



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

---

---

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**“ANÁLISIS DE NPT’S Y KPI’S PARA OPTIMIZAR LOS  
TIEMPOS EN LA PLANIFICACIÓN DE POZOS EN LA  
INDUSTRIA PETROLERA”**

**REPORