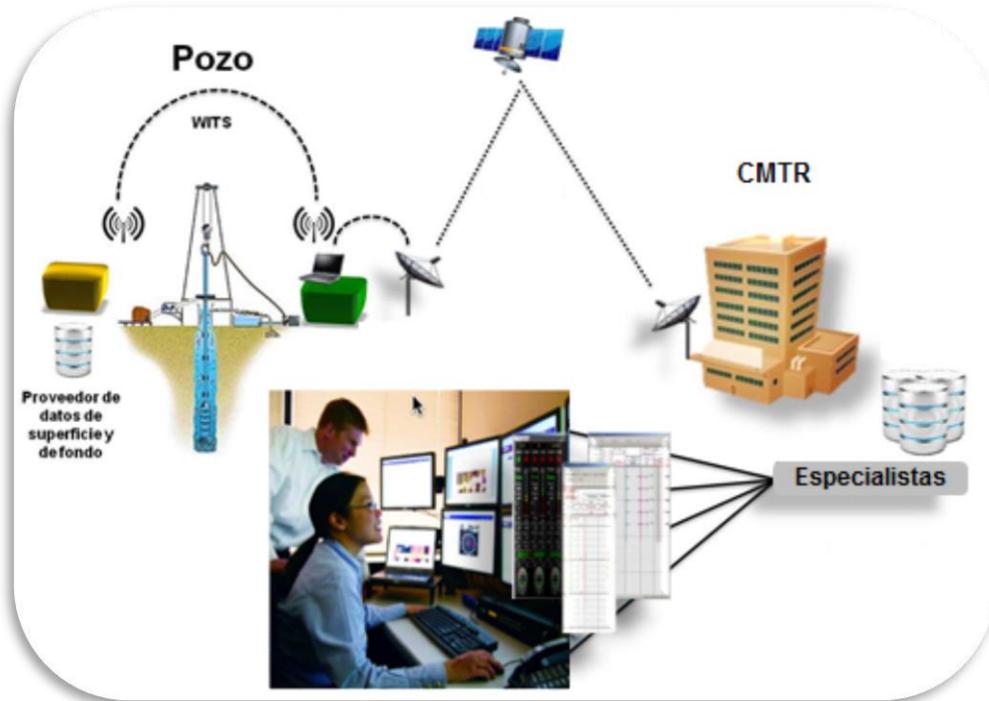


Fig.6 Generación, envío y recepción de datos del pozo en tierra [2].

Con esta nueva visión de trabajo en los centros de monitoreo a tiempo real, existen tres factores esenciales que tiene un papel importante en el análisis de la información para lograr la eficiencia y optimización de la perforación [25], las cuales son:

1. Gente: Identificar los perfiles críticos que se requieren para brindar un seguimiento y soporte en tiempo real con el grado de experiencia, acorde a la magnitud de los proyectos.
2. Tecnología: Plataforma que permite la transmisión, captura de información proveniente de los sensores ubicados en el pozo, para así evaluar la calidad de la información y realizar el análisis correspondiente de ingeniería (perforación, monitoreo, petrofísica, geofísica y geomecánica) que permitan actualizar los modelos de geopresiones y geomecánicos de los proyectos de perforación.

3. Metodología: Proceso estructurado bajo la administración de información, monitoreo de parámetros de perforación (superficie y fondo) e Ingeniería que garantiza un estándar de seguimiento a los proyectos.

A medida que estos tres factores se integren de la mejor manera posible, los resultados se verán reflejados no sólo en la reducción de los tiempos del proyecto, sino que también en el costo del mismo, logrando finalmente la optimización del proyecto [16].

La interpretación de la información recabada de los pozos, así como el análisis y su evaluación inician con el seguimiento y visualización de los parámetros de perforación, tanto superficiales como de fondo [2], para finalmente obtener una tendencia operativa de cada curva analizada, sustentada en base a los modelos sísmicos, geológicos, petrofísicos y de geopresiones actualizados, así como a los cambios realizados a los diferentes BHA y tipos de barrena que se introducen nuevamente al pozo una vez medido y optimizado su desempeño obtenido antes de sacarlo a superficie. En la Fig.7 se muestran los diferentes modelos que se actualizan en los CMTR, de acuerdo a la información obtenida del pozo [3].

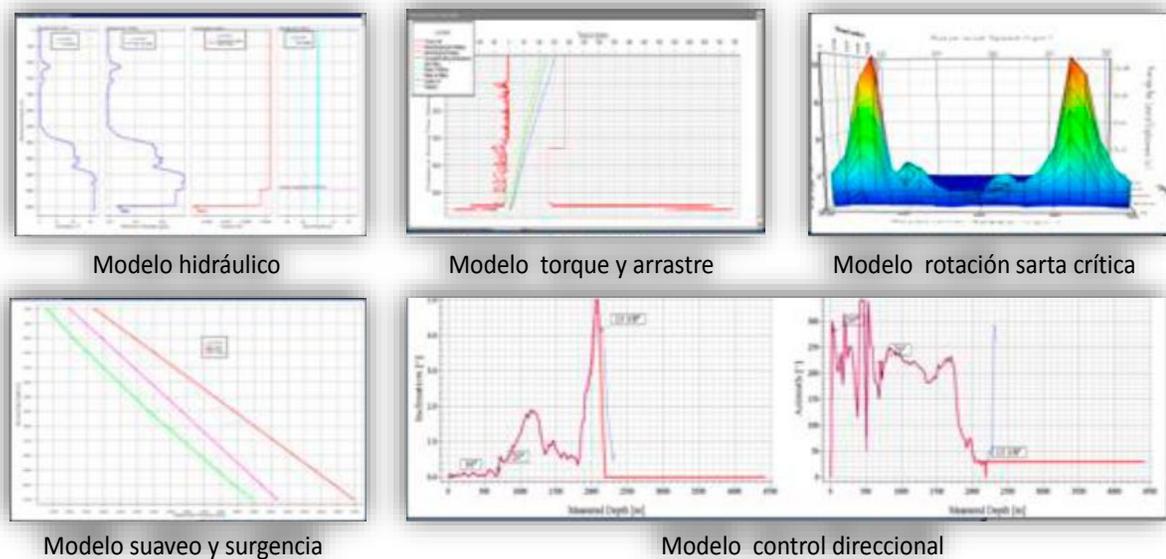


Fig.7 Modelos actualizados en los CMTR con la información del pozo [2].

### **3.1.2 Análisis Estadístico.**

Toda la información que se recibe de los pozos en los centros de monitoreo a tiempo real llega en forma de secuencias largas de números, de acuerdo a cada parámetro que se registra en los señores de fondo del pozo y en superficie, para su análisis. Dichos valores recibidos, constituyen una muestra estadística por cada variable registrada [30], que por sí sola no nos indica nada, pero para ayudar a que las características de una muestra sean evidentes se realiza un análisis estadístico, siendo la media de la muestra y la desviación estándar herramientas que nos ayudan a realizar dicho estudio; la primera indica el centro de los datos y la segunda señala cómo están distribuidos los mismos. Con la probabilidad complementamos el análisis de la información recibida, mediante el empleo de Histogramas para interpretar de mejor manera el comportamiento de la muestra o de la variable en estudio, que para nuestro caso será el KPI que se determine analizar.

#### **3.1.2.1 Probabilidad y Estadística Descriptiva**

W. Mendenhall, Beaver y Beaver [29], la Probabilidad la podemos definir, como una medida de la posibilidad de ocurrencia de un cierto evento. La frecuencia de ocurrencia es un indicador de probabilidad.

Por otro lado, la estadística descriptiva [29] se ocupa del estudio de la dispersión, para lo cual se apoya de herramientas como la “distribución de probabilidad” que permite organizar, describir y representar tanto matemáticamente como de forma gráfica la información de la variable a analizar. Cabe mencionar que variable, es toda aquella literal “X” que por su característica puede tomar cualquier valor ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_{n-1}$ ) cada uno de los cuales tiene una probabilidad de ocurrencia ( $p_1, p_2, \dots, p_{n-1}$ ) sin que se pueda asegurar cuál de éstos probables valores tomará la variable.

### 3.1.2.2 Histogramas.

Un histograma [31] en estadística, es una representación en forma gráfica de una variable y que da una idea de la “forma o comportamiento” de una muestra, indicando las regiones donde los puntos de la muestra están concentrados y las regiones donde son escasos, en otras palabras, nos da una visión rápida de cómo se está comportando la muestra o de su dispersión en función de su probabilidad de ocurrencia. Para nuestro caso, nos indica las regiones en donde se encuentran, tanto los mayores y menores tiempos en que se está llevando a cabo la actividad analizada, de acuerdo al número de frecuencia registrada (repeticiones en el tiempo) por cada una de las plataformas. Cabe mencionar que en los histogramas se pueden determinar los siguientes aspectos:

- La preferencia o tendencia de los datos.
- Grado de dispersión.
- Grado de homogeneidad.
- Comportamiento de la muestra.

En la Fig.8. Se muestra un ejemplo de la forma de un histograma, en el cual se grafica el número de intervalos de la muestra, en el eje de las abscisas, la frecuencia y la probabilidad de ocurrencia, en el eje de las ordenadas. También observar que los datos de la muestra tienen un comportamiento cargado hacia el cero (lado izquierdo).

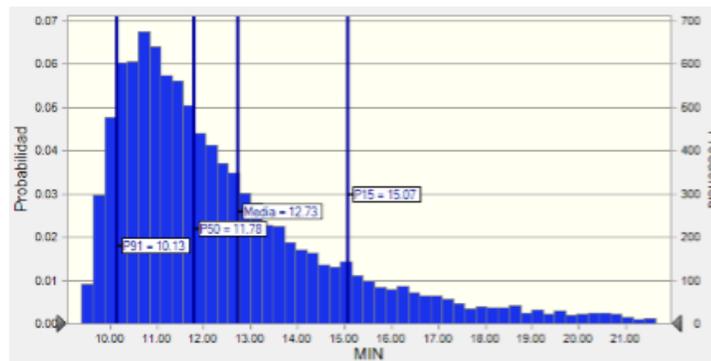


Fig.8. Forma de un histograma [30].

Cuando la variable toma mayoritariamente valores más cercanos a cero, mayores probabilidades tienen de ocurrir y viceversa, tanto más lejano al cero es un valor, tiene menor probabilidad de ocurrencia.

Los histogramas tienen tres características principales:

- 1) *Síntesis*: permite resumir grandes cantidades de datos.
- 2) *Análisis*: permite el análisis de los datos evidenciando esquemas de comportamiento y pautas de variación que son difíciles de captar en una tabla numérica.
- 3) *Capacidad de comunicación*: Permite comunicar información de forma clara y sencilla sobre situaciones complejas.

Para la interpretación de ésta herramienta es importante la experiencia del analista, ya que no existen reglas para su interpretación o explicación del comportamiento de la muestra, la cual puede presentar las siguientes distribuciones: en forma de campana, doble campana o doble pico, plana, de peine, con pico aislado, pico en el extremo y sesgada o trunca, la cual depende de la cantidad de datos de la muestra a analizar, al número de proceso interno implicados para desarrollar el trabajo y que afectan a la variable, así como si existe o no una metodología para desarrollar el trabajo, a errores al agrupar la serie de datos o a una mala lectura de los datos al momento de capturarlos, a una deficiente depuración de la información al eliminar datos defectuosos o a la existencia de límites para cumplir con una cierta tolerancia.

Uno de los propósitos del análisis o interpretación de un Histograma es identificar y clasificar la forma en que se comporta la variación del conjunto de datos estudiados (valor medio, recorrido, forma) y elaborar una explicación admisible y relevante para dicho comportamiento, que relacione la variación con el proceso o fenómeno en estudio.

### 3.1.2.3 Percentiles

W. Mendenhall, Beaver y Beaver [29] establecen que los percentiles son una medida de la posición relativa usada en la estadística que indica, una vez que son ordenados los datos de mayor a menor, el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de observaciones en un grupo. Se representa con la letra P y dividen a la muestra en 100 partes iguales, es decir P1, P2,...P100. En otras palabras, los percentiles dan los valores correspondientes al 1%, 2%..... y 99% de los datos.

En la Fig.9 se muestra una representación gráfica de los percentiles, en la cual observamos que existe un 60 % de probabilidad que los valores sean menores o iguales al P60. Por otra parte, el P40, corresponde a la probabilidad del 40% de que los datos caigan dentro de esa región. Finalmente, el P50 es igual a la “mediana”, en otras palabras, es el 50% de probabilidad de caer en una región o en otra.

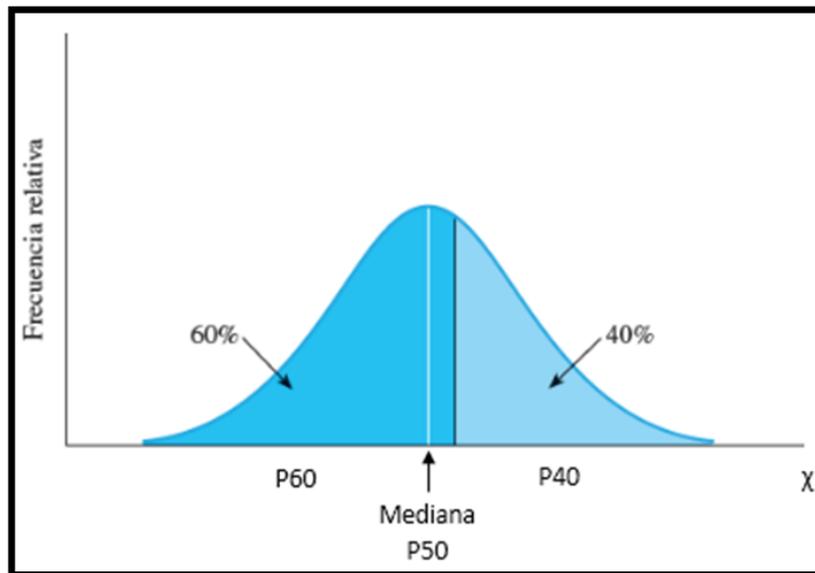


Fig.9. Representación de los percentiles [29].

### **3.2 Metodología de Análisis de la Información.**

La metodología que se presenta, toma en consideración la premisa de optimizar la actividad de perforación de pozos en aguas profundas y ultraprofundas. Por lo anterior, se establece de forma secuencial y ordenada la forma de analizar la información proveniente de cada una de las plataformas, así como, los requerimientos para realizar el estudio por cada área responsable y su entregable de cada una de ellas. También, establece al responsable de difundir a toda la organización los resultados obtenidos.

El éxito en la aplicación de la metodología de análisis, radica en depurar la información que se recaba de cada uno de los pozos que se encuentran perforando, por los especialistas en monitoreo a tiempo real y por los de perforación. En la Tabla 2 se muestra un ejemplo de cómo se recibe los datos de una plataforma, en donde aparecen la fecha y hora en que se desarrolla la actividad, la profundidad a la cual se encuentra la barrena, así como la profundidad total perforada de la etapa, la posición del block, el peso del gancho, las revoluciones por minuto, la presión de bomba y el torque. Los especialistas en monitoreo son los encargados de eliminar los datos que no presentan consistencia entre ellos mismos o que simplemente son incongruentes, ya sea por fallas en el envío, en la recepción de la información o por falla del sensor que los lee, y también son los encargados de generar las tendencias de cada grupo de datos por cada actividad registrada en la plataforma. Los especialistas en perforación son quienes interpretan las curvas generadas con la información anterior y son ellos, los que analizan de forma particular cada grupo de datos de cada actividad para determinar el inicio y fin de cada operación desarrollada a bordo de las plataformas. Ambos especialistas realizan una revisión de calidad de la información para garantizar su correcta interpretación y se posterior análisis.

Tabla 2. Ejemplo de parámetros registrados en el pozo.

Tiempo (días)	Posición Block (m)	Prof. bna. (m)	Prof. Etapa (m)	P. Gancho (ton)	RPM	P. Bomba (psi)	Torque (psi)	Tiempo (días)	Posición Block (m)	Prof. bna. (m)	Prof. Etapa (m)	P. Gancho (ton)	RPM	P. Bomba (psi)	Torque (psi)
2014-06-07T23:20:00-06:00	14.28	2774.46	3500	14.40	20.00	0.60	8197.80	2014-06-08T04:12:30-06:00	13.65	3485.59	3500	334.00	4.00	123.00	10469.40
2014-06-08T00:46:00-06:00	15.37	2996.89	3500	12.20	5.80	0.20	1432.20	2014-06-08T04:13:00-06:00	13.22	3486.03	3500	334.40	5.00	121.00	11125.60
2014-06-08T01:33:00-06:00	16.30	3153.48	3500	9.80	32.80	0.20	6852.40	2014-06-08T04:13:30-06:00	12.71	3486.53	3500	332.40	4.00	145.00	11640.80
2014-06-08T02:26:30-06:00	16.68	3311.64	3500	14.00	8.00	1.00	4460.00	2014-06-08T04:14:00-06:00	12.51	3486.75	3500	330.60	4.40	307.40	12632.20
2014-06-08T02:30:00-06:00	14.98	3325.35	3500	8.80	22.40	0.80	4940.80	2014-06-08T04:14:30-06:00	12.47	3486.78	3500	329.00	5.00	497.80	12091.00
2014-06-08T02:33:30-06:00	15.14	3337.49	3500	15.80	39.80	0.20	8209.80	2014-06-08T04:15:00-06:00	12.47	3486.78	3500	334.00	6.40	98.00	13611.20
2014-06-08T02:37:00-06:00	14.00	3349.78	3500	12.80	25.00	0.80	8235.80	2014-06-08T04:15:30-06:00	12.47	3486.78	3500	334.00	9.40	118.60	12750.60
2014-06-08T02:56:30-06:00	15.33	3410.41	3500	11.60	35.80	0.60	8571.00	2014-06-08T04:16:00-06:00	12.46	3486.79	3500	335.00	10.60	113.60	12949.20
2014-06-08T03:01:00-06:00	14.53	3422.92	3500	12.60	8.80	0.80	6335.00	2014-06-08T04:16:30-06:00	12.34	3486.91	3500	335.00	11.00	116.80	13616.20
2014-06-08T03:45:30-06:00	8.38	3478.57	3500	339.00	16383.00	166.40	62.80	2014-06-08T04:17:00-06:00	12.10	3487.16	3500	335.00	11.60	118.40	13246.40
2014-06-08T03:46:00-06:00	8.38	3478.57	3500	336.00	89.00	124.83	11023.00	2014-06-08T04:17:30-06:00	11.71	3487.55	3500	333.60	11.60	118.80	13849.80
2014-06-08T03:46:30-06:00	8.38	3478.57	3500	335.00	4.00	109.00	11882.00	2014-06-08T04:18:00-06:00	11.50	3487.75	3500	331.00	11.60	153.80	13690.00
2014-06-08T03:47:00-06:00	8.38	3478.57	3500	336.00	3.00	115.00	10035.00	2014-06-08T04:18:30-06:00	11.50	3487.75	3500	331.40	13.60	119.00	13360.60
2014-06-08T03:47:30-06:00	8.38	3478.57	3500	335.00	5.00	111.00	10370.00	2014-06-08T04:19:00-06:00	11.50	3487.75	3500	333.00	13.60	116.60	13122.80
2014-06-08T03:48:00-06:00	8.38	3478.57	3500	335.00	5.00	109.00	10693.00	2014-06-08T04:19:30-06:00	11.46	3487.80	3500	334.00	14.20	113.00	13068.40
2014-06-08T03:48:30-06:00	8.38	3478.57	3500	335.00	5.00	108.00	9875.00	2014-06-08T04:20:00-06:00	11.39	3487.87	3500	334.00	14.60	114.00	13449.80
2014-06-08T03:49:00-06:00	8.38	3478.57	3500	335.00	4.00	111.00	11972.00	2014-06-08T04:20:30-06:00	11.26	3488.01	3500	334.00	13.80	114.40	13720.20
2014-06-08T03:49:30-06:00	8.38	3478.57	3500	335.00	5.00	109.00	11598.00	2014-06-08T04:21:00-06:00	11.16	3488.10	3500	334.00	14.00	114.40	13811.20
2014-06-08T03:50:00-06:00	8.38	3478.57	3500	335.00	5.00	123.00	9850.00	2014-06-08T04:21:30-06:00	11.00	3488.27	3500	334.00	14.40	116.20	13968.80
2014-06-08T03:50:30-06:00	8.35	3478.61	3500	335.00	5.00	125.00	10698.00	2014-06-08T04:22:00-06:00	10.93	3488.33	3500	334.00	14.00	114.60	13237.00
2014-06-08T03:51:00-06:00	8.28	3478.68	3500	335.00	5.00	121.00	10486.00	2014-06-08T04:22:30-06:00	10.73	3488.54	3500	333.00	14.00	112.00	13032.20
2014-06-08T03:51:30-06:00	8.06	3478.90	3500	334.00	5.00	133.00	10317.00	2014-06-08T04:23:00-06:00	10.68	3488.59	3500	334.00	14.60	114.60	13210.80
2014-06-08T03:52:00-06:00	7.75	3479.21	3500	333.00	5.00	134.00	11677.00	2014-06-08T04:23:30-06:00	10.54	3488.73	3500	333.40	14.40	115.80	14079.40
2014-06-08T03:52:30-06:00	7.51	3479.45	3500	333.00	5.00	126.00	13599.00	2014-06-08T04:24:00-06:00	10.39	3488.88	3500	331.80	14.00	123.60	13638.20
2014-06-08T03:53:00-06:00	7.17	3479.79	3500	333.00	5.00	125.00	10383.00	2014-06-08T04:24:30-06:00	10.35	3488.92	3500	331.00	14.00	242.20	13236.80
2014-06-08T03:53:30-06:00	6.89	3480.07	3500	333.00	5.00	124.00	10255.00	2014-06-08T04:25:00-06:00	10.28	3489.00	3500	328.20	13.40	292.20	13941.00
2014-06-08T03:54:00-06:00	6.61	3480.35	3500	332.00	5.00	126.00	12756.00	2014-06-08T04:25:30-06:00	10.27	3489.00	3500	328.40	13.40	154.20	13624.80
2014-06-08T03:54:30-06:00	6.24	3480.72	3500	333.00	5.00	126.00	10299.00	2014-06-08T04:26:00-06:00	10.27	3489.00	3500	334.00	13.20	117.40	13209.00
2014-06-08T03:55:00-06:00	5.73	3481.24	3500	333.00	5.00	127.00	12155.00	2014-06-08T04:26:30-06:00	10.27	3489.01	3500	334.00	16.20	134.40	12562.40
2014-06-08T03:55:30-06:00	5.26	3481.71	3500	331.20	5.00	126.40	10700.80	2014-06-08T04:27:00-06:00	10.07	3489.21	3500	334.00	18.20	135.80	12857.40
2014-06-08T03:56:00-06:00	4.90	3482.07	3500	331.20	4.80	125.40	12827.00	2014-06-08T04:27:30-06:00	9.91	3489.37	3500	334.00	17.00	134.60	13412.40
2014-06-08T03:56:30-06:00	4.35	3482.62	3500	332.00	5.00	128.00	10603.40	2014-06-08T04:28:00-06:00	9.72	3489.57	3500	334.00	16.40	132.80	12528.40
2014-06-08T03:57:00-06:00	3.84	3483.13	3500	332.00	5.00	125.80	10799.80	2014-06-08T04:28:30-06:00	9.57	3489.72	3500	334.00	18.00	127.80	12081.60
2014-06-08T03:57:30-06:00	3.44	3483.52	3500	332.00	5.00	127.00	12114.80	2014-06-08T04:29:00-06:00	9.38	3489.90	3500	334.00	16.80	132.40	12823.20
2014-06-08T03:58:00-06:00	3.25	3483.72	3500	332.00	4.80	123.80	10972.20	2014-06-08T04:29:30-06:00	9.23	3490.06	3500	331.00	18.00	140.40	13617.00
2014-06-08T03:58:30-06:00	3.25	3483.72	3500	333.00	4.20	126.40	11645.60	2014-06-08T04:30:00-06:00	9.23	3490.06	3500	331.00	17.00	170.40	13258.80
2014-06-08T03:59:00-06:00	3.25	3483.72	3500	333.00	5.00	118.60	10333.40	2014-06-08T04:30:30-06:00	9.19	3490.10	3500	331.00	16.00	253.40	13759.20
2014-06-08T04:05:30-06:00	15.25	3483.99	3500	15.80	30.00	13.80	8205.00	2014-06-08T04:31:00-06:00	9.13	3490.16	3500	330.80	17.40	150.00	13417.40
2014-06-08T04:07:30-06:00	15.49	3483.75	3500	340.00	6.80	15.60	11129.20	2014-06-08T04:31:30-06:00	9.06	3490.24	3500	330.00	16.80	162.80	13425.60
2014-06-08T04:08:00-06:00	15.49	3483.75	3500	340.00	5.00	38.20	11916.40	2014-06-08T04:32:00-06:00	9.03	3490.26	3500	329.00	18.00	215.20	13335.40
2014-06-08T04:08:30-06:00	15.49	3483.75	3500	340.00	4.40	48.40	11356.40	2014-06-08T04:32:30-06:00	9.03	3490.26	3500	329.00	17.00	242.00	13473.00
2014-06-08T04:09:00-06:00	15.49	3483.75	3500	340.00	4.60	53.40	10566.80	2014-06-08T04:33:00-06:00	9.02	3490.28	3500	329.00	26.00	225.00	13381.00
2014-06-08T04:09:30-06:00	15.49	3483.75	3500	340.00	4.00	71.20	11614.20	2014-06-08T04:33:30-06:00	9.01	3490.29	3500	328.00	26.00	135.00	13454.00
2014-06-08T04:10:00-06:00	15.49	3483.75	3500	339.00	5.00	104.00	12212.20	2014-06-08T04:34:00-06:00	9.01	3490.29	3500	328.00	26.00	139.00	13392.00
2014-06-08T04:10:30-06:00	15.48	3483.76	3500	338.00	4.60	122.00	12234.60	2014-06-08T04:34:30-06:00	9.01	3490.29	3500	328.00	26.00	158.00	13546.00
2014-06-08T04:11:00-06:00	15.17	3484.07	3500	334.00	4.00	124.00	11837.60	2014-06-08T04:35:00-06:00	9.01	3490.29	3500	328.00	26.00	168.00	13777.00
2014-06-08T04:11:30-06:00	14.76	3484.49	3500	334.00	5.00	123.80	11570.00	2014-06-08T04:35:30-06:00	9.01	3490.29	3500	328.00	26.00	174.00	13192.00
2014-06-08T04:12:00-06:00	14.21	3485.04	3500	334.00	4.60	122.40	9797.60	2014-06-08T04:36:00-06:00	9.01	3490.29	3500	328.00	26.00	139.00	13724.00

Posterior al trabajo realizado por los especialistas en los CMTR, se determinan las variables que se estudiarán, que en nuestro caso será el KPI. El estudio de éste indicador de desempeño nos servirá para determinar el tiempo invisible que se pierde por cada actividad que se realiza en el pozo.

Para determinar los tiempos invisibles con el apoyo de los KPI, se desarrolló una metodología de análisis que también nos permite calcular el impacto económico que tienen en la perforación de pozos en aguas profundas y ultraprofundas los tiempos invisibles que se pierden durante la ejecución de las operaciones. En la Fig.10, se muestra la secuencia de dicha metodología, la cual es aplicable a cualquier tipo de

actividad de perforación que se quiera analizar. En la Tabla 3 se describe a detalle dicha metodología.

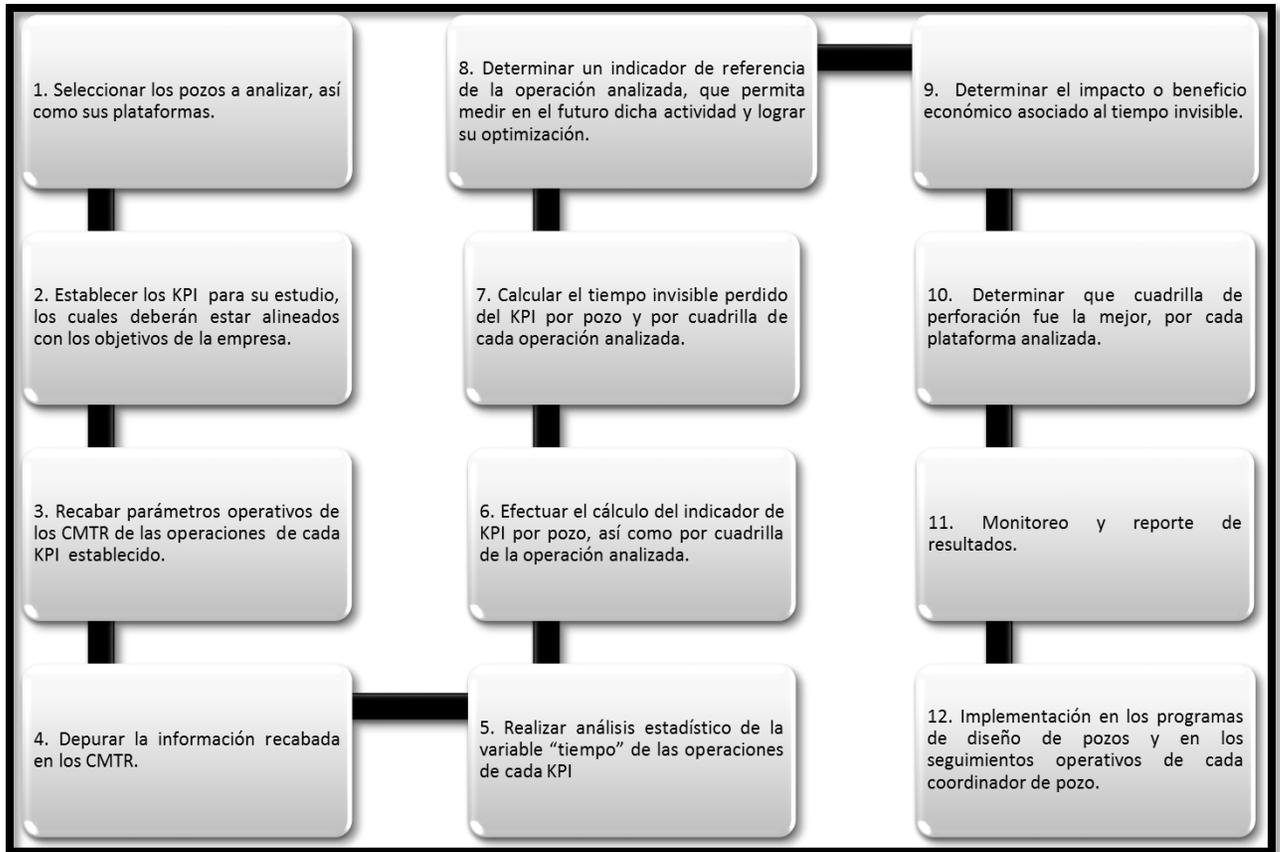


Fig.10. Secuencia metodológica.

Analizar la información con esta metodología busca la asociación o dispersión de las variables a través de histogramas de frecuencia y así conocer el comportamiento de las mismas, con lo cual se podría pronosticar su desempeño futuro y con ello poder planear y programar de mejor manera la actividad operativa en la perforación de pozos en aguas profundas (AP). Usar histogramas y percentiles, obedece a que con ellos podemos determinar la tendencia de mayor (P90) o menor (P15) probabilidad de ocurrencia en donde caerán los valores de la muestra y el ajustar una distribución que mejor se ajuste a la tendencia de nuestros valores nos permite determinar el valor de la mediana (P50). Debido a que el P50 nos representa el valor medio de la muestra y se considera un valor conservador, se tomará como referencia y límite del tiempo que deberían realizar las

cuadrillas de los equipos de perforación en cada una de las operaciones analizadas. Por otro lado, para el cálculo del tiempo invisible empleamos el promedio aritmético del tiempo realizado por cada cuadrilla de cada KPI en estudio, realizadas en las plataformas analizadas, así como, la diferencia entre el tiempo promedio de la actividad y el P50, que es el tiempo que definimos como nuestra referencia límite para cada operación.

Emplear un método diferente al de los histogramas, por ejemplo Monte Carlo para analizar las variables críticas que determinan el comportamiento del tiempo realizado por cada actividad analizada en las plataformas de perforación y con ellos calcular el tiempo invisible que se pierde en cada una de ellas, se hubiera quedado corto, ya que éste método nos proporción un análisis de todos los tiempos realizados al final de cada actividad y nos arroja el mejor tiempo de cada operación, sin considerar tipo de plataforma, equipo empleado para desarrollar la actividad, horas trabajadas por cada una de las cuadrillas, por mencionar algunas. En cambio, con los histogramas podemos fijar el estudio en una actividad específica la cual considera las variables que la hacen dependiente de ellas y de esta forma obtenemos el mejor tiempo de la operación de acuerdo a sus variables críticas, como la profundidad perforada, interior, tirante de agua, ritmo de penetración, velocidad con la que sacan y meten tubería dentro del pozo, tiempo de quebrado de herramienta y/o tubería, etc.

Finalmente, para poder analizar los resultados de los KPI, es necesario definir las operaciones que se estudiarán y sus KPI correspondientes. Por lo anterior, es necesario determinar la relación y/o comportamiento que tienen los tiempos invisibles con respecto a las siguientes variables:

- Tirante de Aguas.
- Plataforma.
- Costo de renta diaria de plataforma
- Tipo de conexión.
- Número de juntas armadas.
- Cuadrilla de plataforma
- Beneficio económico, etc.

Con esto, se identificarán cuales cuadrillas, por equipo, son más eficientes y se establecerán los estándares por operación, en los que apliquen, con los cuales se debería, por lo menos, medir a las plataformas semi sumergibles de 6ta Generación para lograr una optimización en ésta actividad.

Tabla 3. Metodología para determinar tiempos invisibles.

<b>METODOLOGÍA PARA DETERMINAR TIEMPOS INVISIBLES Y SU IMPACTO ECONÓMICO.</b>							
<b>DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD</b>	<b>INSUMO</b>	<b>PRODUCTO</b>	<b>RESPONSABLES</b>				
			<b>ING. DE SEGUIMIENTO Y OPTIMIZACIÓN</b>	<b>ESPECIALISTA EN PERFORACIÓN.</b>	<b>LIDER DEL VCDSE.</b>	<b>INGENIEROS DE DISEÑO.</b>	<b>COORDINADORES DE OPERACIÓN.</b>
<b>ETAPA DE PERFORACIÓN</b>							
1. Seleccionar los pozos a analizar, así como sus plataformas.	Base de datos genérica y detallada	Número de pozos con sus respectivos equipos de perforación.				<b>X</b>	
2. Establecer los KPI para su estudio.	Objetivos de la Empresa Gerencia.	Objetivos alineados con los de la empresa.					<b>X</b>
3. Recabar parámetros operativos de los CMTR de las operaciones de cada KPI establecido.	Información proveniente de los pozos.	Base de datos de parámetros operacionales de las operaciones a estudiar.	<b>X</b>				

<b>METODOLOGÍA PARA DETERMINAR TIEMPOS INVISIBLES Y SU IMPACTO ECONÓMICO.</b>						
<b>DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD</b>	<b>INSUMO</b>	<b>PRODUCTO</b>	<b>RESPONSABLES</b>			
			<b>ING. DE SEGUIMIENTO Y OPTIMIZACIÓN</b>	<b>ESPECIALISTA EN PERFORACIÓN.</b>	<b>LIDER DEL VCDSE.</b>	<b>INGENIEROS DE DISEÑO.</b>
<b>ETAPA DE PERFORACIÓN</b>						
4. Depurar la información recabada en los CMTR.	Base de datos de parámetros operacionales de las operaciones a estudiar	Base de datos depurada y ajustada.		X		
5. Realizar análisis estadístico de la variable "tiempo" de las operaciones de cada KPI.	Base de datos depurada y ajustada.	Histogramas con la tendencia del comportamiento de la variable "tiempo" de la operación analizada. Así como los percentiles.		X		
6. Efectuar el cálculo del indicador de KPI por pozo, así como por cuadrilla de la operación analizada.	Histogramas con el P50 y el promedio aritmético del tiempo realizado en la actividad.	Determinación de un índice de tiempo invisible con el P50 y el promedio de la actividad analizada:  $ITI = T_{PROM} - P50$		X		

<b>METODOLOGÍA PARA DETERMINAR TIEMPOS INVISIBLES Y SU IMPACTO ECONÓMICO.</b>						
<b>DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD</b>	<b>INSUMO</b>	<b>PRODUCTO</b>	<b>RESPONSABLES</b>			
			<b>ING. DE SEGUIMIENTO Y OPTIMIZACIÓN</b>	<b>ESPECIALISTA EN PERFORACIÓN.</b>	<b>LIDER DEL VCDSE.</b>	<b>INGENIEROS DE DISEÑO.</b>
<b>ETAPA DE PERFORACIÓN</b>						
7. Calcular el tiempo invisible perdido del KPI por pozo y por cuadrilla de cada operación analizada.	Índice de tiempo de la actividad en estudio, de forma global de cada plataforma. (minn/tramo)  (ITI)	Tiempo Invisible de la actividad en general y por cuadrilla de cada plataforma en (min).  (TI)= (ITI) x (N. Even)		<b>X</b>		
8. Determinar un indicador de referencia de la operación analizada, que permita medir en el futuro dicha actividad y lograr su optimización.	El mejor tiempo del ITI. en min/tramo, resultado del análisis comparativo de los pozos en estudio	Indicador de referencia en min/tramo de la actividad.		<b>X</b>		
9. Determinar el impacto o beneficio económico asociado al tiempo invisible.	El (ITI) de cada plataforma	El costo producido por el tiempo invisible realizado.  BE = (TI) x (C.R.E.).		<b>X</b>		
10. Determinar que cuadrillas de perforación por cada plataforma analizada fue mejor.	El TI y el BE, para realizar un análisis del rendimiento de las cuadrillas y de sus plataformas	Que plataforma presenta el mejor rendimiento, Así como, que cuadrillas requieren capacitación.		<b>X</b>		

<b>METODOLOGÍA PARA DETERMINAR TIEMPOS INVISIBLES Y SU IMPACTO ECONÓMICO.</b>								
<b>DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD</b>	<b>INSUMO</b>	<b>PRODUCTO</b>	<b>RESPONSABLES</b>					
			<b>ING. DE SEGUIMIENTO Y OPTIMIZACIÓN</b>	<b>ESPECIALISTA EN PERFORACIÓN.</b>	<b>LIDER DEL VCDSE.</b>	<b>INGENIEROS DE DISEÑO.</b>	<b>COORDINADORES DE OPERACIÓN.</b>	<b>LIDER DEL PROYECTO.</b>
<b>ETAPA DE PERFORACIÓN</b>								
11. Monitoreo y reporte de resultados.	Información permanente de las operaciones de los pozos y el resultado del análisis anterior.	Informa por escrito de la situación actual del desempeño de cada plataforma de acuerdo a la actividad desarrollada y evaluación de las mismas.		<b>X</b>				
12. Implementación en los programas de diseño de pozos y en los seguimientos operativos de cada coordinador de pozo.	Informe final del estudio.	Mejora continua del proceso de perforación.				<b>X</b>	<b>X</b>	

### 3.3 Aplicación de la Metodología de Análisis.

De acuerdo al punto 1 de nuestra metodología para determinar los tiempos invisibles. Ver Tabla 3, se seleccionan los pozos a los cuales se les realizará el análisis. Posterior, se tiene determinan el o los KPI de cada operación crítica. Por lo anterior, hay que recordar como ya se mencionó en el Capítulo 1, que éstos deben de estar orientados a los objetivos de la empresa, en otras palabras, deben contribuir a la reducción de costos en el proyecto, de ahí la importancia de identificar los tiempos invisibles que se pierden en cada una de las operaciones que se realizan a bordo de las plataformas de 6ta generación para la perforación de pozos en Aguas Profundas y Ultra Profundas.

Los indicadores de desempeño (KPI) que se seleccionaron, de acuerdo a las operaciones de Armado e introducción de TR y Riser son: *meter tubular (riser o tubería de revestimiento) tramo por tramo (TxT)*, *meter tubería de revestimiento por lingadas* y *meter tubería de revestimiento por lingadas con tubería de perforación (TP)*. Una vez que se tienen definidos los pozos con sus KPI, se recaban los datos de cada uno de ellos provenientes de plataforma los cuales se limpian para su análisis por un grupo de especialistas en perforación, con éste análisis estadístico se determina el tiempo invisible que se perdió por cada uno de los indicadores clave de desempeño seleccionados, así como su impacto o beneficio económico por cada cuadrilla y por cada plataforma. Finalmente, para conocer la eficiencia operativa no sólo de las plataformas de perforación, sino de sus cuadrillas y con base a los resultados obtenidos del estudio anterior, se buscará establecer un indicador que nos sirva de base para calificar las operaciones realizadas. En la Tabla 4 se muestran los 11 pozos que se seleccionaron, las 4 plataformas que los perforaron y sus respectivos costos de la renta diaria de cada una de ellas.

Tabla 4. Selección de pozos para su análisis.

Plataforma "SS"	Renta Diaria (USD/DÍA)	Pozo
WP	\$465,000	E - 101
		M - 1DL
		L - 11
Ce	\$495,000	L - 32
		N - 1 DL
		A - 1
		C - 1
Bi	\$530,000	T - 1
		V - 1
		Mi - 1
LM	\$489,000	N - 1

Previo al análisis estadístico de cada uno de los pozos para identificar los tiempos invisibles, seleccionamos de todos los parámetros operativos provenientes de los pozos, aquellos que afectan a nuestros KPI. Los cuales se muestran a continuación:

- Tiempo.
- Profundidad de la barrena, que para nuestro caso será en del tubular (m).
- Posición del block (m).
- Peso del gancho (ton)

Debido a que la metodología es una serie de pasos secuenciales e iguales para cada uno de los tubulares de los 11 pozos seleccionados, se procederá a explicar a detalle dicho análisis para el riser y la TR de 14" del pozo Mi-1 de la plataforma "SS" LM, las tablas resultantes de éste ejemplo, mostrarán en el Apéndice A (información de los CMTR), y en el Apéndice B lo concerniente al cálculo del KPI (Histogramas).

De acuerdo con la metodología descrita en la Tabla 3, la primera actividad es seleccionar los pozos de estudio, el cual será el pozo Mi-1 de la plataforma LM, de acuerdo a la información de la Tabla 4. El segundo punto es determinar los KPI, los cuales deberán estar alineados con los objetivos de la empresa, que en este caso es optimizar los costos de perforación de los pozo, los cuales son: "meter TR ó riser tramo por tramo", "meter TR

por lingadas” y “meter TR por lingadas de TP”; que corresponden a las operaciones críticas: “armado e introducción de riser y de TR”.

A continuación, se continúa con la aplicación de la metodología desde el punto 3.

### **3.3.1 Recabar Parámetros Operativos del KPI de los CMTR.**

El punto 3 de la metodología, hace referencia a seleccionar los parámetros operativos provenientes de los pozos que se están perforando, o bien, de la información histórica de los mismos que se encuentran en la base de datos, del o los pozos que se estudiarán, de acuerdo a los KPI seleccionados.

➤ *Pozo M-1*

- *KPI: “Armado e introducción del Riser”,* en la Tabla 17 del apéndice A, se presentan los valores provenientes del pozo que son recibidos en los CMTR.
- *KPI: “Armado e introducción de TR 14 pg”,* en la Tabla 18 del apéndice A se muestran los datos de ésta actividad.

### **3.3.2 Depurar la Información Recabada de los CMTR.**

En éste punto 4 de la metodología, es donde seleccionamos los parámetros operativos en los CMTR, provenientes de los pozos, que afectan directamente el comportamiento del KPI seleccionado de la operación de armar y meter riser y TR de 14 pg., como ya lo mencionamos, para nuestro caso en particular trabajaremos con cuatro de ellos: tiempo, profundidad, posición del block y peso del gancho. Una vez que se seleccionan dichos parámetros, se realiza un control de calidad de los mismos para eliminar los que no tengan consistencia por problemas de ruido al momento de la medición o simplemente por existir falla en los sensores y arrojar datos erróneos.. Finalmente, una vez que contamos con los datos seleccionados y limpios de errores, se da inicio a su análisis. En las Tablas 19 y 20, que se muestran en el apéndice A, aparecen los valores depurados y con el cálculo del tiempo ( $\Delta T$ ) que les toma a las cuadrillas y/o a la plataforma, en minutos,

meter un tramo Riser y/o lingada de TR o de TP al interior del pozo Mi-1. Mismo que se calcula restando la hora en que terminó de meter el tramo del tubular con la hora en que inició a meterlo.

### **3.3.3 Análisis Estadístico de la Variable “Tiempo”.**

El punto 5 de la metodología hace referencia al estudio del comportamiento de la variable “tiempo” con respecto a los KPI seleccionados: “Armar y meter el Riser”, así como, “Armar y meter las TR’s”. Para éste análisis utilizamos la probabilidad para determinar la distribución probabilística que mejor se ajuste a la tendencia de la variable, así como el cálculo del riesgo que existe que la variable tome determinado valor o caiga en una región de la gráfica. Para lo cual se emplean histogramas y percentiles, que para nuestro caso serán el P50, de acuerdo a lo explicado anteriormente.

Retomando el ejemplo del pozo Mi-1, una vez que tenemos los datos depurados, procedemos a determinar su histograma, de acuerdo con los valores de los KPI. Ya que se tiene el histograma, tomamos de la gráfica el valor del percentil 50 (P50) de nuestra muestra y calculamos el promedio aritmético del tiempo realizado por cada KPI en estudio, de la actividad en general y por cada cuadrilla de la plataforma.

En resumen, el análisis consiste en determinar el promedio de la actividad desarrollada, así como el P50 del histograma que se obtiene de acuerdo con cada uno de los KPI, como se muestra a continuación:

- I. Armar y meter Riser, tramo por tramo considerando:
  - Conexión rápida.
  - Conexión roscada.
- II. Armar y meter TR, ya sea:
  - Metiendo tramo por tramo la TR.
  - Metiendo TR por lingadas y
  - Metiendo TR por lingadas de TP.

Cabe mencionar, que el análisis se realizará considerando la suma de los tiempos de ambas cuadrillas, para conocer el tiempo invisible de la operación en general y su impacto o beneficio económico. Así como también, determinaremos el tiempo invisible por cuadrilla y su respectivo costo. Al final, y en función de los resultados obtenidos se establecerá un indicador que nos servirá como métrica para medir el desempeño de futuras operaciones de cualquier otra plataforma de 6ta generación que realice éste tipo de operaciones de armado e introducción de tubulares al pozo.

Por lo anterior, y retomado el estudio de Pozo Mi-1 de la plataforma “SS” LM tenemos que:

➤ *Análisis del Riser.*

En la Fig.11 se muestra el histograma del KPI: “*armar y meter Riser*”, en forma general con las dos cuadrillas, en el cual nos indica que el la mayor frecuencia o repeticiones del tiempo al realizar la actividad tiene una probabilidad del 90% (ejes X de la gráfica) de que se realice con un tiempo menor o igual a 10.15 min (eje Y). Por otro lado, también tenemos que existe una probabilidad del 15% (P15) de que la introducción de un tramo de riser se realice en un tiempo mayor o igual a 22.18 min. Ambos percentiles los consideramos como los límites con los cuales trabajaremos en éste tipo de análisis. Finalmente, la probabilidad media de la operación (P50) es de 16.92 min, también es importante notar que la distribución que se ajusta al comportamiento de la variable tiempo es una Distribución Logarítmica Normal y al estar ligeramente más cargada hacia la izquierda o hacia el cero, nos indica que las cuadrillas tienen dominio en la ejecución de la actividad.

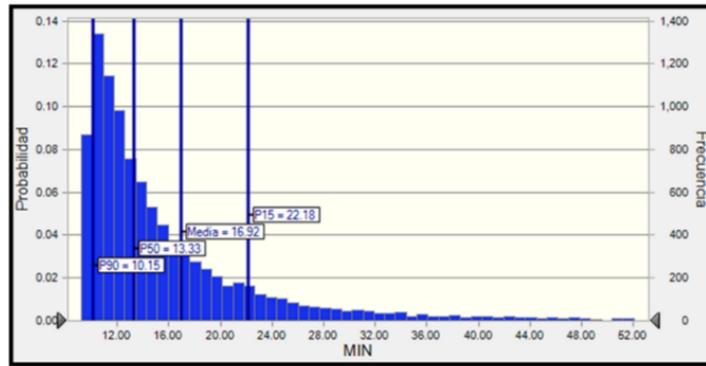


Fig.11 Histograma: armar y meter riser. Pozo Mi-1, plataforma LM.

Analizando la cuadrilla de 00-12, ver Fig. 12, se muestra el comportamiento del histograma de los tiempos realizados al meter tramo por tramo el Riser, en el cual observamos que:

- a) P90 es de 11.65 min
- b) P50 de 13.73 min
- c) P15 de 20.21 min

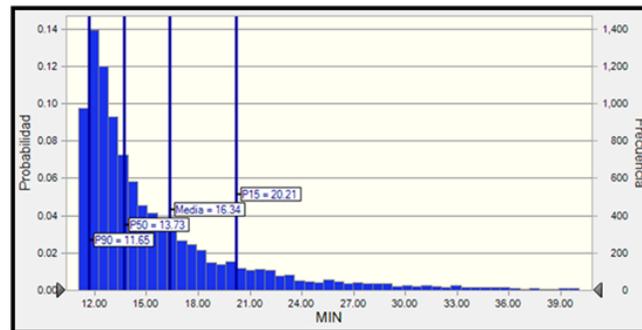


Fig.12 Histograma: armar y meter riser cuadrilla de 00-12. Pozo Mi-1, plataforma LM.

Realizando el mismo análisis para la cuadrilla de 12 a 24 hr, ver Fig.13, observamos que el histograma arroja los siguientes datos:

- a) P90 de 9.80 min.
- b) P50 de 12.64 min.
- c) P15 de 23.58 min

Y también, los datos el comportamiento de la variable se ajusta una distribución logarítmica normal.

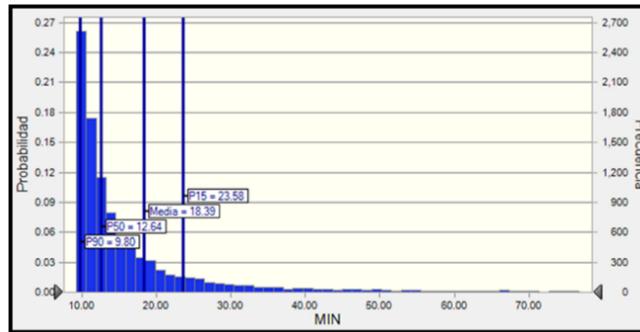


Fig.13 Histograma: armar y meter riser cuadrilla de 12-24. Pozo Mi-1, plataforma LM.

➤ *Análisis de la TR de 14 pg.*

Para el análisis de la TR de 14 pg se emplearán los KPI: “armar y meter TR tramo por tramo” y “meter TR por lingadas de TP”. Recordemos que en plataformas semisumergibles, primero se arman las TR’s y posterior se introducen al pozo por lingadas de tubería, que para las tuberías más pesadas se le conoce como landing string, o bien tubería de perforación o de trabajo, cuando el peso de la TR lo permite considerando su margen de jalón.

El comportamiento de la variable “tiempo” en la introducción de la TR de 14 pg, considerando ambas cuadrillas de la plataforma de perforación LM, se muestra en el histograma de la Fig.14 en el cual también observamos lo siguiente:

- P91 de 7.31 min.
- P50 de 10.44 min.
- P16 de 16.89 min.
- Distribución que se ajusta al comportamiento de la variable es logarítmica normal.

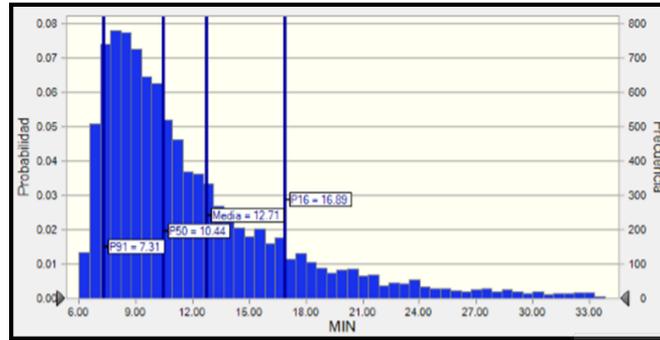


Fig.14 Histograma: armar y meter TR 14 pg tramo por tramo. Pozo Mi-1, plataforma LM.

El análisis del comportamiento del tiempo de la cuadrilla de 00 a 12 hr, se muestra en el histograma de la Fig.15, en el cual se determina:

- a) P91 de 6.92 min.
- b) P50 de 9.12 min.
- c) P15 de 13.77 min.
- d) La distribución que ajusta al comportamiento de la variable es logarítmica normal.

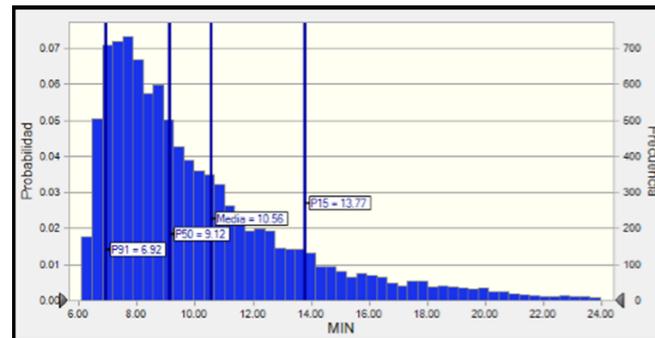


Fig.15 Histograma: Armar y meter TR 14 pg tramo por tramo, cuadrilla 00-12. Pozo Mi-1, plataforma LM.

Por otro lado, el comportamiento del tiempo de armado de la TR tramo por tramo realizado por la cuadrilla de 12 a 24 hr, se muestra en el histograma de la Fig.16, de la cual podemos determinar:

- a) P90 de 9.47 min.
- b) P50 de 13.06 min.

c) P16 de 20.96 min.

d) La distribución que ajusta al comportamiento de la variable es logarítmica normal.

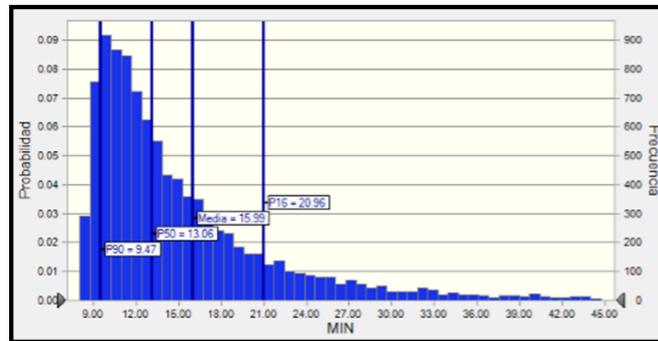


Fig.16 Histograma: Armar y meter TR 14 pg tramo por tramo, cuadrilla 12-24. Pozo Mi-1, plataforma LM.

- *Análisis de bajada de TR de 14 pg por lingadas de TP.*

A continuación, realizamos en análisis de la bajada de la tubería de revestimiento por lingadas de tubería de perforación o de trabajo. En el histograma de la Fig.17 se muestra el comportamiento del tiempo considerando las dos cuadrillas de la plataforma LM, en el cual observamos los valores de los siguientes percentiles.

a) P91 de 10.44 min.

b) P50 de 16.25 min.

c) P17 de 23.05 min.

d) La distribución que ajusta al comportamiento de la variable es logarítmica normal.

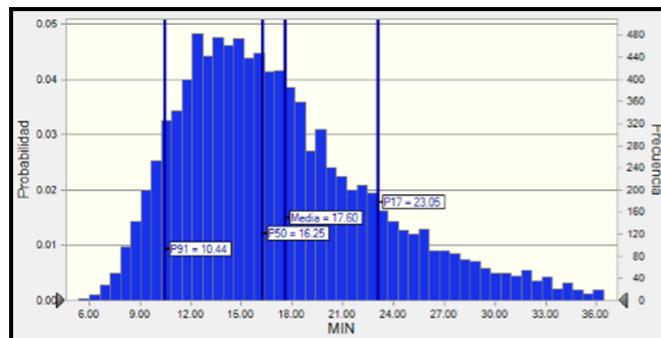


Fig.17 Histograma: meter TR 14 pg por lingadas de TP. Pozo Mi-1, plataforma LM.

El comportamiento del tiempo de la introducción de la TR por lingadas de TP realizado por la cuadrilla de 00 a 12 hr, se muestra en el histograma de la Fig.18, de la cual podemos determinar:

- P90 de 13.00 min.
- P50 de 17.64 min.
- P15 de 22.49 min.
- Distribución que ajusta al comportamiento de la variable es normal, lo que nos indica que debido a que los valores se encuentran retirados del cero, dicha cuadrilla no mostro tener dominio sobre dicha actividad.

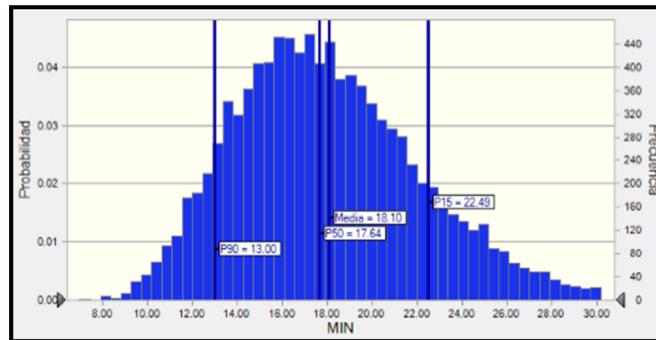


Fig.18 Histograma: Meter TR 14 pg por lingadas de TP cuadrilla de 00-12. Pozo Mi-1, plataforma LM.

Para la cuadrilla de 12 a 24, en la Fig.19 se muestra el comportamiento de la variable tiempo que realizó durante la introducción de la TR por lingadas de TP, en la cual observamos:

- P91 de 9.20 min.
- P50 de 15.18 min.
- P15 de 24.37 min.
- Distribución que ajusta al comportamiento de la variable es logarítmica normal.

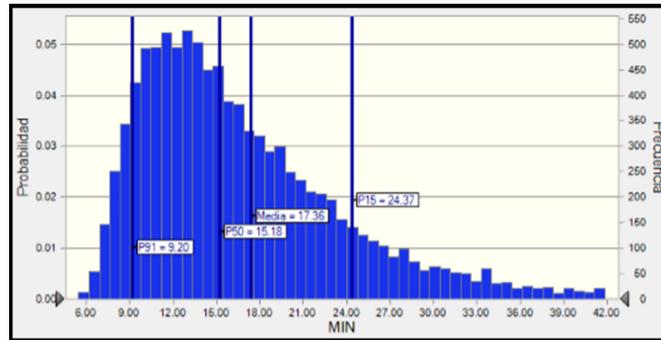


Fig.19 Histograma: Meter TR 14 pg con TP cuadrilla de 12-24. Pozo Mi-1, plataforma LM.

### 3.3.4 Cálculo del Indicador del KPI y del Tiempo Invisible por Cada Pozo y Cuadrilla de Cada Plataforma.

Una vez que tenemos el análisis probabilístico que nos determinan nuestro comportamiento de cada uno de los KPI analizados y considerando la operación de armado e introducción de la tubería de revestimiento y el riser de forma general, así como también los tiempos desglosados por cuadrilla de cada una de la plataforma que perforó el pozo. El siguiente paso (6 de la metodología) es el cálculo del indicador del KPI para la operación general, como por cada cuadrilla, para posteriormente determinar el *Tiempo Invisible Perdido* de la operación realizada, correspondiente al paso 7 de la metodología.

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos al aplicar ésta misma metodología al resto de tuberías de revestimiento que se utilizaron durante la perforación del pozo Mi-1 (22 pg, 18 pg y 11 7/8 pg), con el fin de mostrar el verdadero impacto que tiene una sola operación analizada y la importancia que tiene el análisis para identificar los tiempos invisibles en todas y cada una de las actividades realizadas a bordo de las plataformas de aguas profundas y ultra profundas, sobre el costo del proyecto pozo. Por lo anterior, y de acuerdo a los valores arrojados por cada uno de los histogramas analizados, de cada uno de los KPI, obtenemos los valores del P50 y podemos determinar el valor promedio del tiempo realizado en cada actividad, como se muestra en la Tabla 5, la cual contiene la siguiente información:

- Nombre del pozo.
- Tubular analizado.
- KPI.
- Plataforma.
- Tirante de agua.
- Tipo de conexión
- Renta diaria.
- Año.
- Número de tramos armados.
- Tiempo promedio (min/tramo).
- P50 (min/tramo)

Tabla 5 Cálculo del KPI por etapa. Pozo Mi-1.

Tubular	Riser		22 pg		18 pg		14 pg		11 7/8
	Arma y Mete	Arma y Mete	Mete TR	Arma y Mete	Mete TR	Arma y Mete	Mete TR	Mete TR	Mete TR
KPI	Riser TxT	TR TxT	/Ling TP	TR TxT	/Ling TP	TR TxT	/Ling TP	/Ling TP	/Ling TP
Plataforma SS					LM				
Tirante de Agua (m)					2941				
Tipo de Conexión	Rápida								
Renta Diaria (USD/DÍA)	\$489,000.00	\$489,000.00	\$489,000.00	\$489,000.00	\$489,000.00	\$489,000.00	\$489,000.00	\$489,000.00	\$489,000.00
Año	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015
Eventos (# tramos)	113	53	86	34	93	105	78	57	113
Tiempo Promedio (min/tramo)	17.89	16.933	12.707	15.909	12.153	13.857	17.731	12.223	9.853
Tiempo P50 (min/tramo)	13.33	12.08	8.3	11.7	9.07	10.44	16.25	7.66	8.01
Tiempo Invisible Perdido (min/tramo)	4.56	4.85	4.41	4.21	3.08	3.42	1.48	4.56	1.84
Ahorro Potencial (min)	515.28	257.21	379.00	143.11	286.72	358.79	115.52	260.09	208.26
Beneficio Económico del KPI (USD)	\$174,981	\$87,344	\$128,703	\$48,596	\$97,365	\$121,837	\$39,228	\$88,323	\$70,721
Paridad del dólar*	\$16.30	\$16.30	\$16.30	\$16.30	\$16.30	\$16.30	\$16.30	\$16.30	\$16.30
Beneficio Económico del KPI (\$)	\$2,852,182	\$1,423,705	\$2,097,855	\$792,122	\$1,587,049	\$1,985,950	\$639,416	\$1,439,658	\$1,152,757

\*Fuente, página del BNM

En la Tabla 6 se muestran los mismos resultados que en la Tabla anterior, sólo que ahora se incluyen los tiempos efectuados por las cuadrillas de cada plataforma que realizaron el armado e introducción tanto el Riser como de las TR's analizadas, es importante resaltar que no de todas las etapas se contó con la información completa, como es el caso de las TR's de 22, 18 y 11 7/8 pg.

Tabla 6 Cálculo del KPI por cuadrilla y etapa. Pozo Mi-1.

KPI	Riser		22 pg				18 pg				14 pg				11 7/8 pg			
	Armar y Meter	Riser TxT	Arma y Mete	TR TxT	Mete TR/Ling	TP	Arma y Mete	TR TxT	Mete TR/Ling	TP	Arma y Mete	TR TxT	Mete TR/Ling	TP	Arma y Mete	TR TxT	Mete TR/Ling	TP
Cuadrilla	00	12	00-12	12-24	00-12	12-24	00-12	12-24	00-12	12-24	00-12	12-24	00-12	12-24	00-12	12-24	00-12	12-24
Plataforma SS	LM																	
Tirante de Agua (m)	2941																	
Tipo de Conexión	Rápida		N/A				N/A				N/A				N/A			
Renta Diaria (USD/Día)	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000
Año	2015																	
Eventos (# tramos)	53	60	0	47	48	38	27	0	46	47	63	42	38	40	0	48	65	48
Tiempo Promedio (min/tramo)	17.28	18.433	0	14.467	10.365	15.667	10.519	0	13.508	11	11.384	17.567	18.202	17.283	0	11.241	8.825	11.25
Tiempo P50 (min/tramo)	13.73	12.64	0	10.97	7.15	12.59	10.49	0	11.5	7.94	9.12	13.06	17.64	15.18	0	8.29	5.2	10.82
Tiempo Invisible (min/tramo)																		
Tiempo Invisible Total (min)	3.55	5.793	0	3.497	3.215	3.077	0.029	0	2.008	3.06	2.264	4.507	0.562	2.103	0	2.951	3.625	0.43
Beneficio Económico del KPI (USD)	188.15	347.58	0	164.359	154.32	116.926	0.783	0	92.368	143.82	142.632	189.294	21.356	84.12	0	141.648	235.625	20.64
Paridad del dólar*	\$63,893	\$118,032	\$0	\$55,814	\$52,405	\$39,706	\$266	\$0	\$31,367	\$48,839	\$48,435	\$64,281	\$7,252	\$28,566	\$0	\$48,101	\$80,014	\$7,009
Beneficio Económico del KPI (\$)	\$1,041,449	\$1,923,928	\$0	\$909,761	\$854,193	\$647,210	\$4,334	\$0	\$511,276	\$796,074	\$789,498	\$1,047,782	\$118,210	\$465,622	\$0	\$784,051	\$1,304,233	\$114,247

Con el valor promedio de la actividad y con el P50 calculado mediante la distribución que se ajustó de acuerdo con la tendencia de los valores de cada una de las TR's analizadas, se calcula el tiempo invisible de cada una de ellas, con la ecuación 1.

$$ITI = T_{prom} - P50 \quad 1$$

Donde:

ITI, índice de tiempos invisible (min/tramo).

T<sub>prom</sub>, tiempo promedio en que se realiza la operación, (min/tramo).

P50, percentil 50 obtenido del histograma (min/tramo)

Como ya se mencionó, el paso 7 de la metodología, es donde se calcula el tiempo invisible perdido, utilizando el valor de ITI, que se determinó con la ecuación 1 y con el número de tramos armados, y se debe considerar el número total de tramos armados por ambas cuadrillas, así como también, el número de tramos armados por cada cuadrilla, para lo cual empleamos la ecuación 2.

$$TI = (ITI) (Eventos) \quad 2$$

Donde:

TI, tiempo invisible (min).

Eventos, número de tramos armados (adim).

Finalmente, el paso 9 de nuestra metodología, consiste en determinar el impacto o beneficio económico derivado del tiempo invisible calculado en el punto anterior, pone al descubierto el verdadero impacto y la importancia que tiene el determinar y reducir los tiempos invisibles perdidos. Para lo anterior, se aplica la ecuación 3, que se muestra a continuación.

$$BE = (TI) (CRE) \quad 3$$

Donde:

BE, beneficio o impacto económico (USD).

CRE, costo de reta diaria del equipo de perforación (USD/día).

Por lo que, aplicando las ecuaciones 1, 2 y 3, respectivamente, para cada una de las etapas del pozo, obtenemos los resultados que se presentan en la Tabla 7, en donde observamos que en la TR de 22 pg es donde se tuvieron la mayor cantidad de tiempos invisibles perdidos con 636 min, lo que representó una pérdida de \$216,053 USD. Considerando todas las etapas analizadas tenemos que por concepto de tiempos invisibles se perdieron un total de 2424 min (1.7 días) que representan \$857,157 USD.

Con las cifras anteriores observamos que se pudo haber ahorrado aproximadamente dos días de renta de equipo de \$489.000 USD/día.

Tabla 7 Tiempo invisible e impacto económico por etapa. Pozo Mi-1.

<b>Pozo: Mi - 1</b>							
Plataforma SS: LM							
Renta Diaria (USD): \$489,000.00							
Tirante de Agua: 2941 m							
Año: 2015							
Variable	Riser	TR 36	TR 22	TR 18	TR 14	TR 11 7/8	Total
Tiempo Invisible del KPI por Etapa (min)	515.54	S/D	636.23	429.85	474.30	468.31	
Ahorro Potencial del KPI por Etapa (USD)	\$175,070	S/D	\$216,053	\$145,971	\$161,064	\$159,029	
Tiempo Invisible Total del Pozo (min)							2524.23
Beneficio Económico (USD)							\$857,187
Paridad del dólar*							\$16.30
Beneficio Económico (pesos)							\$13,972,146
Costo Real Perforación del Pozo (pesos)							\$2,552,384,000
Costo Ajustado (pesos)							\$2,538,411,854
% Ahorro							1.0%
*Fuente, página del BNM							

En la Fig.20 se presentan, de forma gráfica, los valores del tiempo invisible de cada etapa en el eje de las ordenadas del lado izquierdo, así como de su respectivo impacto económico que representan, en el eje secundario.

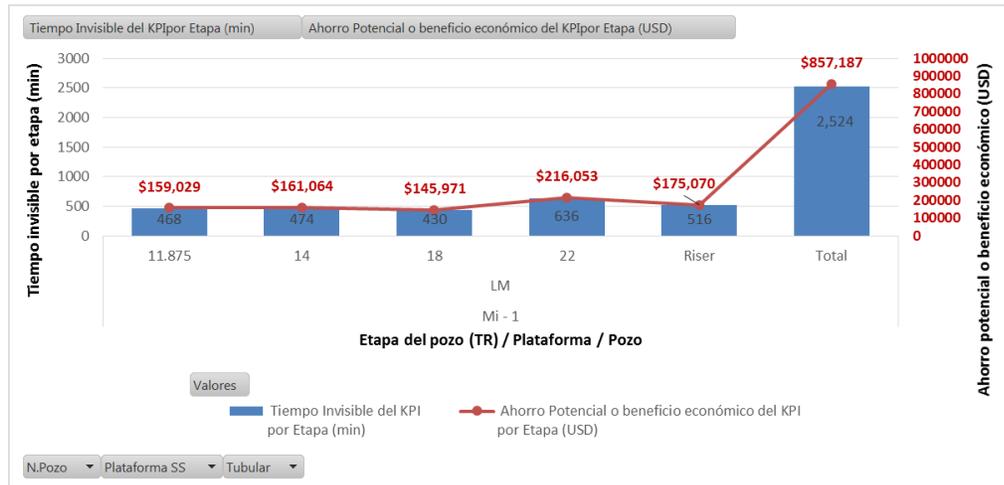


Fig.20. Tiempo invisible e impacto económico por etapa. Pozo Mi-1, plataforma LM.

El paso 10 considera, que una vez que se tiene el análisis completo hasta el cálculo del beneficio o impacto económico que representa el tiempo invisible en cada uno de los KPI por cada cuadrilla, podemos realizar un comparativo para determinar cuál de ellas fue mejor que la otra, en base al tiempo invisible perdido durante toda la actividad. Para el caso de nuestro ejemplo, ambas obtuvieron tiempos muy similares, ver Tabla 6, por lo que no es posible determinar si una fue mejor que la otra durante el armado e introducción del riser y de las TR's que se metieron al pozo.

El paso 8 indica determinar un indicador que sirva como referencia para medir futuras operaciones de éste tipo, no es posible establecerlo con el análisis de una sólo TR o de un solo riser, ya que se requiere realizar un comparativo de los tiempos empleados en diferentes pozos con tubulares del mismo diámetro para establecer si existe una tendencia que nos permita definir dicho indicador. Por lo anterior éste paso lo abordaremos en el capítulo 4 de esta tesis.

Por otro lado, los pasos 11 y 12, monitoreo y reporte a tiempo real, e implementación en los programas de diseño de pozos, así como en el seguimiento operativo de cada coordinador de pozo; queda a criterio de la empresa, de acuerdo a sus políticas y lineamientos.

## CAPITULO 4

# ANÁLISIS COSTO BENEFICIO.

---

*ANÁLISIS COSTO BENEFICIO.*

---

En éste capítulo, sólo se mostrará el análisis detallado del riser y de la TR de 9 7/8 - 9 5/8 pg, para determinar su beneficio económico de forma general y de sus respectivas cuadrillas de cada uno de los 11 pozos que se estudiaron, ver Tabla 4. Lo anterior debido a que la aplicación de la metodología es una secuencia de pasos repetitivos. Adicionalmente se mostrarán los resultados obtenidos del resto de las TR analizadas, de acuerdo a la Tabla 8. En los casos en los que el análisis lo permita, mostraremos el indicador que sirva como referencia para establecer los estándares mínimos con el cual se debería medir a las plataformas semi sumergibles de 6ta generación para lograr optimizar no sólo la actividad realizada, sino las operaciones de perforación de pozos.

En la Tabla 8 se muestran las operaciones críticas vs los KPI (indicadores críticos) con los que se estudiarán los tiempos de operación normal para determinar el tiempo invisible y su impacto económico. También se puede observar, en la tabla anterior, en que tubulares se cuenta con información del KPI para su análisis y en cuales no, o bien, en cuales no aplica por la naturaleza mismo del tubular, como es el caso del riser en donde sólo aplica el armar y bajar cada tramo hasta el lecho marino.

Para lograr realizar un análisis objetivo, se debe entender la relación y/o comportamiento de los tiempos con respecto a las siguientes variables:

- Tirante de Aguas.
- Plataforma.
- Costo de renta diaria de plataforma
- Tipo de conexión.
- Número de juntas armadas.
- Cuadrilla de plataforma
- Beneficio económico, etc.

Tabla 8 Operaciones críticas vs KPI.

Operación Crítica	KPI, Tiempo Perdido Invisible(min/tramo)		
Armado e introducción del Riser	Mete TR TxT	No aplica	
Armado e introducción TR 28 pg		Sin Información	Mete TR/Ling TP
Armado e introducción TR 22 pg			
Armado e introducción TR 20 pg			
Armado e introducción TR 18 pg			
Armado e introducción TR 16 pg			
Armado e introducción TR 14 pg		Mete TR x Ling	
Armado e introducción TR 13 5/8 pg			
Armado e introducción TR 11 3/4 y 11 7/8 pg			
Armado e introducción TR 10 3/4 y 9 5/8 pg			
Armado e introducción TR 9 7/8 y 9 5/8 pg			

#### 4.1 Análisis del Armado e Introducción del Riser.

En la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos del análisis estadístico (P50 y promedio aritmético del tiempo realizado en el armado e introducción de cada tramo) de la información recabada de los centros de monitoreo a tiempo real, proveniente de los 10 pozos perforados con las plataformas “SS”: Bi, Ce, LM y WP, para el armado e introducción del riser. La información que se muestra es la siguiente:

- a. Plataforma.
- b. Tirante de agua.
- c. Tipo de conexión para el armado del riser.
- d. Costo de la renta diaria de la plataforma.
- e. Año.
- f. Número de tramos armados.
- g. Longitud de TR armada o de TP para introducir al fondo del pozo (m).

- h. Indicador de tiempo invisible perdido (min/tramo).
- i. Tiempo invisible total (min).
- j. Beneficio o impacto económico (USD).

Tabla 9 Resultado estadístico en el armado e introducción del riser.

Variable	T - 1	V - 1	A - 1	N - 1 DL	L - 11	L - 32	C - 1	E - 101	Mi-1	M - 1DL
Plataforma SS	Bi	Bi	Ce	LM	Ce	Ce	Bi	WP	LM	WP
Tirante de Agua (m)	2201	2791	2220	2675	1065	1129	2114	2825	2941	3014
Tipo de Conexión	Rápida	Rápida	Roscada	Rápida	Roscada	Roscada	Rápida	Roscada	Rápida	Roscada
Renta Diaria (USD/DÍA)	\$530,000	\$530,000	\$495,000	\$489,000	\$495,000	\$495,000	\$530,000	\$465,000	\$489,000	\$465,000
Año	2012	2015	2015	2015	2013	2014	2015	2015	2015	2014
Eventos (# tramos)	110	115	96	116	49	46	86	119	113	117
Longitud armada (m)	2530	2645	2208	2668	1127	1058	1978	2737	2599	2691
Tiempo Promedio (min/tramo)	21.23	13.50	26.34	23.308	44.87	31.648	17.224	42.67	17.89	25.73
Tiempo P50 (min/tramo)	15.78	11.2	24.04	20.53	37.62	26.11	11.56	29.07	13.33	24.32
Tiempo Invisible Perdido (min/tramo)	5.45	2.30	2.30	2.78	7.25	5.54	5.664	13.60	4.56	1.41
Tiempo Invisible Total (min)	599.50	264.16	220.80	322.25	355.25	254.75	487.104	1618.40	515.28	164.97
Beneficio Económico del KPI (USD)	\$220,649	\$97,224	\$75,900	\$109,430	\$122,117	\$87,570	\$179,281	\$522,608	\$174,981	\$53,272
Paridad del dólar*	\$12.99	\$14.64	\$16.21	\$16.98	\$12.99	\$13.08	\$16.39	\$15.57	\$16.30	\$14.99
Beneficio Económico del KPI (\$)	\$2,866,234	\$1,423,355	\$1,230,339	\$1,858,122	\$1,586,302	\$1,145,411	\$2,938,421	\$8,137,012	\$2,852,182	\$798,541

\*Fuente, página del BNM

Para determinar el beneficio que tiene la identificación de los tiempos invisibles, se tiene que entender el comportamiento ellos con relación a las variables descritas anteriormente. Para lograr lo anterior, se debe realizar un análisis cruzado de mismas y de ésta forma conocer que plataforma o que cuadrilla, que realizó la operación, realizó los menores tiempos invisibles.

En la Fig.21 se observa que al graficar tirante de aguas y tiempos invisible perdido (min), en el eje secundario de la gráfica, contra el beneficio económico (USD), en el eje principal de la gráfica, no existe una tendencia marcada que nos indique que a mayor T.A. se tengan los mayores costos o viceversa, que a menores tirantes de agua se tengan los menores costos. Lo anterior se puede explicar observando el pozo E-101 que tiene un T.A. de 2825 m y perdió 27 hr (1618 min) lo que representó un impacto económico de \$522,608 USD, lo que lo convierte en el pozo con el mayor tiempo invisible perdido y con el mayor impacto económico de todos. Por otro lado, el pozo M-1DL que tiene un T.A. muy parecido al pozo E-101 (3014 m) sólo perdió 3 hr (165 min) que representa un impacto económico de \$53,272 USD y lo coloca como el mejor pozo al perder la menor cantidad de tiempo.

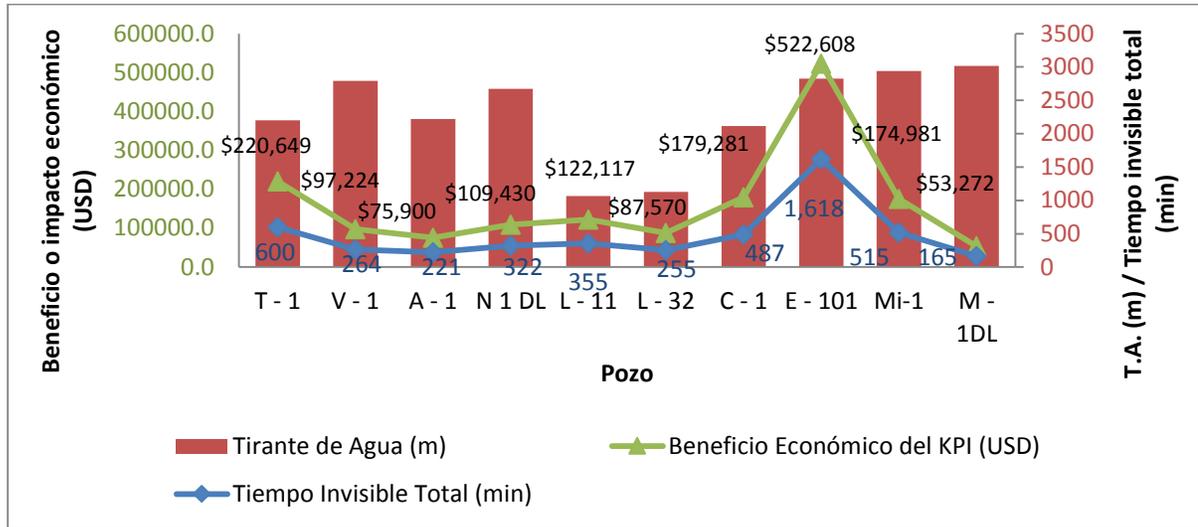


Fig.21 Tiempo total perdido por pozo vs impacto económico.

De acuerdo a las variables que aparecen en la Tabla 9, se encuentra el tipo de conexión, la cual puede ser de dos tipos: rápida o roscada, como se muestra en la Tabla 10. El primer sistema de apriete lo tienen las plataformas Bi y LM, mientras que el segundo sistema de enrosque las plataformas Ce y WP. En la tabla anterior se observan los 10 pozos que se estudiaron, de los cuales 5 utilizaron el sistema de rápido y los otros 5 el sistema roscado. Para determinar cuál de los dos es el más eficiente, se graficaron los datos anteriores contra el tiempo invisible perdido, ver Fig.22.

En la Fig.22 se muestra que los pozos que utilizaron el sistema roscado para la introducción del riser, realizaron un tiempo promedio al armar cada tramo de 6.02 min. Mientras que los pozos de las plataformas Bi y LM con sistema rápido, armaron cada tramo de riser con un tiempo promedio de 4.15 min el sistema roscado. Con la información de la gráfica anterior podemos concluir que *el mejor tiempo en ésta operación fue de 3.67 min/tramo, miso que podemos considerar como índice de referencia* al tratarse del menor valor obtenido Lo anterior de acuerdo al punto 8 de nuestra metodología. Por otro lado, para el sistema roscado el índice será de 5.03 min/tramo, que es el mejor tiempo de la plataforma Ce. Es importante notar que *el utilizar sistemas de apriete rápido en las plataformas “SS” de sexta generación representa un 50% de ahorro en los tiempos de operación, o lo que es lo mismo, reducir a la mitad los tiempos invisibles.*

Tabla 10 Resultados de tiempos perdidos invisibles por tipo de conexión.

Etiquetas de fila	Número de Pozos	Tiempo Invisible Perdido (min/tramo)
<b>Rápida</b>	<b>5</b>	<b>4.15</b>
Bi	3	4.47
LM	2	3.67
<b>Roscada</b>	<b>5</b>	<b>6.02</b>
Ce	3	5.03
WP	2	7.51
<b>Total general</b>	<b>10</b>	<b>5.08</b>

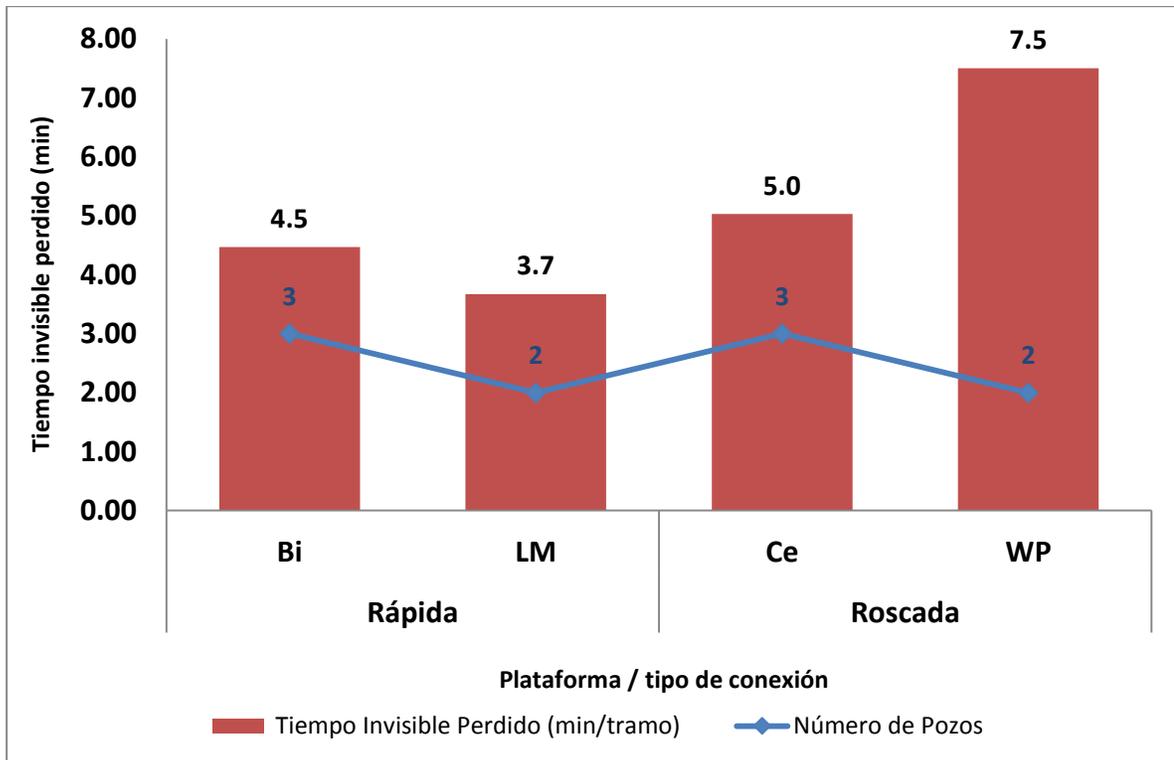


Fig.22 Tiempos invisibles promedio por plataforma vs tipo de conexión.

Para determinar el impacto o beneficio económico (paso 9 de la metodología) que representaron los tiempos invisibles en los diez pozos que se analizaron, graficaremos el año en que se intervinieron (eje de las abscisas) contra impacto económico (eje de las ordenadas) y el número de pozos perforados (eje secundario de las ordenadas), ver Fig.23, en donde observamos que en el año 2015 se perforaron 6 de todos los pozos analizados, mismos que presentaron una pérdida económica de \$1, 159,424 USD debido

al tiempo invisible. Por otro lado, el ahorro total o beneficio económico desde el año 2012 hasta el 2015 fue de \$1, 643,032 USD sólo por concepto de armado e introducción del Riser.

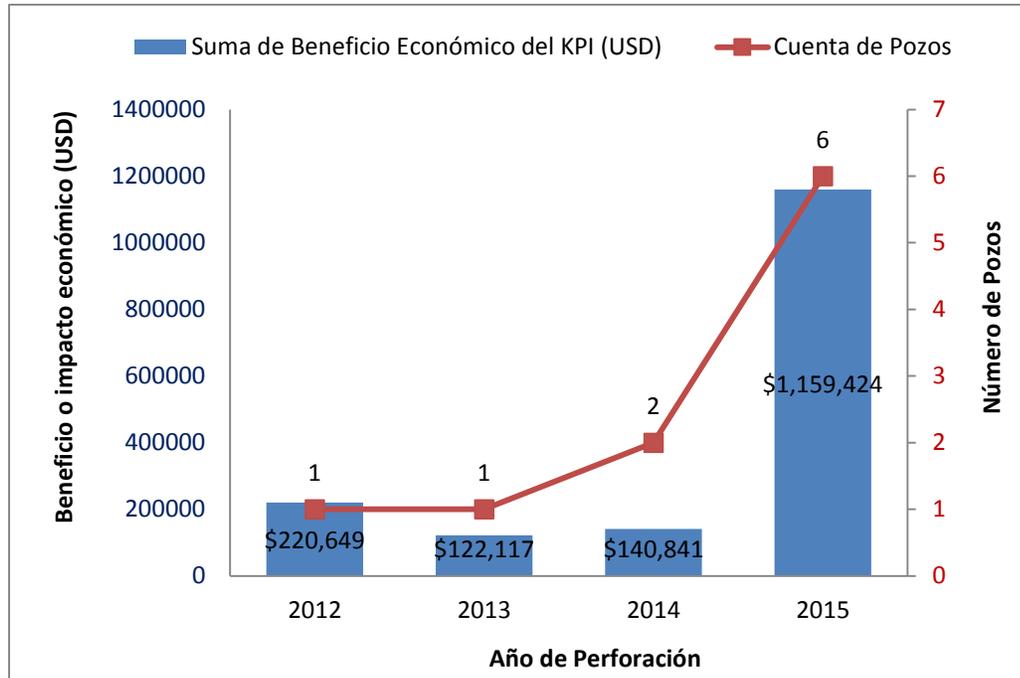


Fig.23. Ahorro potencial Vs número de pozos analizados por año de intervención.

#### 4.1.1 Análisis por Cuadrillas de la Plataforma.

El paso 11 de la metodología establece determinar que cuadrilla, de cada plataforma fue la que presentó el menor tiempo invisible perdido durante la operación de armado e introducción del riser. Para determinar que cuadrilla, de las que laboran aborda de una plataforma de 6ta generación, es la que trabaja de manera más eficiente, es necesario analizar los tiempos que realiza cada una de ellas, considerando las mismas variables para ambas, como son:

- Generación de plataforma.
- Número de pozos perforados.
- Sistema de apriete del riser

- Índice del tiempo perdido invisible (ITPI) por tramo armado, como se muestra en la Tabla 11.

En la Tabla 11 se muestran los resultados obtenidos de los histogramas de cada una de las cuadrillas analizadas, mismos que se ordenan de acuerdo a la plataforma y pozo en la cual trabajaron. Por otro lado, se muestra el índice del tiempo invisible en minutos por tramo de cada uno de ellos.

Tabla 11 Índice de tiempo invisible por cuadrilla vs tipo de conexión.

<b>Variable</b>	<b>Tiempo invisible perdido cuadrilla 00-12 (min/tramo)</b>	<b>Tiempo invisible perdido cuadrilla 12-24 (min/tramo)</b>
<b>Rápida</b>	<b>19.641</b>	<b>21.355</b>
<b>Bi</b>	<b>14.351</b>	<b>13.629</b>
C-1	5.598	5.998
T-1	6.01	4.98
V-1	2.743	2.651
<b>LM</b>	<b>5.29</b>	<b>7.726</b>
Mi-1	3.55	5.793
N-1DL	1.74	1.933
<b>Roscada</b>	<b>35.501</b>	<b>30.355</b>
<b>Ce</b>	<b>14.236</b>	<b>19.71</b>
A-1	1.31	2.84
L-11	8.55	7.513
L-32	4.376	9.357
<b>WP</b>	<b>21.265</b>	<b>10.645</b>
E-101	20.07	8.834
M-1DL	1.195	1.811
<b>Total general</b>	<b>55.142</b>	<b>51.71</b>

En la Fig.24 se grafican los valores de la tabla anterior, quedando en el eje de las ordenadas el valor del índice del tiempo invisible en minutos por cada trama armado y en las abscisas el pozo, plataforma y sistema de aprieta. De la tabla anterior observamos que las cuadrillas con un sistema rápido tienen un mejor comportamiento que las cuadrillas con sistema roscado y, por lo tanto, realizaron más rápido la operación de armado de riser con el menor tiempo invisible perdido para cada tramo. Por otro lado, analizando cada sistema de apriete por separado, tenemos que para la junta rápida, ambas cuadrillas de los 10 pozos analizados presentan un dominio sobre la actividad y

fue muy parejo su rendimiento, siendo las cuadrillas de la plataforma LM en el pozo N-1DL quienes realizaron la operación con el menor tiempo invisible perdido por trama con 1.8 min/tramo en promedio. Mientras que, para el sistema roscado, las cuadrillas de la plataforma WP en el pozo M-1DL obtuvieron los mejores resultados.

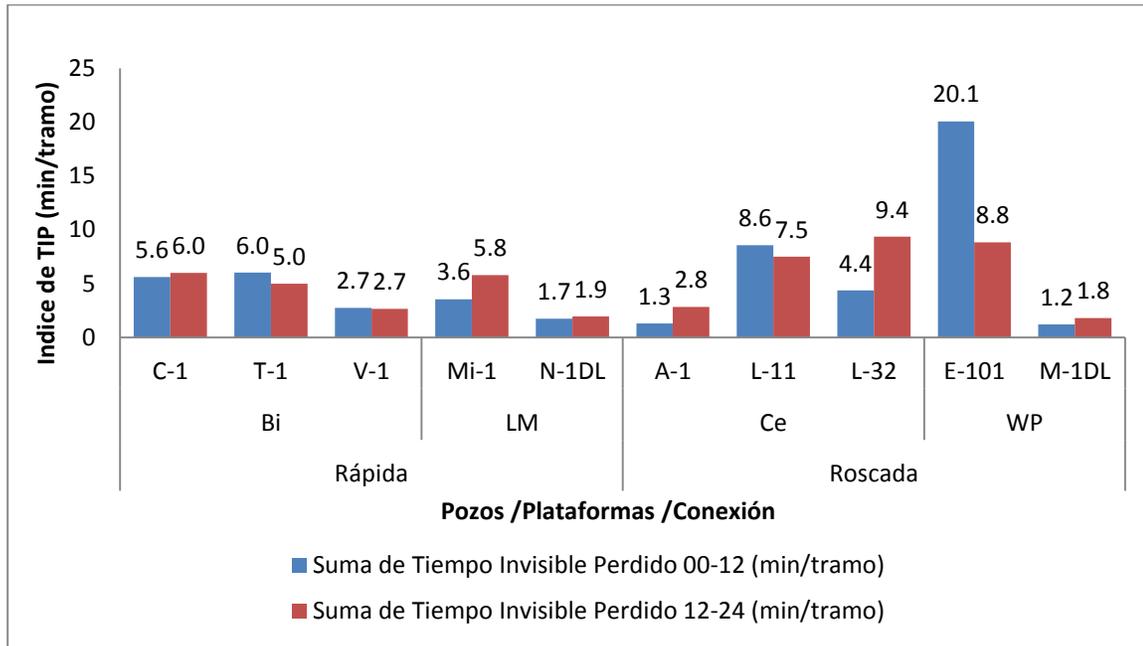


Fig.24 Tiempos perdidos invisibles por cuadrilla Vs plataforma / pozo.

#### 4.2 Análisis del Armado e Introducción de la TR de 9 7/8-9 5/8 pg.

En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos de los histogramas de la información recabada de los centros de monitoreo a tiempo real para la introducción de la TR de 9 7/8 – 9 5/8”, en la cual observamos siete pozos que se analizaron y que fueron perforados con las plataformas Ce, WP y LM, así como la información que a continuación se enlista, y con la que se realizó el estudio para determinar los tiempos perdidos invisibles de acuerdo a la actividad y a los KPI analizados “Arma y Mete TR TxT”, “Meter TR x Ling” y “Meter TR/Ling TP”; de forma general como para cada cuadrillas.

- a. Plataforma.
- b. Tirante de agua (m).

- c. Año en que de perforó.
- d. Número de tramos armados (eventos).
- e. Número de tramos armados (eventos).
- f. Longitud de TR armada o de TP para introducir al fondo del pozo (m).
- g. P50 (min/tramo).
- h. Indicador de tiempo perdido invisible (min/tramo).
- i. Ahorro potencial en tiempo (min).
- j. Beneficio o impacto económico (USD), etc.

Tabla 12. KPI, armado e introducción de TR 9 7/8 – 9 5/8 pg.

Pozo	Lakach - 11		Lakach - 32		Maximino - 1DL		Nat - 1	
	Arma y Mete TR	Mete TR /Ling	Arma y Mete TR	Mete TR /Ling	Arma y Mete TR	Mete TR /Ling	Arma y Mete TR	Mete TR /Ling
	TxT	TP	TxT	TP	TxT	TP	TxT	TP
Plataforma SS	Ce		WP		LM			
Tirante de Agua (m)	1065	1065	1129	1129	3014	3014	2633	2633
Renta Diaria (USD/DÍA)	\$495,000	\$495,000	\$495,000	\$495,000	\$465,000	\$465,000	\$489,000	\$489,000
Año	2013	2013	2014	2014	2014	2014	2014	2014
Eventos (# tramos)	59	18	98	0	0	131	26	106
Longitud armada (m)	767	675	1274	0	0	4912.5	338	3975
Tiempo Promedio (min/tramo)	6.613	234	8.361	0	0	5.907	3.465	5.937
Tiempo P50 (min/tramo)	5.52	13.108	7.54	0	0	5.06	2.97	4.19
Tiempo Invisible Perdido (min/tramo)	1.09	220.89	0.82	0.00	0.00	0.85	0.50	1.75
Ahorro Potencial (min)	64.49	3976.06	80.46	0.00	0.00	110.96	12.87	185.18
Beneficio Económico del KPI (USD)	\$22,167	\$1,366,769	\$27,657	\$0	\$0	\$35,830	\$4,370	\$62,885
Paridad del dólar*	\$12.99	\$12.99	\$13.08	\$13.08	\$14.99	\$14.99	\$14.68	\$14.68
Beneficio Económico del KPI (\$)	\$287,955	\$17,754,333	\$361,759	\$0	\$0	\$537,090	\$64,158	\$923,148

Pozo	Nat - 1DL		Exploratus - 101		Alaw - 1	
	Mete TR x Ling	Mete TR /Ling	Mete TR x Ling	Mete TR /Ling	Mete TR x Ling	Mete TR /Ling
		TP		TP		TP
Plataforma SS	LM		WP		Ce	
Tirante de Agua (m)	2675	2675	2825	2825	2220	2220
Renta Diaria (USD/DÍA)	\$489,000	\$489,000	\$465,000	\$465,000	\$495,000	\$495,000
Año	2015	2015	2015	2015	2015	2015
Eventos (# tramos)	18	81	0	102	26	51
Longitud armada (m)	234	3037.5	0	3825	338	1912.5
Tiempo Promedio (min/tramo)	12.453	5.261	0	4.988	9.712	4.855
Tiempo P50 (min/tramo)	10.96	3.86	0	3.82	7.77	4.72
Tiempo Invisible Perdido (min/tramo)	1.49	1.40	0.00	1.17	1.94	0.14
Ahorro Potencial (min)	26.87	113.48	0.00	119.14	50.49	6.89
Beneficio Económico del KPI (USD)	\$9,126	\$38,536	\$0	\$38,471	\$17,357	\$2,367
Paridad del dólar*	\$16.98	\$16.98	\$15.57	\$15.56	\$16.21	\$16.21
Beneficio Económico del KPI (\$)	\$154,959	\$654,346	\$0	\$598,609	\$281,351	\$38,365

\*Fuente. página del BNM

De acuerdo al paso 8, de la metodología, determinar un indicador que nos permita medir el comportamiento futuro de éste tipo de actividad en plataformas de sexta generación, realizaremos, al igual que para el estudio del riser, un análisis de gráficas cruzadas de acuerdo al pozo de cada plataforma, entre las variables (Fig.24):

- Número de tramos armados.
- Longitud armada por cada KPI (m).

- KPI.
- Tiempo invisible perdido total (min).

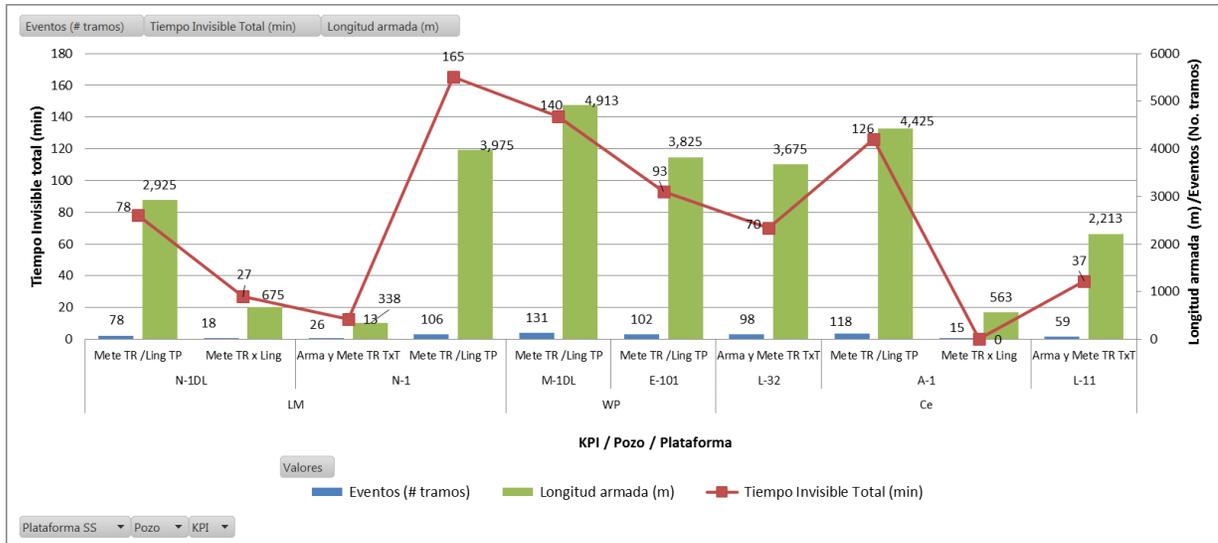


Fig.25. TPI Vs KPI Vs pozo perforado / plataforma "SS", TR 9 7/8 – 9 5/8 pg.

De la Fig.24 observamos las barras de color azul el número de tramos de TR armados, barras verdes la longitud armada y la curva marrón el tiempo invisible perdido en minutos, de las cuales interpretamos lo siguiente:

- A. De acuerdo a la Plataforma.
  - a. Plataforma "SS" LM perforó dos pozos: N-1DL y N-1.
  - b. Plataforma "SS" WP perforó los pozos: M-1DL y E-101.
  - c. La plataforma "SS" Ce perforó tres pozos: L-32, A-1 y L-11.
- B. De acuerdo al Pozo.
  - a. Los pozos: N-1, L-11 y L-32 realizaron la actividad de "Arma y Mete TR TxT", la cual no se considera como KPI, por no utilizar el equipo de la plataforma de 6ta generación para el armado de la tubería fuera de línea y optimizar dicha operación, sin embargo, se analizarán sus tiempos.
  - b. Los pozos L-32 y L-11 no realizaron la actividad "Meter TR/Ling TP", debido a que dichos pozos metieron al pozo una TR combinada con 10 ¾ pg.
  - c. Los pozos del equipo de perforación WP: M-1DL y E-101, no contaron con suficiente información del KPI "Meter TR x Ling" por lo que no se tienen resultados.
- C. De acuerdo a la Actividad y/o KPI.
  - a. Actividad "Arma y Mete TR TxT", los pozos N-1, L-32 y L-11 perdieron en total 120 minutos de tiempo invisible, siendo el L-32 el que presentó la

mayor área de oportunidad al perder 70 min y el N-1 el que tuvo el menor tiempo invisible con 13 min.

- b. Considerando el KPI “*Mete TR x Ling*”, el pozo A-1 de la plataforma Ce, realizó la operación de forma óptima al no presentar tiempo perdidos durante el armado de sus 15 lingadas de tubería de revestimiento. Por otro lado, el pozo N-1 del equipo LM perdió 27 min en 18 lingadas armadas.
- c. *Analizando de forma conjunta las dos actividades anteriores: “Arma y Mete TR TxT” y “Mete TR x Ling”, ver Fig.25, observamos que todos los pozos que armaron tramo a tramo al estar introduciendo la TR al pozo perdieron más tiempo invisible que los que bajaron la tubería de revestimiento por lingadas, con excepción del pozo N-1 que metió la TR TxT y sólo perdió 13 minutos contra los 27 min perdidos del pozo N-1DL.*
- d. Considerando el KPI “*Mete TR/Ling TP*”, el menor tiempo invisible fue del pozo E-101 de la plataforma WP con 93 minutos, a pesar de que el pozo N-1DL perdió sólo 78 minutos, sin embargo, armó 78 paradas que comparadas con las 102 lingadas del pozo E-10 le da un mejor rendimiento en la operación. Los pozos de mayor área de oportunidad son el N-1 del equipo LM con 165 min de tiempo invisible en las 106 paradas armadas, así como, el pozo M-1DL, de la WP con 140 min de tiempo invisible en 131 lingadas.

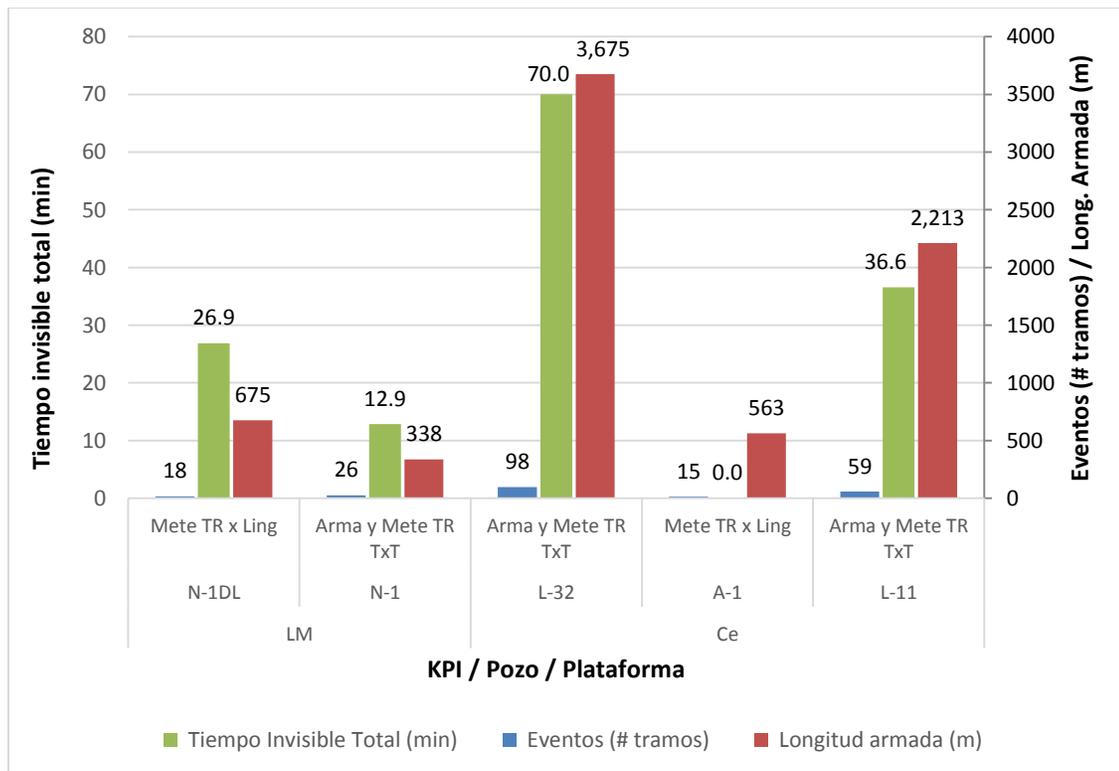


Fig.26. Análisis de actividades “meter TR x Ling” vs “armar y meter TR TxT”.

Con el análisis anterior podemos establecer, que la actividad “Arma y Mete TR TxT” no es una buena práctica operativa en equipos de “SS” de sexta generación o en aquellos con tengan la posibilidad de armar la TR por lingadas fuera de línea con apoyo de la segunda silla del perforador y en el agujero auxiliar del piso de perforación. Por otro lado, podemos determinar que si analizamos de forma conjunta la actividad de armar y meter la TR de 9 7/8 - 5/8 a la profundidad de asentamiento, la plataforma “SS” LM fue la de mejor desempeño en el pozo N-1DL la cual perdió un total de tiempo invisible de 105 min por los dos KPI analizados. Sin embargo, para confirmar o determinar la verdadera eficiencia del pozo y/plataforma se analizará el impacto o beneficio económico que ésta operación representó (paso 9 de la metodología) considerando un indicador del tiempo total perdido invisible Vs el impacto económico, como se muestra en la Fig.26 en la cual las barras de color azul representan el índice de tiempo perdido invisible en min/tramo, las barras verdes el beneficio económico y la de color marrón los tramos armados.

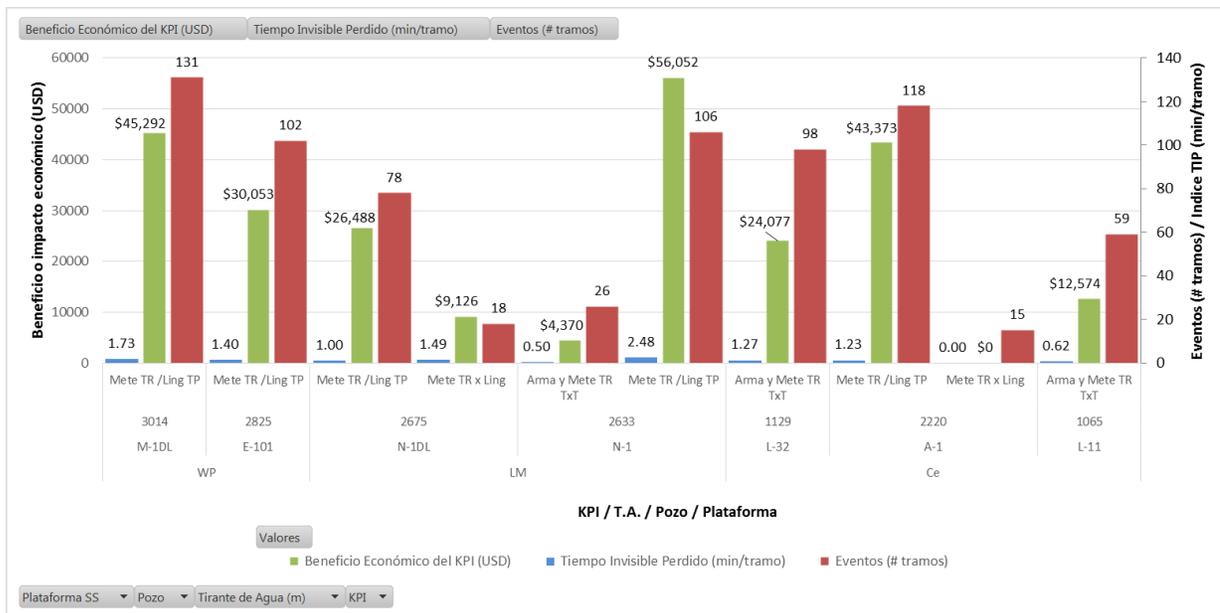


Fig.27. Gráfica de tiempo invisible perdido total Vs impacto económico, TR 9 7/8 – 9 5/8

pg.

De acuerdo a la información analizada y con apoyo de la Fig.26 podemos establecer que el indicador (paso 8 de la metodología) para el KPI “Mete TR x Ling” será de 1.49 min/tramo. Para el KPI “Meter TR/Ling TP” de 1.56 min/tramo, que es el promedio de los cinco pozos que realizaron esta actividad. Con relación al impacto o beneficio económico (paso 9 de la metodología) tenemos que para el armado e introducción de la TR por lingadas al pozo de los dos pozos que realizaron esta operación se perdió \$9,126 USD en 27 min, mientras que para la operación de meter la TR al pozo por lingadas de tubería de perforación se perdieron 603 min de tiempo invisible que representan \$201,257 USD. Para la actividad de armar y meter tramo por tramo la TR de 9 7/8 – 9 5/8 se perdieron \$41,021 USD con 119 minutos de tiempo invisibles.

#### **4.2.1 Análisis por Cuadrilla de la Plataforma.**

El punto número 10 de la metodología establece que se termine que cuadrilla fue la que obtuvo el mejor desempeño durante la ejecución de la operación de armar y meter la TR de 9 5/8 – 9 7/8 pg al pozo, por lo que se deben considerar los mismos criterios de análisis, del análisis anterior a cada cuadrilla, para conocer el desempeño de las mismas en cada una de las plataformas “SS” de sexta generación: LM, WP y Ce. De acuerdo al resultado de los datos obtenidos de los histogramas, que se muestra en la Tabla 13, en la cual aparecen por cuadrilla y por KPI “Armar y Meter TR TxT”, “Meter TR x Ling” y “Meter TR/Lig TP”, las siguientes variables:

- a) Pozo.
- b) Tirante de agua (m).
- c) KPI.
- d) Renta diaria de equipo (USD/día)
- e) Año de intervención.
- f) Longitud total de TR armada.
- g) Número de tramos armados.
- h) P50 (min/tramo).
- i) Tiempo perdido invisible (min/tramo).

- j) Ahorro potencial (min).  
 k) Beneficio económico o impacto económico (USD).

Tabla 13. Análisis de los KPI por cuadrilla. TR 9 7/8 – 9 5/8 pg.

Plataforma SS	Ce				Ce				WP				LM			
KPI	Cuadrilla 00-12		Cuadrilla 12-24													
Pozo	L-11				L-32				M-1DL				N-1			
Tirante de Agua (m)	1065				1129				3014				2633			
Actividad	Arma y mete TR TxT	Mete TR/Ling TP	Arma y mete TR TxT	Mete TR/Ling TP	Arma y mete TR TxT	Mete TR/Ling TP	Arma y mete TR TxT	Mete TR/Ling TP	Arma y mete TR TxT	Mete TR/Ling TP	Arma y mete TR TxT	Mete TR/Ling TP	Arma y mete TR TxT	Mete TR/Ling TP	Arma y mete TR TxT	Mete TR/Ling TP
Renta Diaria (USD/DÍA)	\$495,000	\$495,000	\$495,000	\$495,000	\$495,000	\$495,000	\$495,000	\$495,000	\$465,000	\$465,000	\$465,000	\$465,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000
Año	2013				2014				2014				2014			
Eventos (# tramos)	0	0	59	0	33	0	65	0	0	28	0	103	0	78	26	28
Longitud armada (m)	0	0	2212.5	0	1237.5	0	2437.5	0	0	1050	0	3862.5	0	2925	338	1050
Tiempo Promedio (min/tramo)	0	0	6.13	0	7.247	0	9.006	0	0	5.143	0	6.115	0	6.813	3.465	3.496
Tiempo P50 (min/tramo)	0	0	5.51	0	6.85	0	8.13	0	0	4.64	0	4.89	0	4.9	2.97	2.93
Tiempo Invisible Perdido (min/tramo)	0.00	0.00	0.62	0.00	0.40	0.00	0.88	0.00	0	0.503	0	1.225	0	1.913	0.495	0.566
Ahorro Potencial (min)	0.00	0.00	36.58	0.00	13.10	0.00	56.94	0.00	0	14.084	0	126.175	0	149.214	12.87	15.848
Beneficio Económico del KPI (USD)	\$0	\$0	\$12,574	\$0	\$4,503	\$0	\$19,573	\$0	\$0	\$4,548	\$0	\$40,744	\$0	\$50,671	\$4,370	\$5,382
Paridad del dólar*	\$12.99	\$12.99	\$12.99	\$12.99	\$13.08	\$13.08	\$13.08	\$13.08	\$14.99	\$14.99	\$14.99	\$14.99	\$14.99	\$14.68	\$14.68	\$14.68
Beneficio Económico del KPI (\$)	\$0	\$0	\$163,341	\$0	\$58,905	\$0	\$256,016	\$0	\$0	\$68,174	\$0	\$610,753	\$0	\$743,844	\$64,158	\$79,004

Plataforma SS	LM				WP				Ce			
KPI	Cuadrilla 00-12		Cuadrilla 12-24		Cuadrilla 00-12		Cuadrilla 12-24		Cuadrilla 00-12		Cuadrilla 12-24	
Pozo	N-1DL				E-101				A-1			
Tirante de Agua (m)	2675				2825				2220			
Actividad	Mete TR x Ling	Mete TR/Ling TP	Mete TR x Ling	Mete TR/Ling TP	Mete TR x Ling	Mete TR/Ling TP	Mete TR x Ling	Mete TR/Ling TP	Mete TR x Ling	Mete TR/Ling TP	Mete TR x Ling	Mete TR/Ling TP
Renta Diaria (USD/DÍA)	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$489,000	\$465,000	\$465,000	\$465,000	\$465,000	\$495,000	\$495,000	\$495,000	\$495,000
Año	2015				2015				2015			
Eventos (# tramos)	0	78	18	0	0	69	0	33	15	15	0	103
Longitud armada (m)	0	2925	675	0	0	2587.5	0	1237.5	562.5	562.5	0	3862.5
Tiempo Promedio (min/tramo)	0	4.79	12.453	0	0	5.6	0	3.552	4.29	4.29	0	6.115
Tiempo P50 (min/tramo)	0	3.79	10.96	0	0	4.3	0	3.45	4.29	4.29	0	4.89
Tiempo Invisible Perdido (min/tramo)	0	1	1.493	0	0	1.3	0	0.102	0	0	0	1.225
Ahorro Potencial (min)	0	78	26.874	0	0	89.7	0	3.366	0	0	0	126.175
Beneficio Económico del KPI (USD)	\$0	\$26,488	\$9,126	\$0	\$0	\$28,966	\$0	\$1,087	\$0	\$0	\$0	\$43,373
Paridad del dólar*	\$16.98	\$16.98	\$16.98	\$16.98	\$15.56	\$15.56	\$15.56	\$15.56	\$16.21	\$16.21	\$16.21	\$16.21
Beneficio Económico del KPI (\$)	\$0	\$449,758	\$154,959	\$0	\$0	\$450,705	\$0	\$16,913	\$0	\$0	\$0	\$703,071

\*Fuente, página del BNM

Para determinar el comportamiento de las diferentes cuadrilla da cada plataformas analizadas, se realizó, nuevamente, un análisis de gráficas cruzadas con las variables antes mencionadas, ver Fig.27, donde se muestra la longitud armada de tubular (barra color verde) Vs indicador del tiempo perdido invisible por tramo armado (línea marrón), de acuerdo a la cuadrilla y al KPI. De la figura anterior observamos lo siguiente:

- Actividad “Arma y Meter TR TxT”.
  - Esta actividad fue realizada por dos plataformas: LM y la Ce, de ésta última, la cuadrilla de 00-12 perdió el menor tiempo invisible con una relación de 0.40 minuto por cada tramo armado, sin embargo, la cuadrilla de 12-24 del mismo equipo realizó un muy buen trabajo, al obtener un indicador de tiempo invisible también bastante bajo de 0.88 min/tramo.

➤ KPI “Mete TR x Ling”.

- La cuadrilla de 00-12 de la plataforma Ce en el pozo A-1, fue la única que realizó ésta actividad, de los dos pozos analizados, sin ningún tiempo invisible perdido durante toda la operación, por lo que fue la más eficiente. Por otro lado, la cuadrilla de 12-24 del equipo LM en el pozo N-1DL tuvo una relación de tiempo pedido invisible de 1.49 minutos por cada lingada que armo.

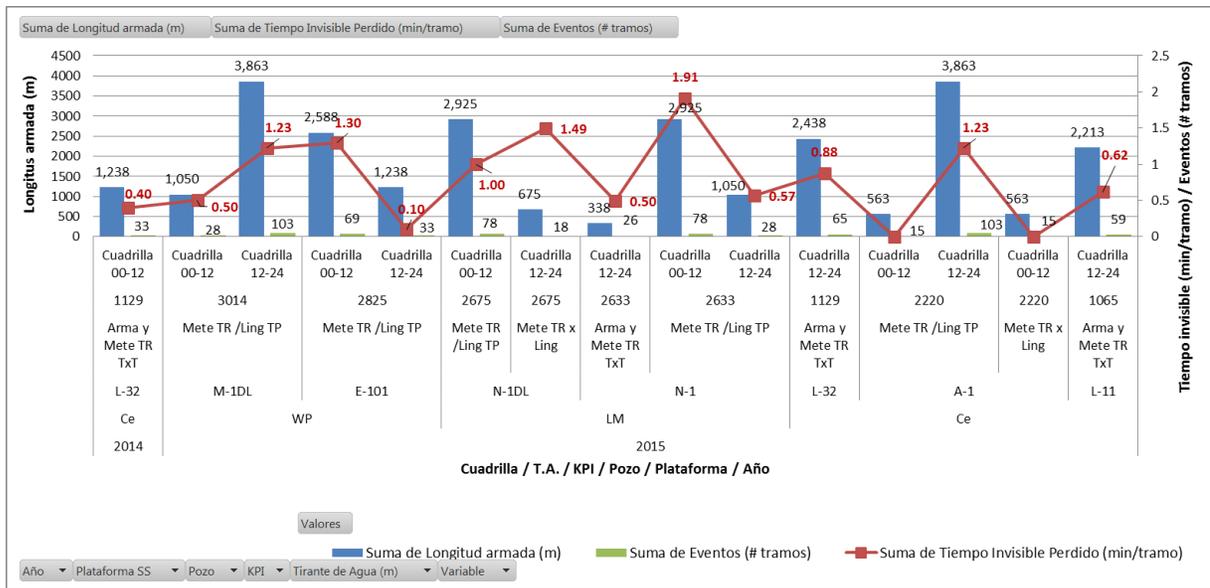


Fig.28. Eficiencia de cuadrillas Vs KPI por pozo. TR 9 7/8 – 9 5/8 pg.

➤ KPI “Mete TR/Ling TP”.

- La mejor cuadrilla fue la de 12-24 de la WP en el pozo E-101 con un índice de tiempo invisible de 0.10 min por cada parada de tubería de perforación armada. Por lo que, la de mayor área de oportunidad es la cuadrilla de 00-12 del equipo LM en el pozo N-1 con una relación de 1.91 minutos por lingada armada.
- Si analizamos a las cuadrillas Vs los dos KPI realizados por cada una de ellas y considerando las operaciones sólo el año 2015, observamos que:

- El promedio da relación de tiempo invisible de la Ce, es de 0.91 min/tramo, el de la LM de 2.73 min/tramo y el de la WP de 1.5 min/tramo.

Para determinar cuál cuadrilla fue la que perdió el menor tiempo invisible o cual obtuvo el mejor resultado en ésta operación, se analizará, por último, el impacto económico que representa el total de tiempo perdido invisible de cada una de ellas. En la Fig.28 se grafican las variables de impacto o beneficio económico de las cuadrillas barras color marrón Vs el tiempo perdido invisible total por cada KPI curva de color azul por pozo de cada una de las plataformas, de la cual concluimos lo siguiente:

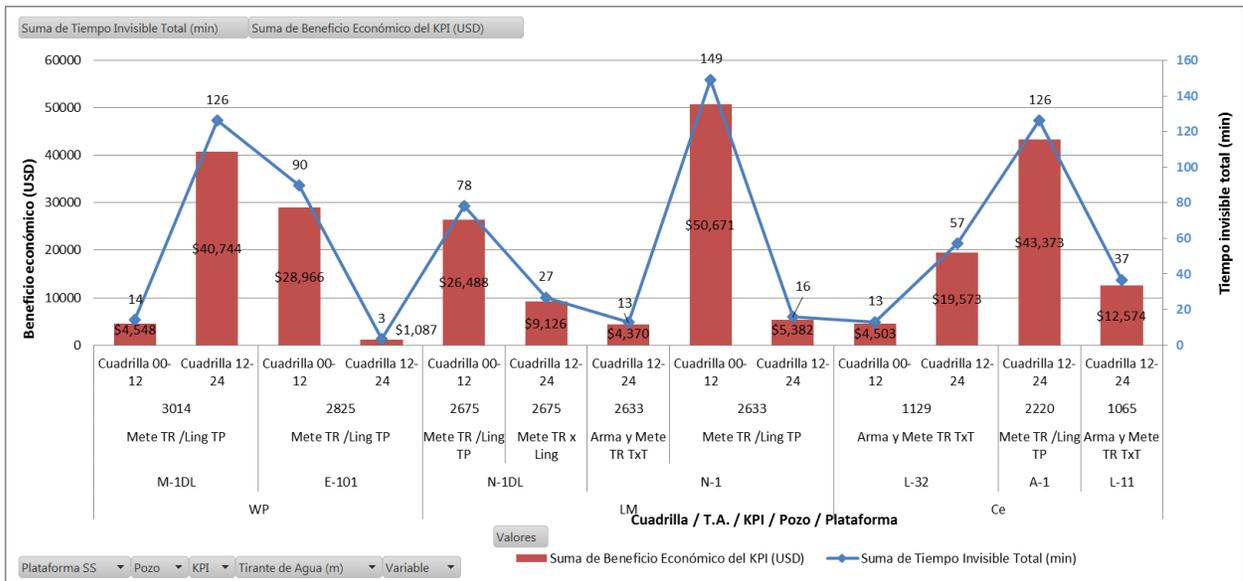


Fig.29. Impacto económico/cuadrillas/pozo y plataforma, TR 9 7/8 – 9 5/8pg.

1) Para el KPI “Mete/Ling TP”

- Plataforma WP, el pozo M-1DL perdió 140 min de tiempo invisible para un costo de \$45,292 USD, mientras que el pozo E-101 perdió 93 min para \$30,053 USD. El total por los dos pozos fue de 233 minutos de tiempo invisible con un impacto económico de \$75,345 USD.
- Plataforma LM, el pozo N-1DL perdió 78 minutos de tiempo invisible para un costo de \$26,488 USD. El pozo N-1, perdió \$56,053 USD en 165 minutos de tiempo invisible.

- c. Plataforma Ce, sólo la cuadrilla de 12-24 realizó ésta actividad con 126 min de tiempo invisible lo que representó \$43, 373 USD de pérdida.
- 2) *Para el KPI “Mete TR x Ling”* sólo las cuadrillas de la plataforma LM presentó tiempos invisibles, 27 min para lo que representa un beneficio o impacto económico de \$9,126 USD.
- 3) *Actividad “Arma y Mete TR TxT*, la cuadrilla con el mejor resultado fue la de 12-24 del equipo LM en el pozo N-1 con 13 minutos de tiempo invisible para \$4,370 USD. Cabe señalar que la cuadrilla de 00-12 de la plataforma Ce, del pozo L-32 perdió el mismo tiempo, sin embargo, su impacto económico fue ligeramente mayor que el de la LM. Sin embargo, la cuadrilla de 12-24 del mismo pozo presenta la mayor área de oportunidad, con una pérdida económica de \$19,573 USD en 57 minutos de tiempo invisible. Es importante mencionar que el tiempo invisible total del equipo Ce fue de 107 min lo que representó un costo de \$36,650 USD. Finalmente, considerando a las dos plataformas, se perdió un total de tiempo de 116 min y \$41,020 USD de impacto económico.
- 4) Finalmente, analizando de forma conjunta a las cuadrillas de las tres plataformas tenemos que:
- a. El equipo LM perdió 283 min y \$96,036 USD.
  - b. El equipo WP perdió 233 min y \$75,345 USD.
  - c. El equipo Ce perdió 233 min y \$80,024 USD
- 5) Del análisis anterior establecemos que la plataforma con las **cuadrillas con los mejores resultados** fueron las de la **plataforma “SS” WP**. Por otro lado, la operación completa de armar y meter la TR de 9 7/8 – 9 5/8 de **los 7 pozos analizados** represento una **pérdida económica** para la empresa de **\$251,404 USD en 749 min de tiempos invisibles.**

### 4.3 Resumen del Análisis del Armado e Introducción de los Tubulares al Pozo.

Una vez presentada a detalle la metodología para determinar el tiempo invisible y su impacto o beneficio económico que representaron en el pozo Mi-1, así como en las operaciones de armado e introducción del riser y de la TR de 9 5/8 - 9 7/8. A continuación se presenta el resultado del análisis de los pozos que comprendió el análisis para determinar los tiempos invisibles y el impacto del resto de los tubulares de los pozos que se muestran en la Tabla 14, por etapa. En la Tabla 15 se desglosa el tiempo invisible perdido de cada plataforma, de acuerdo al año en que perforó el pozo y al costo económico que representó. En el apéndice B de ésta tesis se encuentran los histogramas con los cuales se realizó en estudio.

Tabla 14. Impacto económico por etapa de pozo / plataforma.

Suma de Ahorro Potencial del KPI por Etapa (USD)	T-1	V-1	A-1	N-1DL	L-11	L-32	C-1	E-101	Mi-1	M-1DL	N-1	Total general
<b>BI</b>	\$337,080	\$145,427					\$283,573					\$766,081
Riser	\$220,649	\$97,234					\$179,266					\$497,150
TR 11 7/8	\$106,221	\$0					\$0					\$106,221
TR 13 5/8	\$10,210	\$48,193					\$104,307					\$162,710
TR 18	\$0	\$0					\$0					\$0
TR 22	\$0	\$0					\$0					\$0
TR 28	\$0	\$0					\$0					\$0
TR 9 7/8	\$0	\$0					\$0					\$0
TR 16	\$0	\$0					\$0					\$0
<b>CE</b>			\$115,448		\$361,270	\$320,856						\$797,575
Riser			\$75,972		\$122,171	\$87,572						\$285,715
TR 11 7/8			\$0									\$0
TR 13 5/8			\$20,460		\$50,040	\$42,459						\$112,959
TR 18			\$0									\$0
TR 22			\$0									\$0
TR 16			\$0			\$22,064						\$22,064
TR 9 5/8			\$19,016									\$19,016
TR 20					\$144,100	\$125,651						\$269,751
TR 10 3/4 - 9 5/8					\$44,958	\$43,111						\$88,069
<b>LM</b>			\$196,909					\$857,187		\$180,371		\$1,234,466
Riser			\$70,045					\$175,070		\$0		\$245,115
TR 11 7/8								\$159,029				\$159,029
TR 13 5/8					\$38,531					\$113,120		\$151,650
TR 18								\$145,971				\$145,971
TR 22			\$40,682					\$216,053		\$0		\$256,735
TR 28			\$0							\$0		\$0
TR 16										\$0		\$0
TR 9 5/8					\$47,650					\$67,251		\$114,901
TR 14									\$161,064			\$161,064
TR 11 3/4										\$0		\$0
<b>WP</b>							\$598,723		\$656,389			\$1,255,112
Riser							\$522,534		\$53,085			\$575,619
TR 13 5/8							\$16,218		\$47,883			\$64,101
TR 18									\$150,548			\$150,548
TR 22									\$46,512			\$46,512
TR 28									\$81,925			\$81,925
TR 9 7/8									\$35,835			\$35,835
TR 16									\$161,871			\$161,871
TR 9 5/8							\$38,470					\$38,470
TR 20							\$21,501					\$21,501
TR 11 3/4									\$78,730			\$78,730
<b>Total general</b>	\$337,080	\$145,427	\$115,448	\$196,909	\$361,270	\$320,856	\$283,573	\$598,723	\$857,187	\$656,389	\$180,371	\$4,053,234

Tabla 15. Tiempo perdido invisible vs impacto económico.

Etiquetas de fila	Suma de Beneficio Económico Total (USD)	Suma de Tiempo Invisible Total del Pozo (min)
2012	\$337,080	916
BI	\$337,080	916
T-1	\$337,080	916
2013	\$361,270	1051
CE	\$361,270	1051
L - 11	\$361,270	1051
2014	\$1,848,093	5351
CE	\$320,856	933
L - 32	\$320,856	933
LM	\$180,371	531
N - 1	\$180,371	531
WP	\$1,346,866	3887
E - 101	\$598,723	1854
M - 1DL	\$748,143	2033
2015	\$1,598,545	4606
BI	\$429,001	1166
C - 1	\$283,573	770
V - 1	\$145,427	395
CE	\$115,448	336
A - 1	\$115,448	336
LM	\$1,054,096	3104
Mi - 1	\$857,187	2524
N - 1DL	\$196,909	580
<b>Total general</b>	<b>\$4,144,987</b>	<b>11924</b>

De las tablas anteriores observamos, de acuerdo al año de perforación y a la plataforma:

1. Año 2012.
  - a. La plataforma Bi, perforó el pozo T-1 perdiendo \$337,080 USD con 916 min de tiempo invisible.
2. Año 2013.
  - a. La plataforma Ce, perforó el pozo L-11 perdiendo \$361,270 USD con 1051 min de tiempo invisible.
3. Año 2014.
  - a. La plataforma Ce, perforó el pozo L-32 perdiendo \$320,856 USD con 933 min de tiempo invisible.
  - b. La plataforma LM, perforó el pozo N-1 perdiendo \$180,371 USD con 531 min de tiempo invisible.
  - c. La plataforma WP, perforó los pozos E-101 y M-1DL perdiendo entre los dos \$1,346,866 USD con 3887 min de tiempo invisible.
4. Año 2015.
  - a. La plataforma Bi, perforó los pozos C-1 y V-1 perdiendo entre los dos \$429,001 USD con 1166 min de tiempo invisible.

- b. La plataforma Ce, perforó el pozo A-1 perdiendo \$115,448 USD con 336 min de tiempo invisible.
- c. La plataforma LM, perforó los pozos Mi-1 y N-1DL perdiendo entre los dos \$1,054,096 USD con 3104 min de tiempo invisible.

De forma general, en la Fig.29 se muestran gráficamente los tiempos invisibles que cada plataforma perdió en minutos (barra color azul) en el eje principal de las ordenadas, en el eje secundario (curva de color marrón) se encuentra el beneficio o impacto económico en dólares y, en el eje de las abscisas se encuentra el pozo, la plataforma y el año.

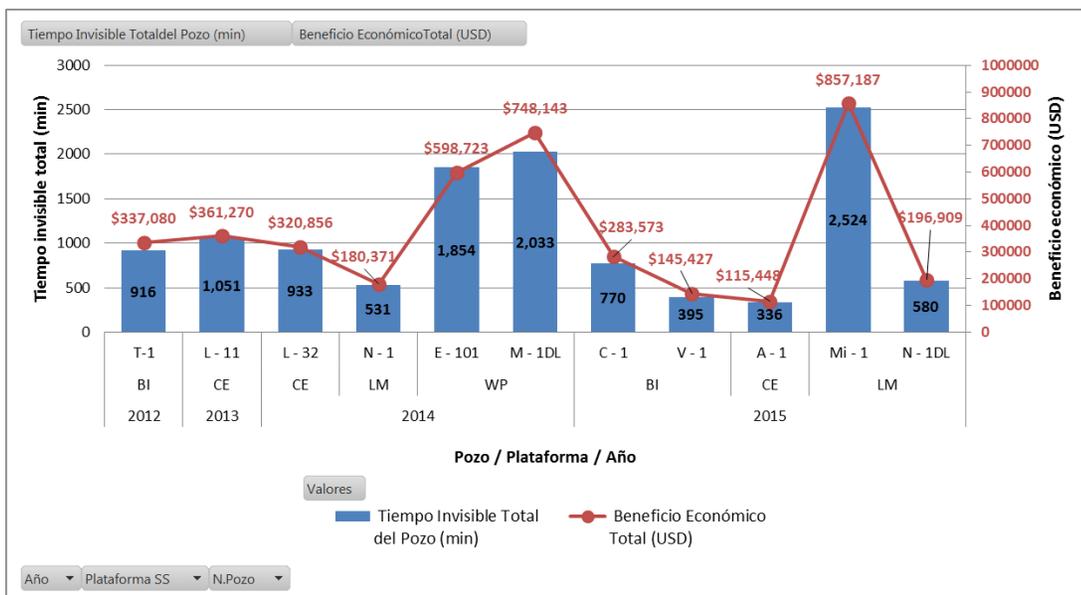


Fig.30. Tiempo invisible perdido total vs impacto económico por pozo.

Finalmente, con el apoyo de la gráfica anterior podemos concluir que: de acuerdo al año se tuvo una pérdida económica debido al tiempo invisible de cada uno de los 11 pozos analizados de:

- a. Año 2012: \$337,080 USD en 916 min perdidos.
- b. Año 2013: \$361,270 USD en 1051 min perdidos.
- c. Año 2014: \$1,848,093 USD en 5351 min perdidos
- d. Año 2015: \$1,598,545 USD en 4606 min perdidos
- e. Gran Total por 11 pozos: \$4,144,987 USD en 11,924 min (8 días).

Es importante señalar que el ahorro que se menciona sólo es por el análisis de las tuberías de revestimiento con las que se contó con información, como se muestra en la Tabla 16, en donde se puede apreciar que el porcentaje de información por los 11 pozos analizados fue de 45 % de forma general, ya que sólo de 5 se cuenta con la información completa. Sin embargo, con el análisis anterior se muestra la importancia de contar con ella y de su análisis para lograr optimizar la perforación de pozos en aguas profundas y ultra profundas en México.

Tabla 16. Porcentaje de información por pozo.

Pozo	Información de Riser y TR's para el análisis											Completo (%)
	Riser	28	22	20	18	16	14	13 5/8	11 5/8	9 5/8 - 10 3/4	7	
E - 101	ok	N/A	N/A	ok	N/A	N/A	N/A	ok	N/A	ok	N/A	100
M - 1DL	ok	ok	ok	N/A	ok	ok	N/A	ok	ok	ok	N/A	100
L - 11	ok	N/A	N/A	ok	N/A	N/A	N/A	ok	N/A	ok	N/A	100
L - 32	ok	N/A	N/A	ok	N/A	ok	N/A	ok	N/A	ok	N/A	100
N - 1DL	ok	S/I	ok	N/A	N/A	N/A	N/A	ok	N/A	ok	S/I	66
A - 1	ok	S/I	S/I	N/A	N/A	N/A	N/A	ok	N/A	ok	N/A	60
C - 1	ok	N/A	S/I	N/A	S/I	S/I	N/A	ok	S/I	S/I	N/A	28
T - 1	ok	S/I	S/I	N/A	S/I	N/A	N/A	ok	ok	S/I	N/A	42
V - 1	ok	N/A	S/I	N/A	S/I	S/I	N/A	ok	S/I	S/I	S/I	25
Mi - 1	ok	N/A	ok	N/A	ok	N/A	ok	N/A	ok	N/A	N/A	100
N - 1	S/I	S/I	S/I	N/A	N/A	S/I	N/A	ok	S/I	ok	N/A	42

## CAPITULO 5

# CONCLUSIONES.

---

## CONCLUSIONES.

---

Una vez concluido el análisis de los 11 pozos que se seleccionaron, a través de la metodología establecida, en donde se obtuvieron los tiempos invisibles de cada una de las etapas estudiadas con los KPI que se determinaron, se establecen las siguientes conclusiones:

- Contar con la información completa de las etapas de los pozos a analizar, para obtener el impacto económico de todas las etapas del pozo, así como el tiempo invisible total y lograr la optimización del proyecto.
- Elaborar esquemas de contratación de plataformas “SS” para la perforación de pozos, con sistemas de enrosque rápido para la introducción del riser.
- Armar las TR´s a partir del diámetro de 13 5/8 pg, fuera de línea, con el apoyo de la segunda silla del perforador en piso de perforación y dejarla armada y lista para su posterior introducción al pozo por lingadas.
- Considerar un indicador de armado e introducción el Riser con sistema rápido de 3.7 min/tramo.
- Indicador para el armado e introducción de la TR de 22 pg de 1.96 min/tramo, para los dos KPI (Armar y meter TR TxT y mete TR por lingadas de TP).
- Indicador para la TR de 20 pg en el KPI: Armar y meter TR tramo por tramo de 2.58 min/tramo.
- Indicador para la TR de 20 pg en el KPI: Meter TR por lingadas de TP es de 4.23 min/tramo.
- Indicador para la TR de 20 pg del KPI “Arma y mete TR TxT” de 2.39 min/tramo.

- Considerar el indicador para Armar y meter TR de 18 pg tramo por tramo de 2.33 min/tramo.
- Considerar el indicador para Meter la TR de 18 pg ligadas de TP de 2.53 min/tramo.
- Considerar el indicador para Armar y meter TR de 16 pg tramo por tramo de 2.2 min/tramo.
- El indicador para la TR de 9 7/8 o 9 5/8, para el KPI “Mete TR x Lig” de 1.49 min/tramo.
- El indicador para la TR de 9 7/8 o 9 5/8, para el KPI “Meter TR/Ling TP” de de 1.56 min/tramo.
- Continuar con el estudio de otros KPI, como son Tiempos de: circulación, repaso, rimando agujero, cambios de etapa, etc., ya que los beneficios son claros y pueden llegar a significar, el presupuesto de un pozo somero o terrestre.
- Considerar los indicadores establecidos en éste trabajo, como premisas para elaborar los programas de diseño de futuros pozos de perforación.
- Implementar los índices de referencia determinados, para el seguimiento de las operaciones a bordo de plataforma y en los CMTR, durante el armado e introducción de tubería al pozo.
- Implementar la metodología de estudio en los VCDSE de pozos, así como en el seguimiento de operaciones diarias de los coordinadores.

APENDICE A

TABLAS DE PARAMETROS OPERATIVOS DE LAS  
OPERACIONES CRÍTICAS.

APENDICE A

Tabla 17. Parámetros de armado e introducción del riser. Pozo Mi-1.

Inicio	P. Block (m)	Prof. (m)	P. Block (ton)	Inicio	P. Block (m)	Prof. (m)	P. Block (ton)
11/04/2015 20:50	4.94	111.74	49.9	12/04/2015 23:28	4.89	1669.84	49.55
11/04/2015 22:06	4.51	111.74	50.67	12/04/2015 23:48	4.89	1856.23	49
11/04/2015 22:30	4.89	112.99	49.15	13/04/2015 00:04	4.95	1856.68	50.33
11/04/2015 22:42	4.92	113.20	49.95	13/04/2015 00:19	4.92	1914.14	49.94
11/04/2015 22:56	4.91	113.33	49.84	13/04/2015 00:32	4.93	1914.36	50
11/04/2015 23:07	4.9	114.83	49.6	13/04/2015 00:45	4.97	1914.22	49.78
11/04/2015 23:16	4.98	115.63	80.84	13/04/2015 00:58	4.93	1982.07	49.58
11/04/2015 23:32	4.93	115.30	49.84	13/04/2015 01:12	4.92	1982.29	50.09
11/04/2015 23:42	4.91	115.27	49.94	13/04/2015 01:23	4.85	1982.42	49.8
11/04/2015 23:52	4.89	115.01	49.41	13/04/2015 01:35	4.95	1983.98	48.33
12/04/2015 00:15	4.9	115.04	50.2	13/04/2015 01:47	4.94	1984.14	49.55
12/04/2015 00:28	4.94	114.96	50.08	13/04/2015 01:59	4.92	1983.93	49.42
12/04/2015 00:42	4.93	114.57	49.82	13/04/2015 02:11	4.97	1984.52	54.07
12/04/2015 01:01	4.92	114.20	50.21	13/04/2015 02:22	4.95	1986.00	49.62
12/04/2015 01:13	4.95	113.77	48.55	13/04/2015 04:23	4.95	2143.23	49.35
12/04/2015 01:27	4.87	114.16	47.4	13/04/2015 04:36	4.92	2143.89	49.94
12/04/2015 01:56	4.96	114.06	49.09	13/04/2015 04:50	4.95	2146.10	49.63
12/04/2015 02:09	4.96	114.02	57.93	13/04/2015 05:10	4.95	2233.51	49.14
12/04/2015 03:42	4.93	125.80	45.54	13/04/2015 05:25	4.95	2234.00	50.09
12/04/2015 03:54	4.92	133.96	44.64	13/04/2015 05:37	4.94	2233.85	48.7
12/04/2015 04:08	4.87	142.73	48.18	13/04/2015 05:51	4.94	2234.83	53.96
12/04/2015 04:28	4.89	142.88	48.4	13/04/2015 06:04	4.93	2234.51	48.31
12/04/2015 04:44	4.91	143.84	49.59	13/04/2015 06:16	4.93	2234.43	50
12/04/2015 15:42	4.95	161.43	50.18	13/04/2015 06:29	4.89	2235.02	50.11
12/04/2015 15:54	4.93	161.77	50.34	13/04/2015 07:20	4.96	2416.78	50.15
12/04/2015 16:07	4.91	162.00	49.88	13/04/2015 07:31	4.9	2417.84	50.36
12/04/2015 16:17	4.86	162.14	48.89	13/04/2015 07:46	4.95	2418.20	49.95
12/04/2015 16:27	4.91	161.98	49.63	13/04/2015 08:00	4.97	2420.39	49.77
12/04/2015 16:38	4.92	163.11	49.7	13/04/2015 08:18	4.98	2420.82	50.7
12/04/2015 16:50	4.91	163.07	49.48	13/04/2015 08:30	4.97	2421.53	53.87
12/04/2015 17:00	4.95	163.05	50.11	13/04/2015 10:36	4.92	2528.34	45.38
12/04/2015 17:12	4.92	163.79	50.26	13/04/2015 11:07	4.96	2542.51	47.68
12/04/2015 18:46	4.97	163.73	59.35	13/04/2015 11:20	4.94	2548.22	48.19
12/04/2015 18:59	4.91	163.40	49.46	13/04/2015 11:38	4.93	2553.63	47.28
12/04/2015 19:09	4.94	163.20	50.21	13/04/2015 11:51	4.92	2560.27	47.13
12/04/2015 19:23	4.9	163.30	49.57	13/04/2015 12:03	4.88	2565.99	46.68
12/04/2015 19:32	4.89	163.11	49.96	13/04/2015 12:18	4.92	2570.42	49.45
12/04/2015 19:44	4.93	162.94	49.6	13/04/2015 12:28	4.98	2574.27	55.71
12/04/2015 19:55	4.88	163.06	50.13	13/04/2015 12:42	4.97	2575.77	47.87
12/04/2015 20:11	4.89	1667.46	49.57	13/04/2015 12:55	4.91	2577.29	48.39
12/04/2015 20:22	4.92	1667.43	49.13	13/04/2015 13:05	4.94	2578.92	49.05
12/04/2015 20:31	4.91	1669.56	49.62	13/04/2015 13:16	4.93	2580.73	49.17
12/04/2015 20:47	4.93	1669.59	49.49	13/04/2015 13:26	4.94	2582.36	49
12/04/2015 21:02	4.91	1669.69	49.38	13/04/2015 14:01	4.87	2942.49	49.77
12/04/2015 21:15	4.95	1669.34	49.13	13/04/2015 14:11	4.91	2943.06	48.93
12/04/2015 21:28	4.89	1669.10	49.84	13/04/2015 14:29	4.92	2943.61	49.66
12/04/2015 21:42	4.87	1669.58	48.99	13/04/2015 14:41	4.91	2943.90	50.03
12/04/2015 23:16	4.92	1669.88	49.75	13/04/2015 14:53	4.88	2944.31	49.86
				13/04/2015 15:18	4.93	2950.28	49.5

IMPACTO ECONOMICO DE LOS TIEMPOS PERDIDOS INVISIBLES EN LA PERFORACIÓN DE POZOS EN  
AGUAS PROFUNDAS Y ULTRA PROFUNDAS EN MÉXICO

Tabla 18. Parámetros de armado e introducción de la TR 14. Pozo Mi-1.

Tiempo (días)	Profundidad (m)	P. Gancho (ton)	Posición Block (m)	Long. (m)	Tiempo (días)	Profundidad (m)	P. Gancho (ton)	Posición Block (m)	Long. (m)
12/06/2015 21:00:00	15.91	45.59	4.88		13/06/2015 13:02:30	1079.05	47.74	2.55	13
12/06/2015 21:29:20	20.14	51.61	5.63		13/06/2015 13:11:10	1092.24	48.18	2.65	13.19
12/06/2015 21:49:10	29.42	48.2	4.45		13/06/2015 13:24:20	1105.6	47.82	2.64	13.36
12/06/2015 22:09:20	41.66	56.14	2.9	12.24	13/06/2015 13:34:50	1118.99	47.12	2.65	13.39
12/06/2015 23:41:30	120.75	68.16	2.85	12	13/06/2015 13:44:10	1131.72	46.68	2.64	12.73
12/06/2015 23:54:50	134.07	46.03	2.71	13.32	13/06/2015 13:57:40	1144.87	48.13	2.68	13.15
13/06/2015 00:22:50	146.99	62.58	2.75	12.92	13/06/2015 14:09:20	1158.24	47.74	2.63	13.37
13/06/2015 00:35:00	160.18	51.35	2.75	13.19	13/06/2015 14:19:50	1171.5601	49.05	2.61	13.3201
13/06/2015 00:44:30	173.15	42.08	2.76	12.97	13/06/2015 14:39:20	1184.73	48.44	2.6	13.1699
13/06/2015 00:57:00	186.55	46.33	2.72	13.4	13/06/2015 14:54:30	1197.6899	39.37	2.59	12.9599
13/06/2015 01:08:00	226.18	42.26	3.15	39.63	13/06/2015 15:07:00	1210.92	48.31	2.77	13.2301
13/06/2015 01:18:10	239.15	61.66	2.7	12.97	13/06/2015 15:18:10	1223.61	45.53	2.82	12.69
13/06/2015 01:27:30	252.52	45.03	2.66	13.37	13/06/2015 15:30:30	1236.87	47.55	2.65	13.26
13/06/2015 01:37:00	265.84	65.12	2.72	13.32	13/06/2015 15:44:10	1250.13	46.7	3.65	13.26
13/06/2015 01:48:20	279.23	46.44	3.25	13.39	13/06/2015 15:59:10	1263.4399	47.75	2.6	13.3099
13/06/2015 02:06:00	305.79	44.74	2.62	26.56	13/06/2015 16:11:10	1276.78	58.01	2.66	13.3401
13/06/2015 02:17:20	319.16	43.97	2.65	13.37	13/06/2015 16:22:20	1290.1	46.86	3.11	13.32
13/06/2015 02:26:50	332.5	42.14	2.64	13.34	13/06/2015 21:34:20	1494.73	48.1	2.83	13
13/06/2015 02:36:00	345.85	44.34	2.67	13.35	13/06/2015 22:08:00	1530.55	67.5	2.94	35.82
13/06/2015 02:45:30	359.16	44.78	2.94	13.31	13/06/2015 22:30:20	1570.83	46.86	2.82	40.28
13/06/2015 02:53:50	372.53	49.75	2.71	13.37	13/06/2015 22:42:40	1608.87	44.42	2.83	38.04
13/06/2015 03:01:10	385.87	48.14	2.63	13.34	13/06/2015 22:56:40	1646.83	41.7	3	37.96
13/06/2015 03:10:00	399.19	44.05	2.66	13.32	13/06/2015 23:21:00	1682.46	54.68	3.22	35.63
13/06/2015 04:48:40	558.49	47.01	2.67	13	13/06/2015 23:45:50	1721.49	67.37	2.15	39.03
13/06/2015 05:43:40	571.78	54.61	2.71	13.29	14/06/2015 00:18:20	1759.4	58.03	2.19	37.91
13/06/2015 06:44:50	600.58	55.05	2.7	28.8	14/06/2015 00:44:00	1797.5	50.4	2.03	38.1
13/06/2015 06:52:50	613.87	43.82	2.67	13.29	14/06/2015 01:04:30	1835.46	63	2.05	37.96
13/06/2015 07:00:40	627.16	45.2	2.67	13.29	14/06/2015 01:22:00	1873.46	58.11	2.08	38
13/06/2015 07:11:00	640.46	47.56	2.64	13.3	14/06/2015 01:38:40	1911.33	55.82	2.17	37.87
13/06/2015 07:21:20	653.42	44.87	2.71	12.96	14/06/2015 10:24:40	2980.8101	52.64	2.09	37
13/06/2015 07:30:40	666.64	46.09	2.64	13.22	14/06/2015 10:42:40	3018.8601	52.05	1.96	38.05
13/06/2015 07:40:30	679.86	44.52	2.61	13.22	14/06/2015 10:56:10	3056.53	54.11	2.2	37.6699
13/06/2015 07:48:20	693.12	58.14	2.7	13.26	14/06/2015 11:10:20	3094.6201	65.93	2.04	38.0901
13/06/2015 07:56:50	706.44	43.52	2.62	13.32	14/06/2015 11:24:40	3132.71	56.88	1.87	38.0899
13/06/2015 08:06:30	719.73	46.49	3.02	13.29	14/06/2015 11:39:50	3170.55	55.93	2.01	37.84
13/06/2015 08:15:00	732.95	46.3	2.7	13.22	14/06/2015 12:00:40	3208.46	57.96	2.11	37.91
13/06/2015 08:22:30	745.9	47.11	2.81	12.95	14/06/2015 12:15:40	3246.3799	60.2	2.07	37.9199
13/06/2015 08:30:00	759.23	47.15	2.59	13.33	14/06/2015 12:30:20	3284.22	58.57	2.07	37.8401
13/06/2015 08:38:30	772.56	51.67	2.69	13.33	14/06/2015 12:45:00	3322.1599	58.36	2.08	37.9399
13/06/2015 08:46:00	785.9	44.27	2.59	13.34	14/06/2015 13:01:00	3359.97	60.94	2.19	37.8101
13/06/2015 08:57:00	798.56	45.65	2.6	12.66	14/06/2015 13:16:10	3397.8899	57.93	2.23	37.9199
13/06/2015 09:05:50	811.54	48.75	2.62	12.98	14/06/2015 13:35:10	3434.1899	48.78	3.81	36.3
13/06/2015 09:13:10	824.84	46.74	2.67	13.3	14/06/2015 13:52:10	3472.45	50.01	3.5	38.2601
13/06/2015 09:51:20	838.15	46.93	2.72	13.31	14/06/2015 14:06:50	3510.53	52.14	3.33	38.08
13/06/2015 10:00:00	851.54	47.1	2.88	13.39	14/06/2015 14:21:40	3548.8201	57.22	3	38.2901
13/06/2015 10:07:40	864.76	46.37	2.58	13.22	14/06/2015 18:18:30	4277.1802	45.16	2.87	37
13/06/2015 10:16:00	878.11	47.2	2.8	13.35	14/06/2015 18:28:40	4315.1602	45.65	2.76	37.98
13/06/2015 10:25:20	891.45	46.26	2.65	13.34	14/06/2015 18:53:20	4351.27	56.56	2.54	36.1098
13/06/2015 10:34:20	904.55	47.08	2.61	13.1	14/06/2015 19:14:50	4394.5098	46.92	2.95	43.2398
13/06/2015 10:43:00	917.83	47.62	3.23	13.28					

Tabla 19. Datos depurados del riser. Pozo Mi-1.

Inicio	Término	$\Delta T$ (frac. Día)	$\Delta T$ (min)	Inicio	Término	$\Delta T$ (frac. Día)	$\Delta T$ (min)
11/04/2015 20:50	11/04/2015 22:06	0.05289	76.17	12/04/2015 20:31	12/04/2015 20:47	0.01088	15.67
11/04/2015 22:06	11/04/2015 22:30	0.01632	23.50	12/04/2015 20:47	12/04/2015 21:02	0.01042	15.00
11/04/2015 22:30	11/04/2015 22:42	0.00845	12.17	12/04/2015 21:02	12/04/2015 21:15	0.00891	12.83
11/04/2015 22:42	11/04/2015 22:56	0.00961	13.83	12/04/2015 21:15	12/04/2015 21:28	0.00914	13.17
11/04/2015 22:56	11/04/2015 23:07	0.00764	11.00	12/04/2015 21:28	12/04/2015 21:42	0.00995	14.33
11/04/2015 23:07	11/04/2015 23:16	0.00648	9.33	12/04/2015 21:42	12/04/2015 23:16	0.06493	93.50
11/04/2015 23:16	11/04/2015 23:32	0.01146	16.50	12/04/2015 23:16	12/04/2015 23:28	0.00856	12.33
11/04/2015 23:32	11/04/2015 23:42	0.00660	9.50	12/04/2015 23:28	12/04/2015 23:48	0.01389	20.00
11/04/2015 23:42	11/04/2015 23:52	0.00694	10.00	12/04/2015 23:48	13/04/2015 00:04	0.01076	15.50
11/04/2015 23:52	12/04/2015 00:15	0.01597	23.00	13/04/2015 00:04	13/04/2015 00:19	0.01088	15.67
12/04/2015 00:15	12/04/2015 00:28	0.00938	13.50	13/04/2015 00:19	13/04/2015 00:32	0.00880	12.67
12/04/2015 00:28	12/04/2015 00:42	0.00961	13.83	13/04/2015 00:32	13/04/2015 00:45	0.00891	12.83
12/04/2015 00:42	12/04/2015 01:01	0.01296	18.67	13/04/2015 00:45	13/04/2015 00:58	0.00937	13.50
12/04/2015 01:01	12/04/2015 01:13	0.00845	12.17	13/04/2015 00:58	13/04/2015 01:12	0.00914	13.17
12/04/2015 01:13	12/04/2015 01:27	0.00972	14.00	13/04/2015 01:12	13/04/2015 01:23	0.00822	11.83
12/04/2015 01:27	12/04/2015 01:56	0.01991	28.67	13/04/2015 01:23	13/04/2015 01:35	0.00822	11.83
12/04/2015 01:56	12/04/2015 02:09	0.00903	13.00	13/04/2015 01:35	13/04/2015 01:47	0.00787	11.33
12/04/2015 02:09	12/04/2015 03:42	0.06447	92.83	13/04/2015 01:47	13/04/2015 01:59	0.00845	12.17
12/04/2015 15:42	12/04/2015 15:54	0.00880	12.67	13/04/2015 11:38	13/04/2015 11:51	0.00926	13.33
12/04/2015 15:54	12/04/2015 16:07	0.00856	12.33	13/04/2015 11:51	13/04/2015 12:03	0.00799	11.50
12/04/2015 16:07	12/04/2015 16:17	0.00718	10.33	13/04/2015 12:03	13/04/2015 12:18	0.01100	15.83
12/04/2015 16:17	12/04/2015 16:27	0.00683	9.83	13/04/2015 12:18	13/04/2015 12:28	0.00671	9.67
12/04/2015 16:27	12/04/2015 16:38	0.00752	10.83	13/04/2015 12:28	13/04/2015 12:42	0.00961	13.83
12/04/2015 16:38	12/04/2015 16:50	0.00845	12.17	13/04/2015 12:42	13/04/2015 12:55	0.00903	13.00
12/04/2015 16:50	12/04/2015 17:00	0.00671	9.67	13/04/2015 12:55	13/04/2015 13:05	0.00694	10.00
12/04/2015 17:00	12/04/2015 17:12	0.00845	12.17	13/04/2015 13:05	13/04/2015 13:16	0.00764	11.00
12/04/2015 17:12	12/04/2015 18:46	0.06516	93.83	13/04/2015 13:16	13/04/2015 13:26	0.00729	10.50
12/04/2015 18:46	12/04/2015 18:59	0.00914	13.17	13/04/2015 13:26	13/04/2015 14:01	0.02373	34.17
12/04/2015 18:59	12/04/2015 19:09	0.00718	10.33	13/04/2015 14:01	13/04/2015 14:11	0.00706	10.17
12/04/2015 19:09	12/04/2015 19:23	0.00949	13.67	13/04/2015 14:11	13/04/2015 14:29	0.01285	18.50
12/04/2015 19:23	12/04/2015 19:32	0.00660	9.50	13/04/2015 14:29	13/04/2015 14:41	0.00845	12.17
12/04/2015 19:32	12/04/2015 19:44	0.00787	11.33	13/04/2015 14:41	13/04/2015 14:53	0.00822	11.83
12/04/2015 19:44	12/04/2015 19:55	0.00787	11.33	13/04/2015 14:53	13/04/2015 15:18	0.01725	24.83
12/04/2015 19:55	12/04/2015 20:11	0.01111	16.00	13/04/2015 15:18	13/04/2015 15:39	0.01481	21.33
12/04/2015 20:11	12/04/2015 20:22	0.00741	10.67	13/04/2015 15:39	13/04/2015 16:23	0.03021	43.50
12/04/2015 20:22	12/04/2015 20:31	0.00683	9.83	13/04/2015 16:23	13/04/2015 17:14	0.03542	51.00
				13/04/2015 17:14	13/04/2015 17:33	0.01354	19.50

Tabla 20. Datos depurados TR 14. Pozo Mi-1.

Inicio	Termina	$\Delta T$ (frac. Día)	$\Delta T$ (min)	Inicio	Termina	$\Delta T$ (frac. Día)	$\Delta T$ (min)
12/06/2015 21:00:00	12/06/2015 21:29:20	0.0204	29.33	13/06/2015 16:11:10	13/06/2015 16:22:20	0.0078	11.17
12/06/2015 21:29:20	12/06/2015 21:49:10	0.0138	19.83	13/06/2015 16:22:20	13/06/2015 16:32:30	0.0071	10.17
12/06/2015 21:49:10	12/06/2015 22:09:20	0.0140	20.17	13/06/2015 16:32:30	13/06/2015 16:45:40	0.0091	13.17
12/06/2015 22:09:20	12/06/2015 22:31:00	0.0150	21.67	13/06/2015 16:45:40	13/06/2015 16:59:00	0.0093	13.33
12/06/2015 22:31:00	12/06/2015 22:45:20	0.0100	14.33	13/06/2015 16:59:00	13/06/2015 17:11:00	0.0083	12.00
12/06/2015 22:45:20	12/06/2015 23:00:10	0.0103	14.83	13/06/2015 17:11:00	13/06/2015 17:21:20	0.0072	10.33
12/06/2015 23:00:10	12/06/2015 23:14:30	0.0100	14.33	13/06/2015 17:21:20	13/06/2015 17:31:20	0.0069	10.00
12/06/2015 23:14:30	12/06/2015 23:27:40	0.0091	13.17	13/06/2015 17:31:20	13/06/2015 17:43:30	0.0084	12.17
13/06/2015 10:16:00	13/06/2015 10:25:20	0.0065	9.33	14/06/2015 12:45:00	14/06/2015 13:01:00	0.0111	16.00
13/06/2015 10:25:20	13/06/2015 10:34:20	0.0062	9.00	14/06/2015 13:01:00	14/06/2015 13:16:10	0.0105	15.17
13/06/2015 10:34:20	13/06/2015 10:43:00	0.0060	8.67	14/06/2015 13:16:10	14/06/2015 13:35:10	0.0132	19.00
13/06/2015 10:43:00	13/06/2015 10:51:20	0.0058	8.33	14/06/2015 13:35:10	14/06/2015 13:52:10	0.0118	17.00
13/06/2015 10:51:20	13/06/2015 10:58:10	0.0047	6.83	14/06/2015 13:52:10	14/06/2015 14:06:50	0.0102	14.67
13/06/2015 10:58:10	13/06/2015 11:05:00	0.0047	6.83	14/06/2015 14:06:50	14/06/2015 14:21:40	0.0103	14.83
13/06/2015 11:05:00	13/06/2015 11:12:30	0.0052	7.50	14/06/2015 14:21:40	14/06/2015 14:35:20	0.0095	13.67
13/06/2015 11:12:30	13/06/2015 11:22:00	0.0066	9.50	14/06/2015 14:35:20	14/06/2015 14:50:10	0.0103	14.83
13/06/2015 11:22:00	13/06/2015 11:30:10	0.0057	8.17	14/06/2015 14:50:10	14/06/2015 15:04:30	0.0100	14.33
13/06/2015 11:30:10	13/06/2015 11:38:40	0.0059	8.50	14/06/2015 15:04:30	14/06/2015 15:16:40	0.0084	12.17
13/06/2015 11:38:40	13/06/2015 12:04:10	0.0177	25.50	14/06/2015 15:16:40	14/06/2015 15:33:30	0.0117	16.83
13/06/2015 12:04:10	13/06/2015 12:20:00	0.0110	15.83	14/06/2015 15:33:30	14/06/2015 15:48:40	0.0105	15.17
13/06/2015 12:20:00	13/06/2015 12:40:30	0.0142	20.50	14/06/2015 15:48:40	14/06/2015 16:03:10	0.0101	14.50
13/06/2015 12:40:30	13/06/2015 12:54:10	0.0095	13.67	14/06/2015 16:03:10	14/06/2015 16:18:50	0.0109	15.67
13/06/2015 12:54:10	13/06/2015 13:02:30	0.0058	8.33	14/06/2015 16:18:50	14/06/2015 16:32:10	0.0093	13.33
13/06/2015 13:02:30	13/06/2015 13:11:10	0.0060	8.67	14/06/2015 16:32:10	14/06/2015 16:48:00	0.0110	15.83
13/06/2015 13:11:10	13/06/2015 13:24:20	0.0091	13.17	14/06/2015 16:48:00	14/06/2015 17:01:40	0.0095	13.67
13/06/2015 13:24:20	13/06/2015 13:34:50	0.0073	10.50	14/06/2015 17:01:40	14/06/2015 17:14:40	0.0090	13.00
13/06/2015 13:34:50	13/06/2015 13:44:10	0.0065	9.33	14/06/2015 17:14:40	14/06/2015 17:26:00	0.0079	11.33
13/06/2015 13:44:10	13/06/2015 13:57:40	0.0094	13.50	14/06/2015 17:26:00	14/06/2015 17:33:50	0.0054	7.83
13/06/2015 13:57:40	13/06/2015 14:09:20	0.0081	11.67	14/06/2015 17:33:50	14/06/2015 17:42:40	0.0061	8.83
13/06/2015 14:09:20	13/06/2015 14:19:50	0.0073	10.50	14/06/2015 17:42:40	14/06/2015 17:54:30	0.0082	11.83
13/06/2015 14:19:50	13/06/2015 14:39:20	0.0135	19.50	14/06/2015 17:54:30	14/06/2015 18:01:40	0.0050	7.17
13/06/2015 14:39:20	13/06/2015 14:54:30	0.0105	15.17	14/06/2015 18:01:40	14/06/2015 18:09:40	0.0056	8.00
13/06/2015 14:54:30	13/06/2015 15:07:00	0.0087	12.50	14/06/2015 18:09:40	14/06/2015 18:18:30	0.0061	8.83
13/06/2015 15:07:00	13/06/2015 15:18:10	0.0078	11.17	14/06/2015 18:18:30	14/06/2015 18:28:40	0.0071	10.17
13/06/2015 15:18:10	13/06/2015 15:30:30	0.0086	12.33	14/06/2015 18:28:40	14/06/2015 18:53:20	0.0171	24.67
13/06/2015 15:30:30	13/06/2015 15:44:10	0.0095	13.67	14/06/2015 18:53:20	14/06/2015 19:14:50	0.0149	21.50
13/06/2015 15:44:10	13/06/2015 15:59:10	0.0104	15.00	14/06/2015 19:14:50	14/06/2015 20:18:00	0.0439	63.17
13/06/2015 15:59:10	13/06/2015 16:11:10	0.0083	12.00				

## APENDICE B

# HISTOGRAMAS DEL ANÁLISIS DE TIEMPOS DE LAS OPERACIONES CRÍTICAS (KPI's).

APENDICE B

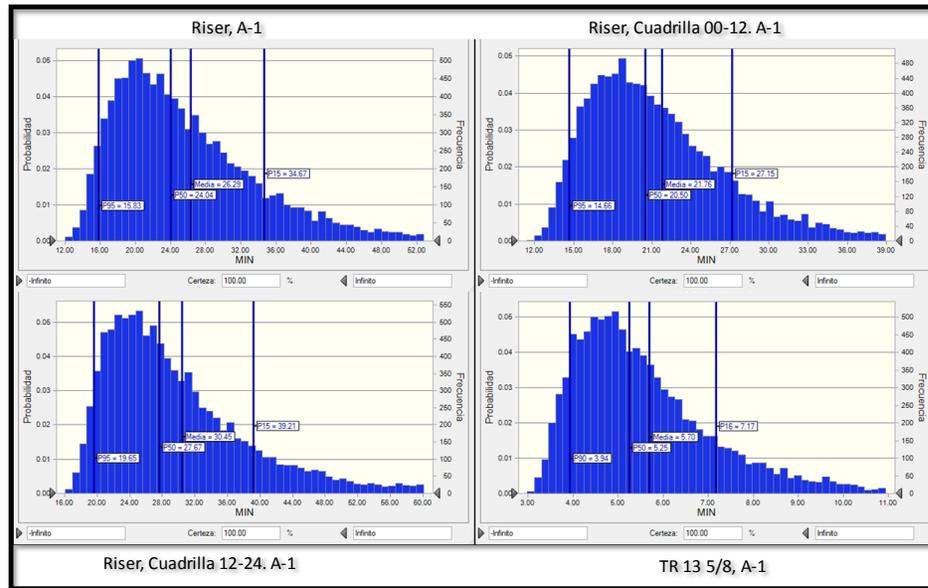


Fig. 31 Análisis Riser y TR 13 5/8 del Pozo A-1.

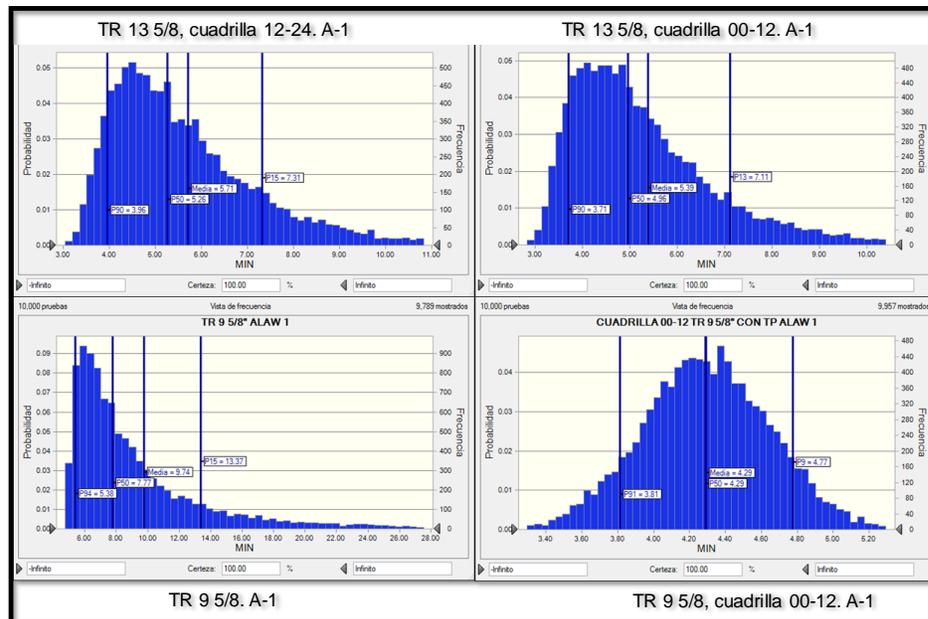


Fig. 32 Análisis TR's 13 5/8 y 9 5/8 del Pozo A-1.

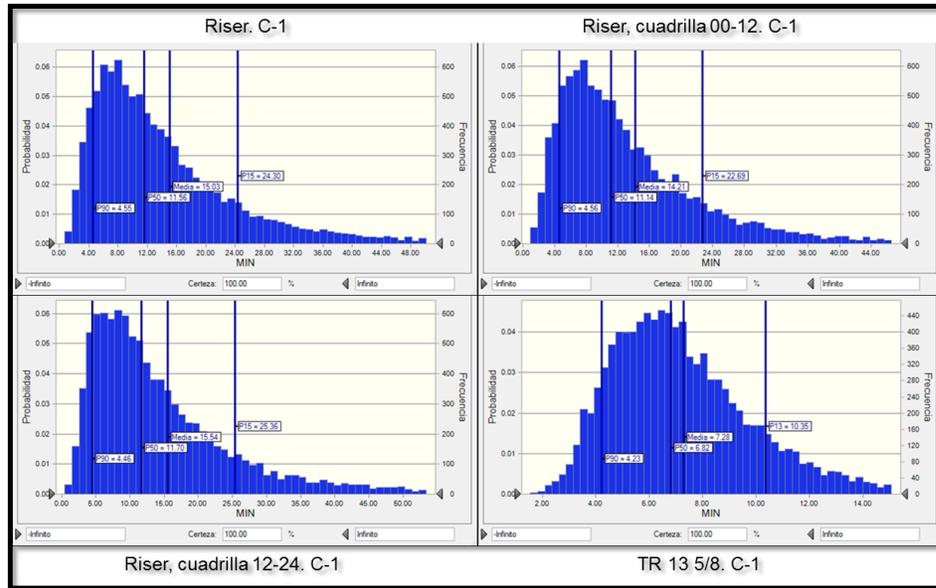


Fig. 33 Análisis Riser y 13 5/8 del Pozo C-1.

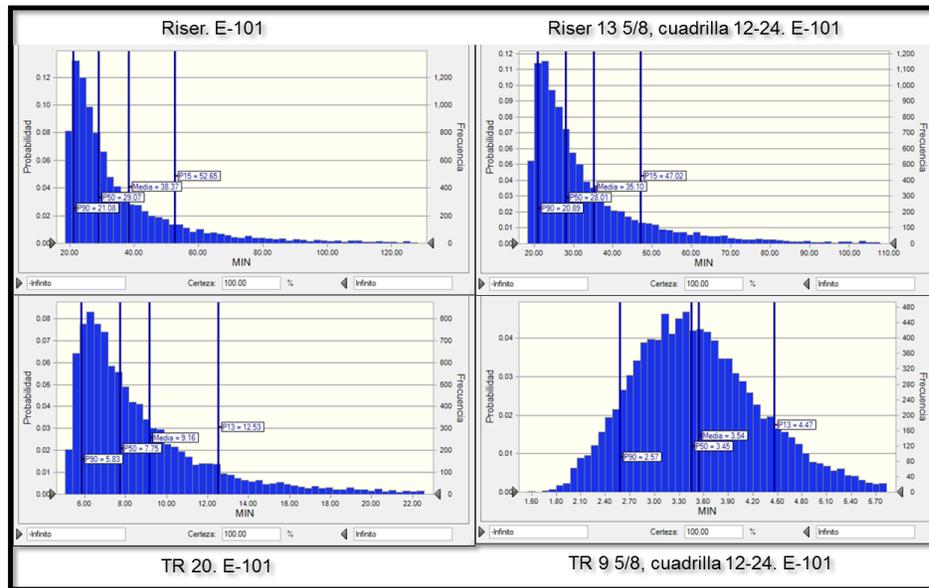


Fig. 34 Análisis Riser y TR's 20, 13 5/8 y 9 5/8 del Pozo E-101.

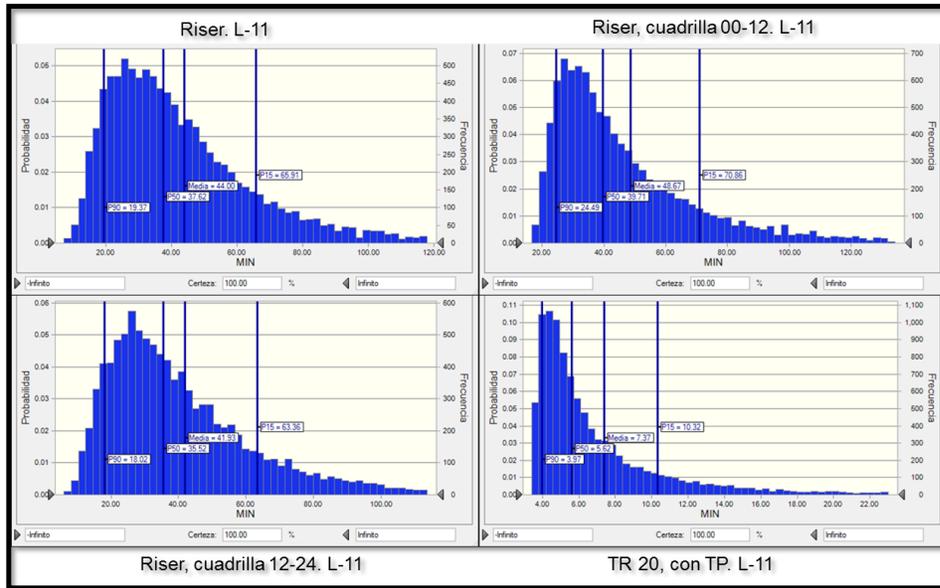


Fig. 35 Análisis Riser y 20 del Pozo L-11.

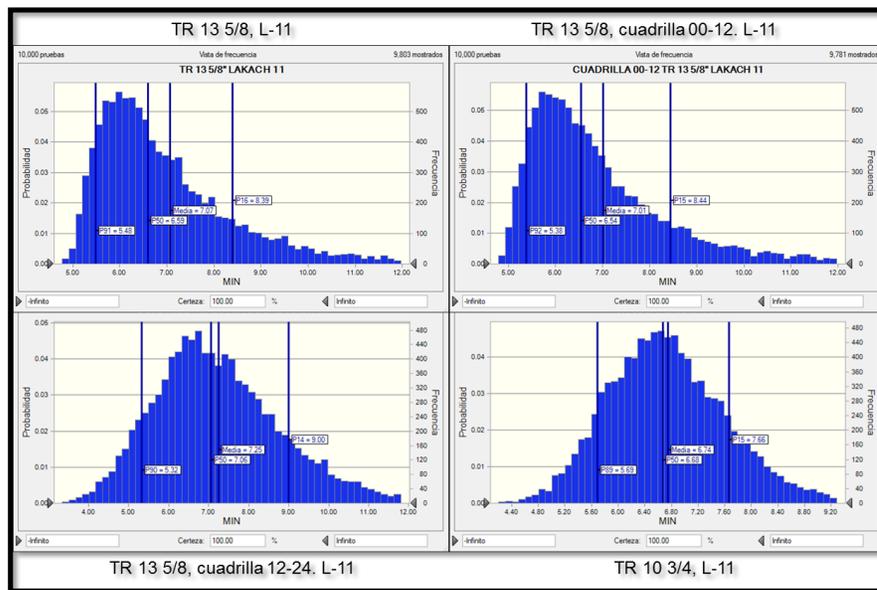


Fig. 36 Análisis TR's 13 5/8 y 10 3/4 del Pozo L-11.

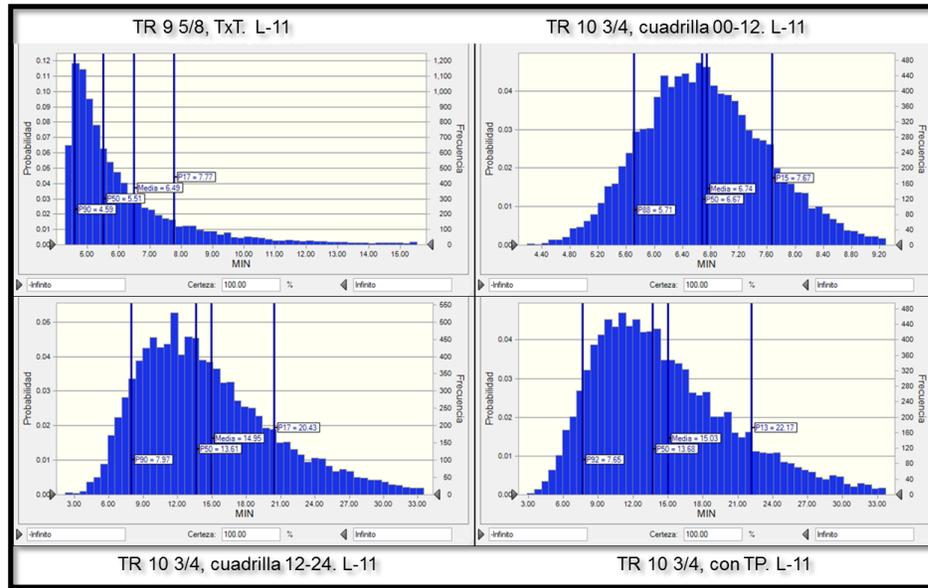


Fig. 37 Análisis TR's 10 3/4 y 9 5/8 del Pozo L-11.

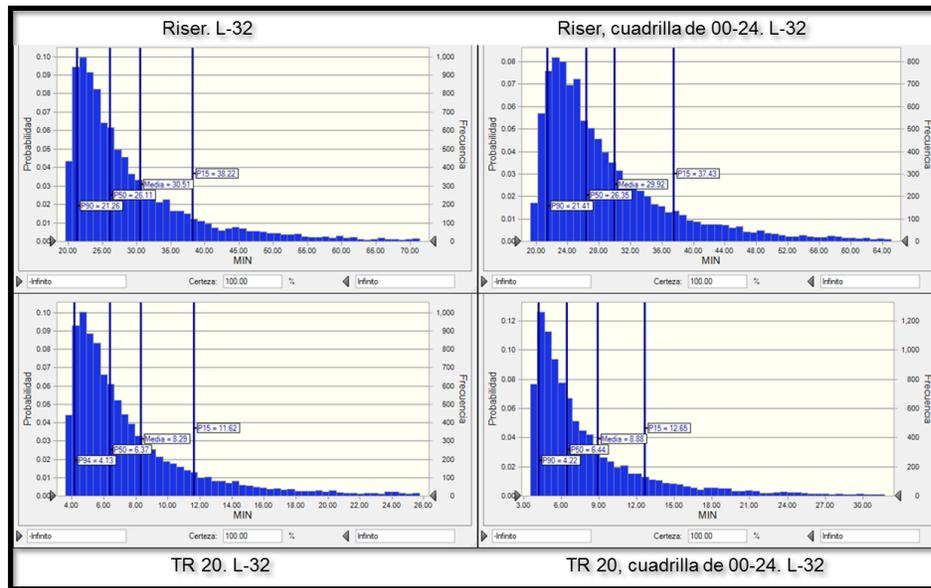


Fig.38 Análisis Riser y 20 del Pozo L-32.

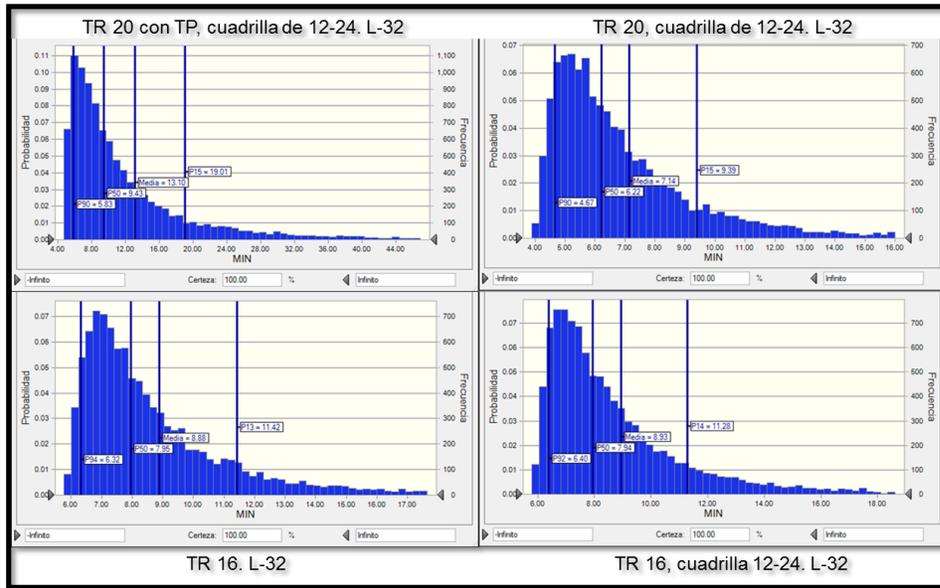


Fig.39 Análisis TR's 20 y 16 del Pozo L-32.

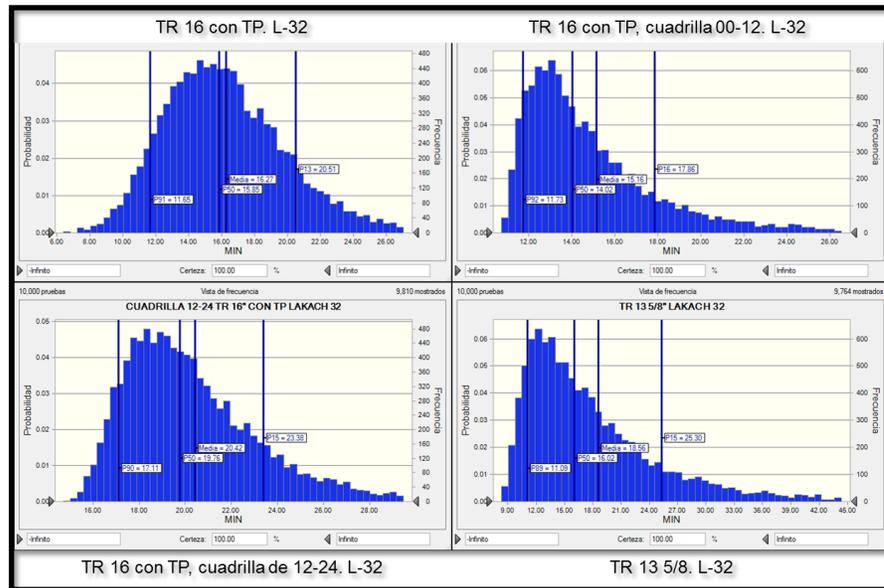


Fig.40 Análisis TR's 16 y 13 5/8 del Pozo L-32.

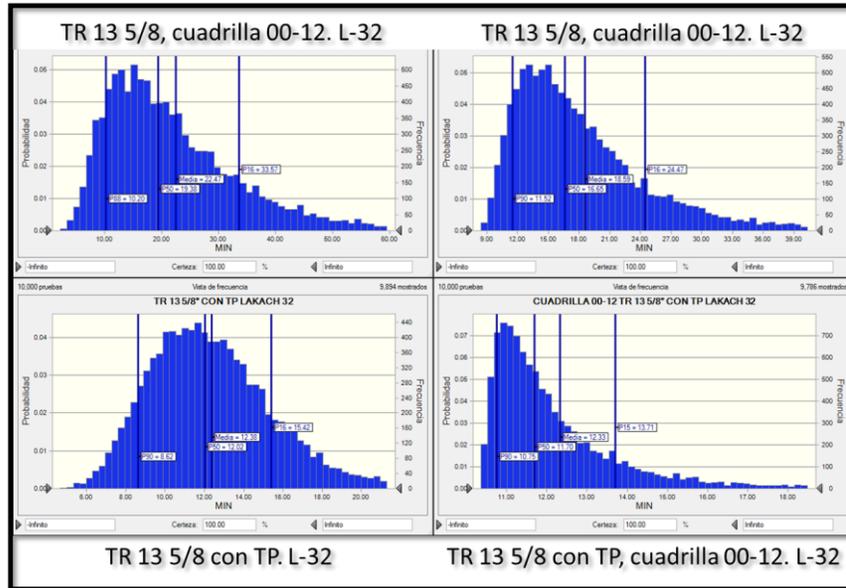


Fig.41 Análisis 13 5/8 del Pozo L-32.

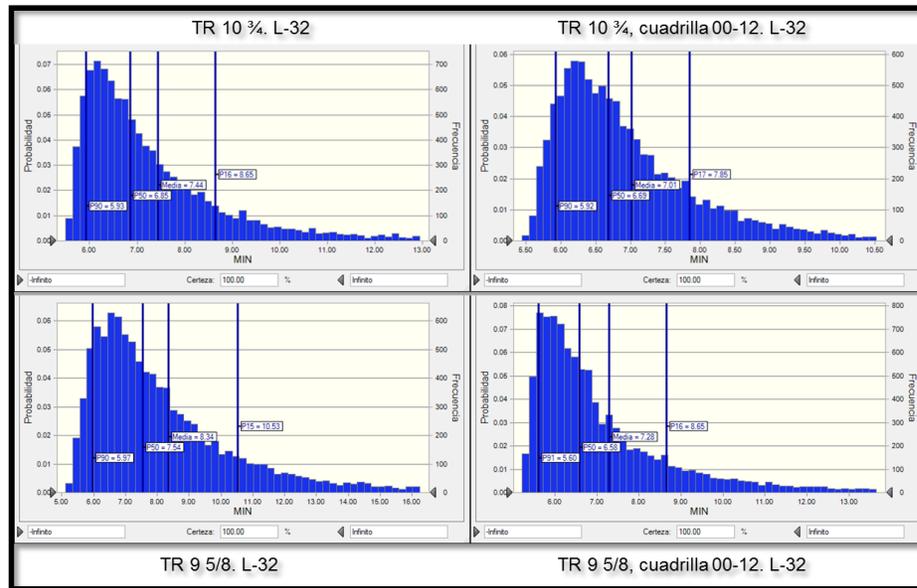


Fig.42 Análisis TR's 10 3/4 y 9 5/8 del Pozo L-32.

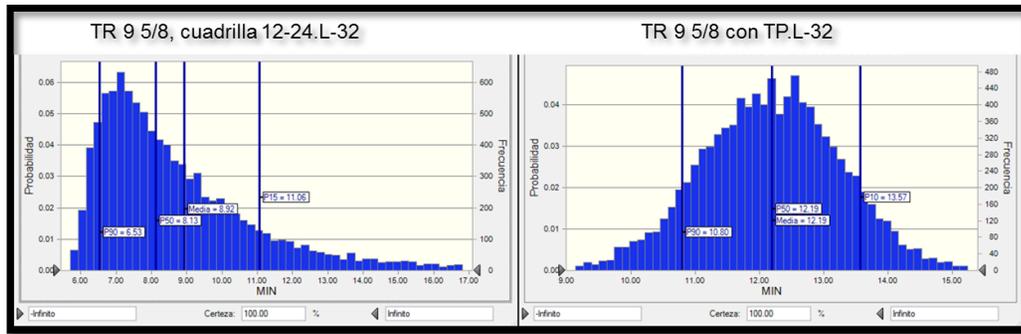


Fig.43 Análisis 9 5/8 del Pozo L-32.

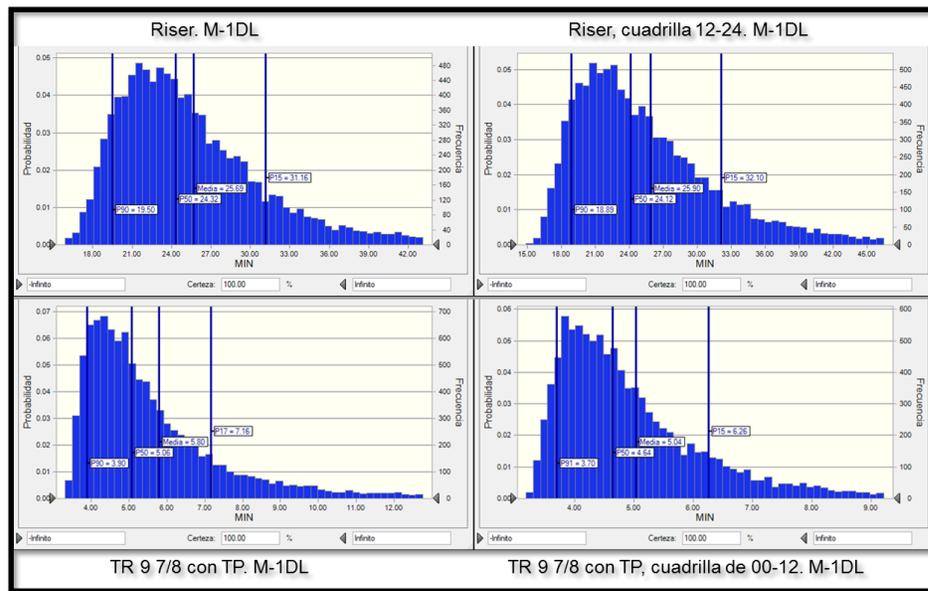


Fig. 44 Análisis Riser y TR 9 7/8 del Pozo M-1DL.

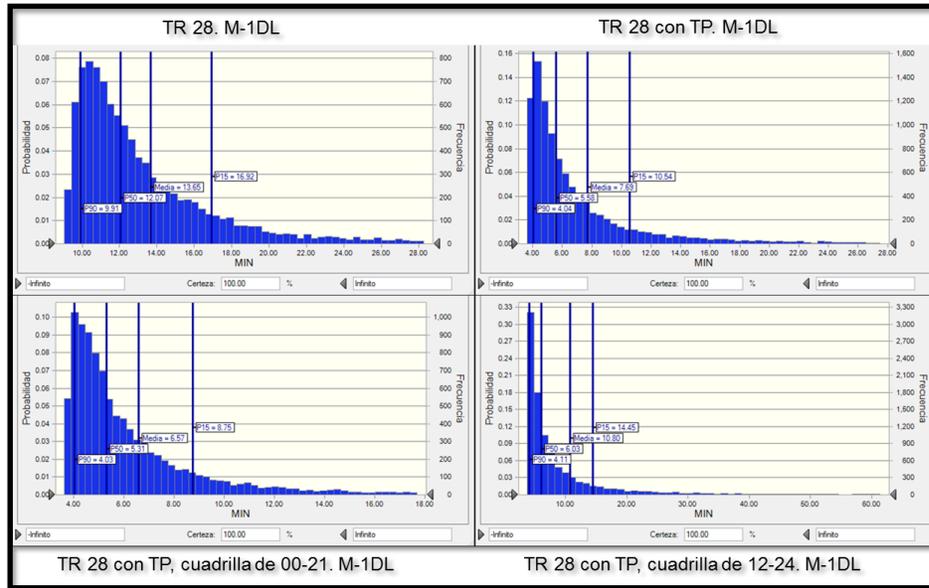


Fig. 45 Análisis 28 del Pozo M-1DL.

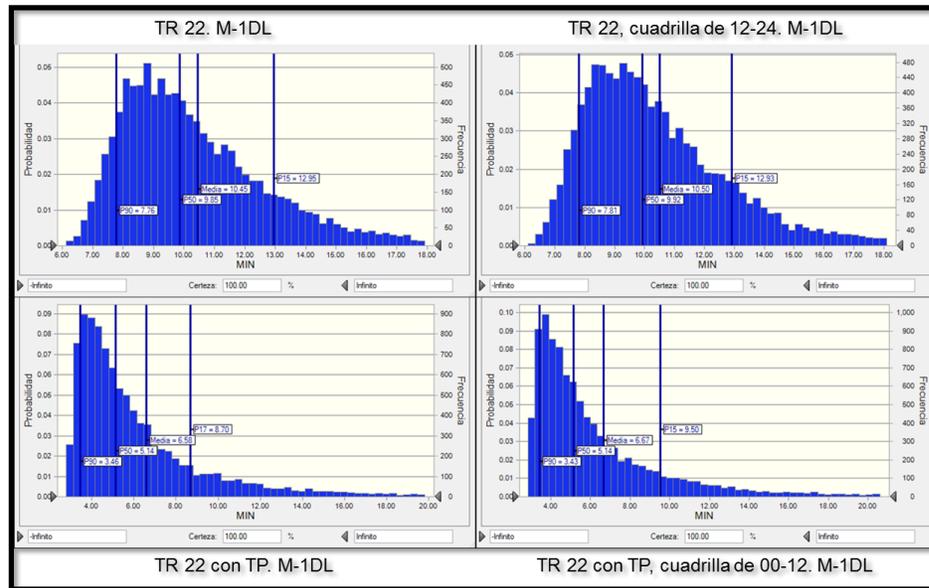


Fig. 46 Análisis 22 del Pozo M-1DL.

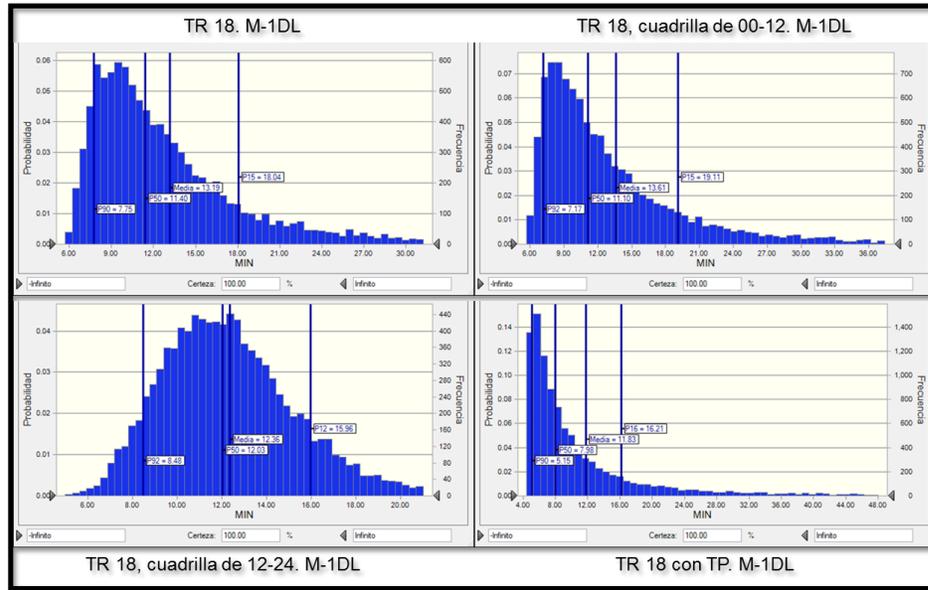


Fig. 47 Análisis 18 del Pozo M-1DL.

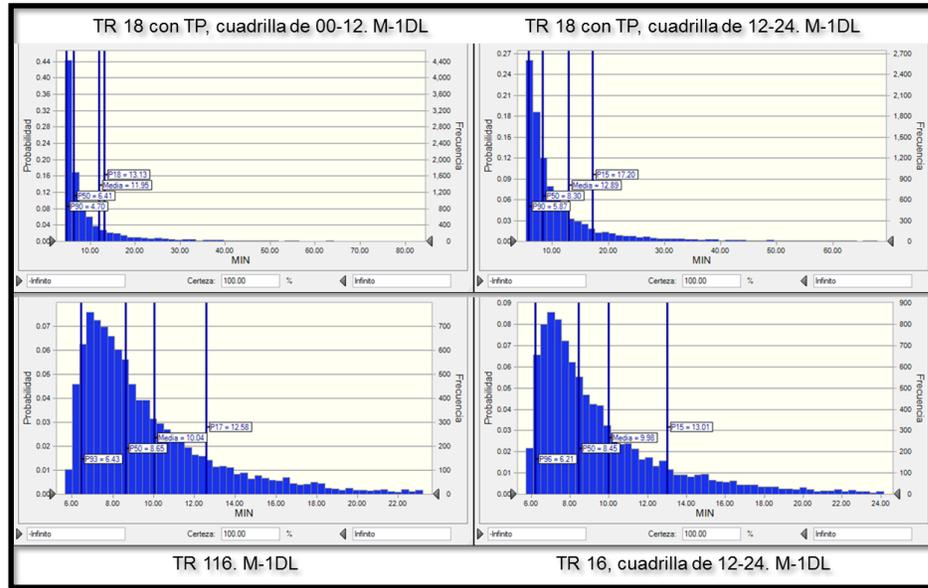


Fig. 48 Análisis TR's 18 y 16 del Pozo M-1DL.

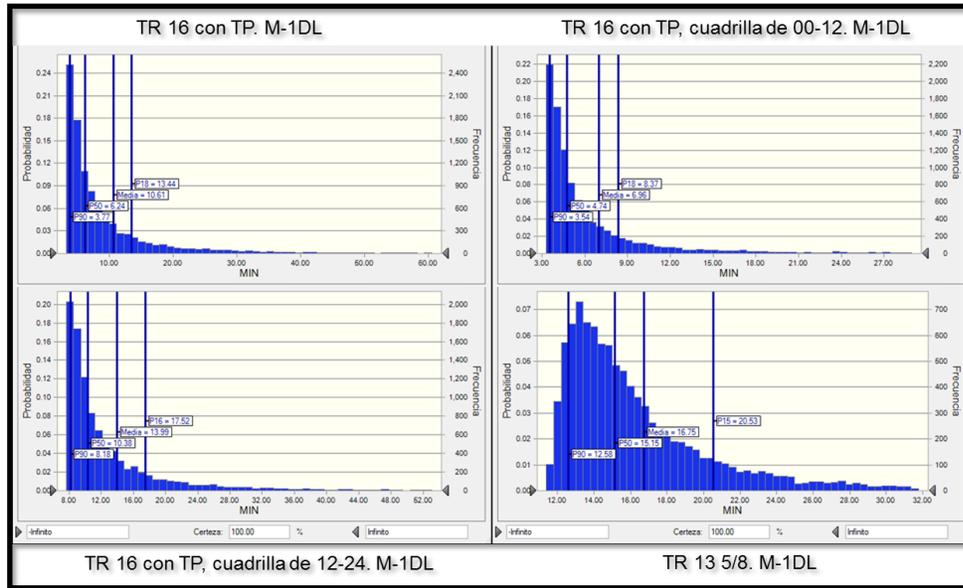


Fig. 49 Análisis TR's 16 y 13 5/8 del Pozo M-1DL.

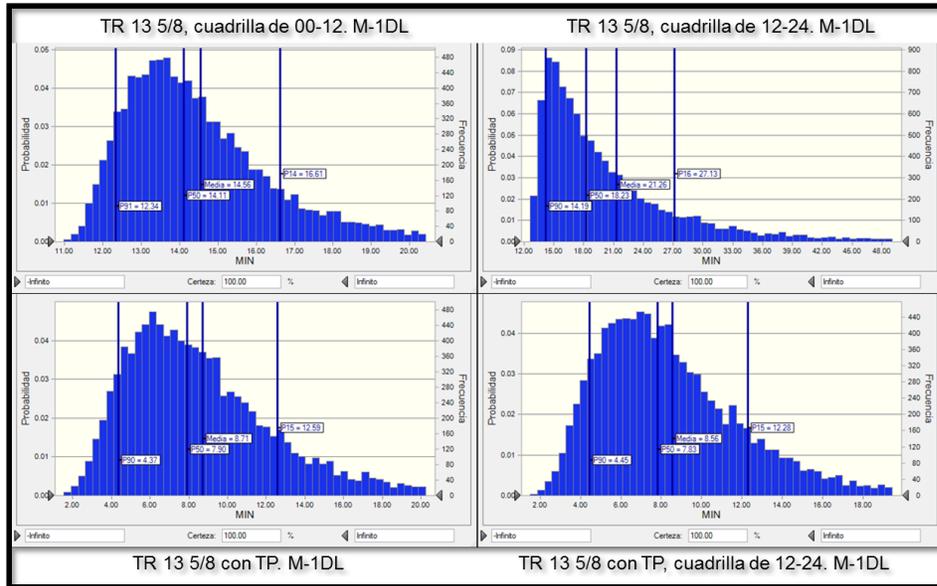


Fig. 50 Análisis 13 5/8 del Pozo M-1DL.

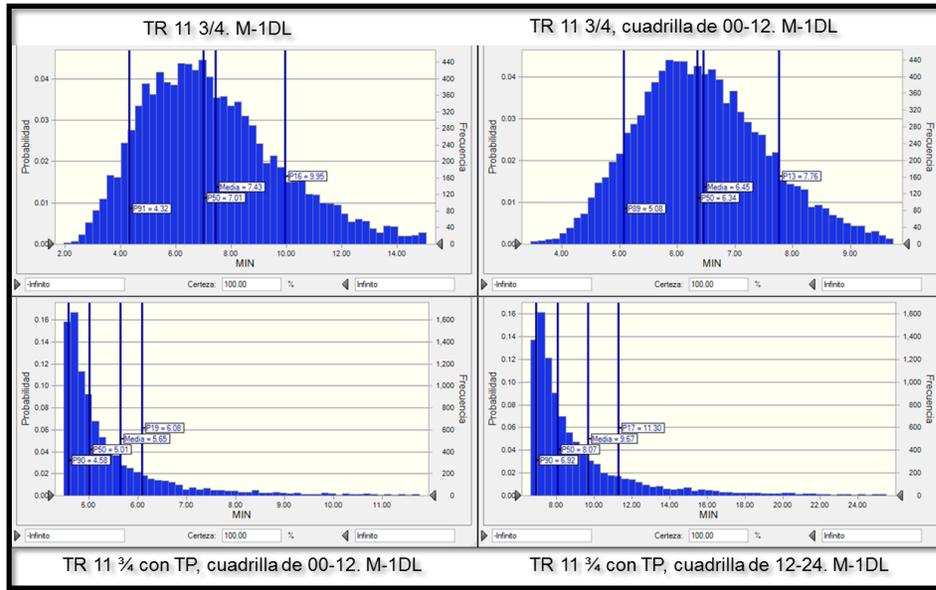


Fig. 51 Análisis 11 3/4 del Pozo M-1DL.

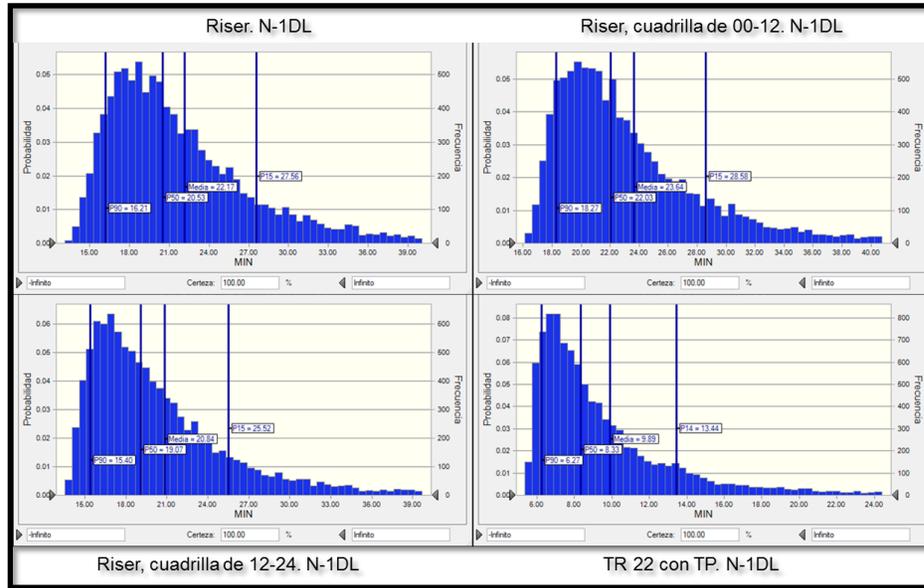


Fig. 52 Análisis Riser y TR 22 del Pozo N-1DL.

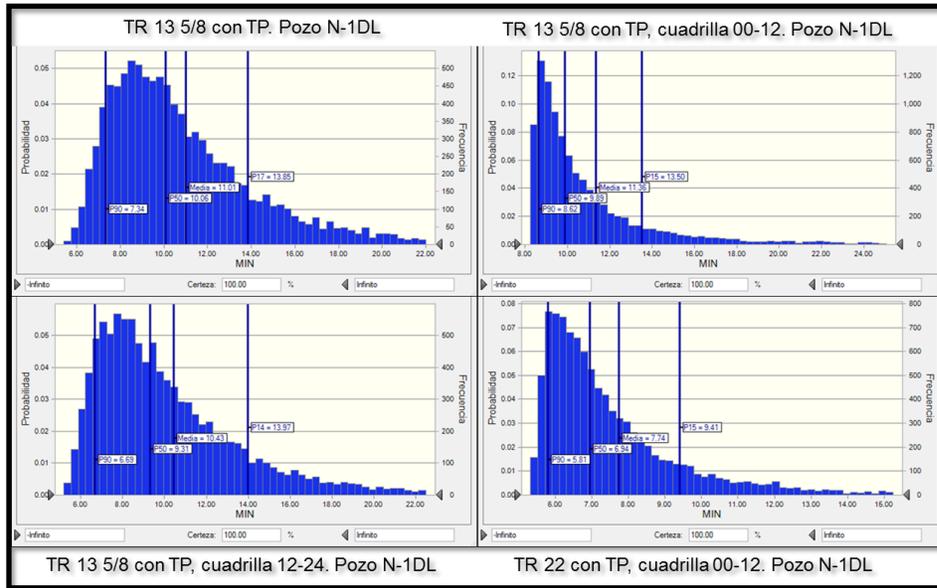


Fig. 53 Análisis 22 y 13 5/8 del Pozo N-1DL.

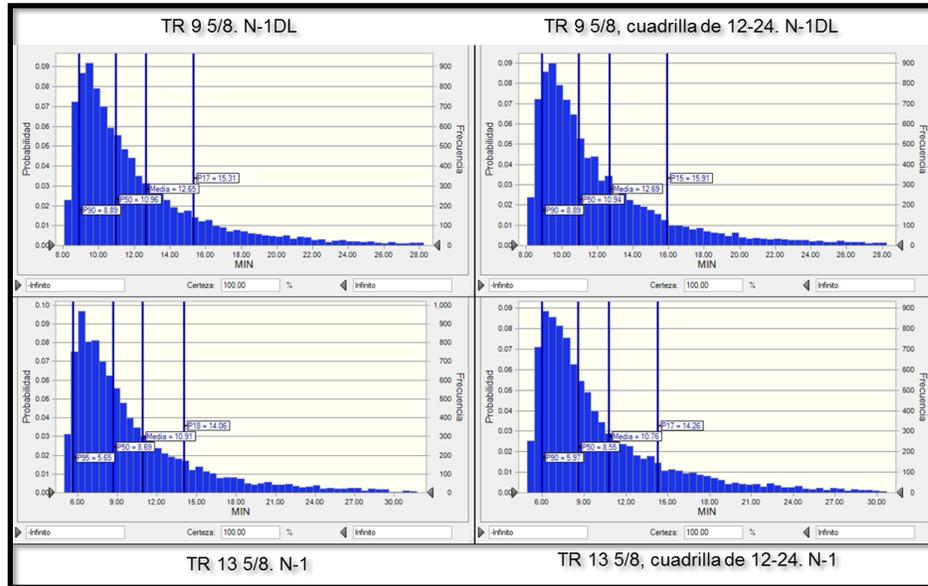


Fig. 54 Análisis 9 5/8 del Pozo N-1DL y 13 5/8 del Pozo N-1.

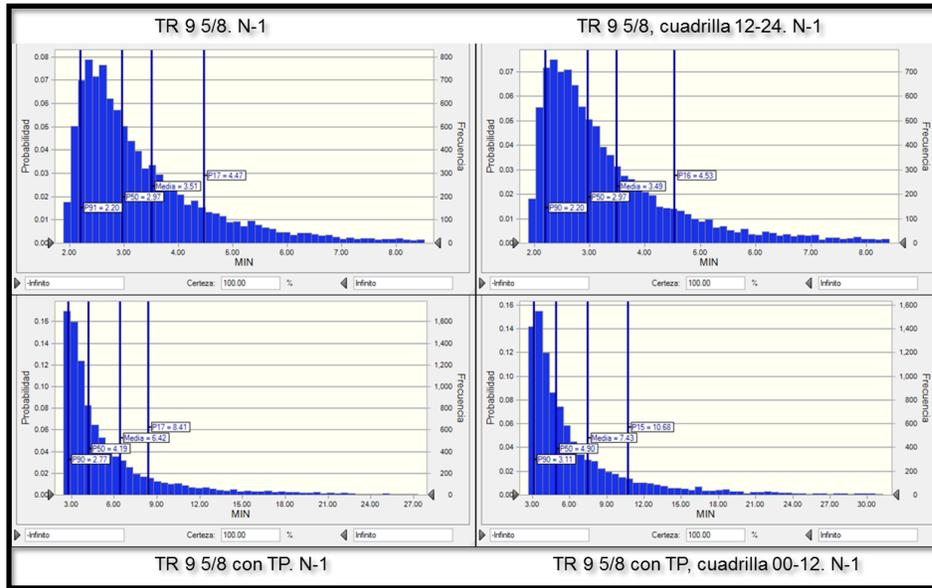


Fig. 55 Análisis 9 5/8 del Pozo N-1.

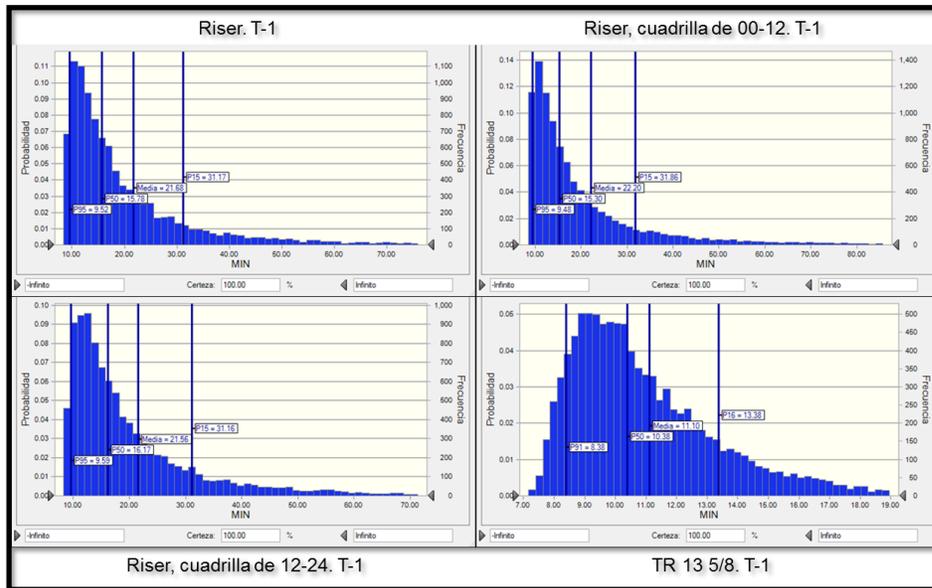


Fig. 56 Análisis Riser y TR 13 5/8 del Pozo T-1.

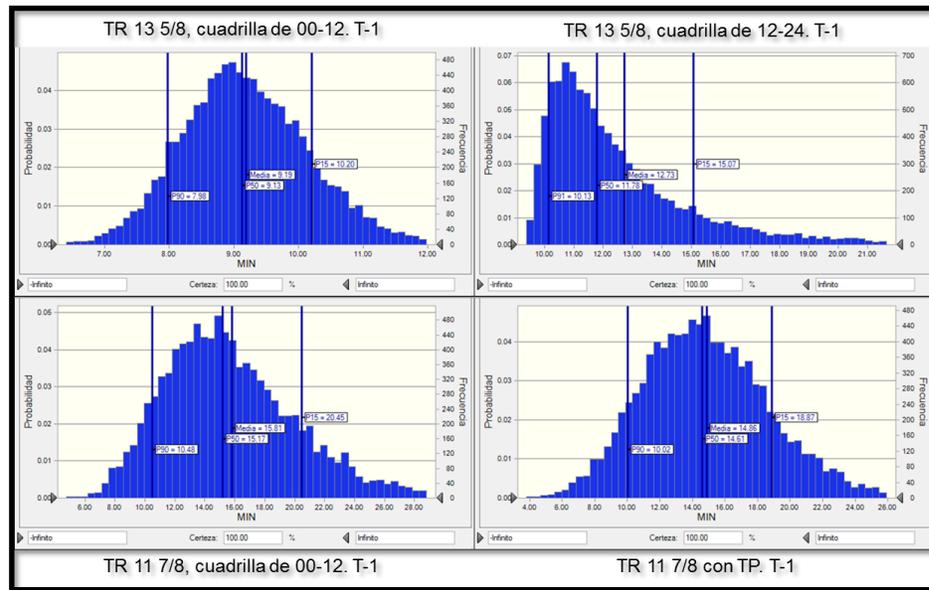


Fig. 57 Análisis TR's 13 5/8 y 11 7/8 del Pozo T-1.

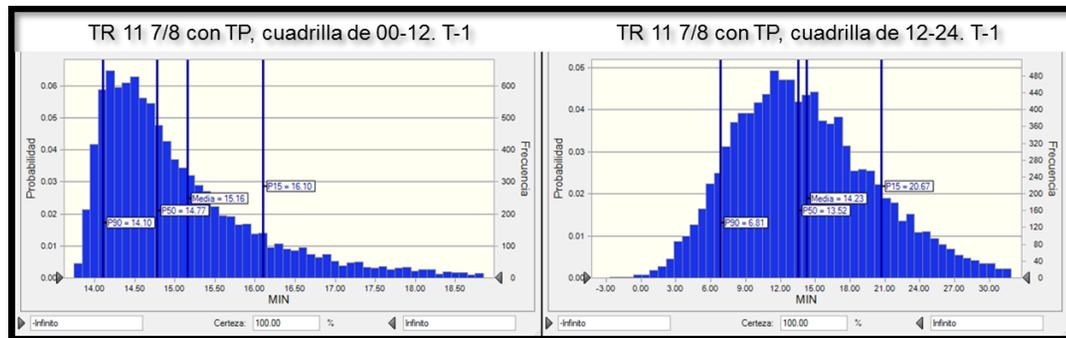


Fig. 58 Análisis 11 7/8 del Pozo T-1.

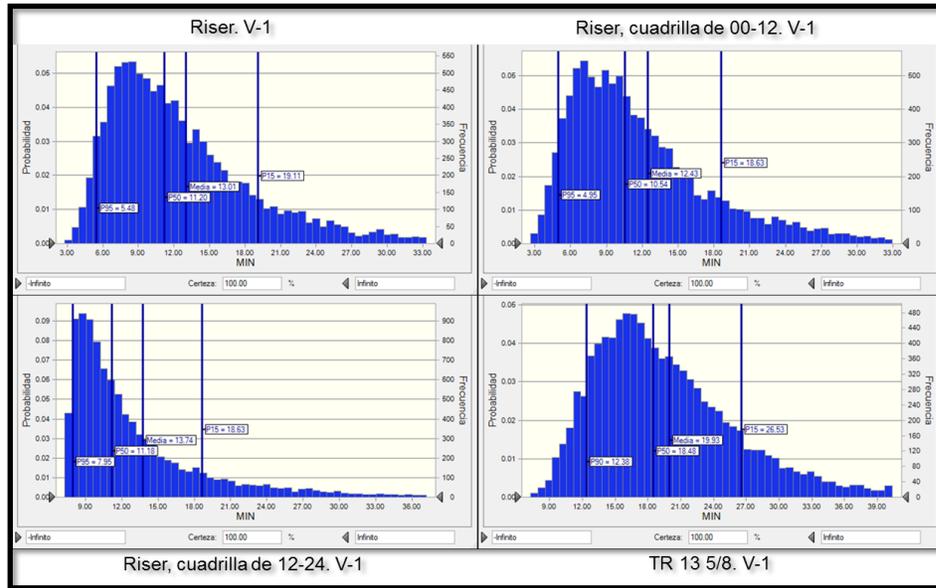


Fig. 59 Análisis Riser y 13 5/8 del Pozo V-1.

## BIBLIOGRAFIA

---

*BIBLIOGRAFÍA*

---

- [1] Alexander Weekse, Adib Al-Mumen, Ali Al- Hajji, Muhammad Muqem and Khaled Abovelnaaj, 2013. Field Specific KPI: An Inovative approach to drilling performance management, 1666-MS SPE Conference Paper
  
- [2] Alfonso Mora y V.M. Cortés, 2013. Beneficios del seguimiento operacional en tiempo real de los pozos del AECST. AIPM revista petrolera, Congreso Mexicano del Petróleo 2013.
  
- [3] Asbjorn Gyllensten, Adel Salem, John Coleman, Fahd Youssef, Harold Grayson, Omar Ragheb, Rick Rusell, Sherif Nabawg, Rejeesh Nair and Paul Kalathingal, 2006. Towards an ADCO real-time operations centre (RTOC), 101486-MS SPE Conference Paper.
  
- [4] Bob Lauder, 2012. Mejor hazard (Asset Integrity) key performance indicator in use in the UK offshore oil and gas industry. Oil & Gas UK.
  
- [5] Megan Brown, 2009. Developing KPI´s that drive Process safety improvement. 23845-MSSPE Conference Paper.
  
- [6] Cortés Jaime, 2013. *Simulación aplicada a la Ingeniería de perforación: “método de regresión múltiple para optimizar la velocidad de penetración analizando 8 variables”*. Tesis de Maestría, México, D.F.
  
- [7] Carrillo G. Luis, 2013. Sistema para graficar parámetros de perforación y estimar límite técnico de tiempo de intervenciones mediante métodos probabilísticos. Revista Ingeniería Petrolera, Vol 53, No. 5. ISSN 0185-3899.

- [8] Cesar I. Hernández and Rodolfo Torres Kyros, 2011. KPI drilling database. Drilling process synergy achieved through a systematic and analytic approach. AADE-11-NTCE-77.
  
- [9] D.F. Bond, P.W. Scott, P.E. Page and T.M. Windham, 1998. Applying technical limit methodology for step change in understanding and performance. SPE – IADC 35077.
  
- [10] David M. Pitchard, 2011. Mitigating drilling hazards with technologies (part 3 of DMH series). Deppwater horizon study group (DHSG), LLC 2010.
  
- [11] Eric Van Oort and Ed Taylor, Shell; Gerhard Thonhouser and Eric Maidla, 2008. Real-Time Rig-Activity detection helps identify and minimize invisible lost time. World Oil, April 2008.
  
- [12] Erland Saeverhagen, Fouzi Bouillouta, Nazaad Baksh, Celestine Vettical, Vibjorn Dagestad, 2013. Utilization ok key performance indicator and benchmarking improves drilling performance for several operators. 166742-MS SPE Conference Paper 2013.
  
- [13] Erland Saeverhagen, Arve Thorsen, Jan Ove Dagestad, Nic Spanovic and Kate Cannon, 2013. Remote real-time analysis - a game changer for remote operation centers. 16999-MS IPTC Conference Paper 2013.
  
- [14] Furqan Khan, Benjamin Testard, Jean-Gregoire Boero-Rollo and Eric Verbriggé, 2012. Managing operation events in real-time: from smart to smarter. 150428-MS SPE Conference Paper 2012.

- [15] G. Thonhauser, G. Wallnoefer and W. Ettl, 2007. Use of real – time rig – sensor data to improve daily drilling reporting, benchmarking, and planning – a case study. SPE – 99880.
- [16] J.F. Brett, K.K. Millheim, 1986. The drilling performance curve: a Yardstick for judging drilling performance. SPE 15362.
- [17] Juárez Fernando, 2012. La curva de aprendizaje y su impacto en la perforación y terminación de pozos en el Activo de Producción Ku-Maloob-Zaap. Revista Ingeniería Petrolera, Vol 53, No. 1, Enero 2013. ISSN 0185-3899.
- [18] Jeronimo Paulo, Deidre A. Taylor, Obi Isichei, Marty King and Gagan Singh, 2011. Transforming Operations with real time production optimization and reservoir management: case history offshore Angola. 143730-MS SPE Conference Paper 2011.
- [19] Ketil Andersen, Per Arild Sjøwall, StatoilHydro, Eric Maidla, Buddy King, Gerhard Thonhauser and Philipp Zöllner, 2009. Case history: automated drilling performance measurement of crews and drilling equipment. SPE – IADC 119746.
- [20] Maliardi and Di Renzo Domenico, 2014. Real time well operations to enhance performances in drilling & well productivity. 18017-MS IPTC Conference Paper 2014.
- [21] Michael Strathman, Davey Elley and Norbert Meirerhoefer, 2007. Time - based real time drilling operations excellence delivered. 107303-MS SPE Conference Paper 2007.

- [22] Matthew Isbell, Ramiro Ndong, Ryan Miller Isaac Fonseca, John Carrico, Major Flash and Doug Tinsley, 2014. Drilling optimization approach improves drilling efficiencies in the Bakken field. 170610-MS SPE Conference Paper 2014.
- [23] M. Piantanida, P. Rossi and G. Gaudioso, 2006. A web-based integrated project management system supporting teamworking and decision making on field development projects. 100184-PA SPE, Journal Paper 2006.
- [24] Syed Hammad Zafar and Goke Akinniranye, 2009. KPI benchmarking—a systematic approach. AADE 2009NTCE:07-04.
- [25] S. Mochizuki, L.A. Saputelli, C.S. Kabir, R. Cramer, M. J. Lochmann, R.D. Reese, L.K. Harms, C.D. Sisk, J.R. Hite and A. Escorcia, 2004. Real time optimization: classification and assessment. 90213-MS SPE Conference 2004.
- [26] Shimbo, David Takeshi, 2008. Petroleum operational analytics using business intelligence tools. 115098-MS SPE Conference Paper 2008.
- [27] S. Richardson, H. Keron, W. Jatmiko, J. Booker, L Osugo and J. Donachie, 2003. Advanced web technologies give real-time capabilities to enhance production operations and reservoir management. 83973-MS SPE, Conference Paper 2003.
- [28] Suzan Wiemers, 2009. Taking advantage of real time data in upstream operations. 120626-MS SPE, Conference Paper 2009.
- [29] William Mendenhall, Robert Beaver y Barbara M. Beaver, 2010. *Introducción a la probabilidad y estadística*. Cengage Learning.

[30] William Navidi, 2015. *Estadística para ingenieros y científicos*. Mc. Graw Hill, 1ra. Edición.

[31] Histogramas <http://www.fundibeq.org>.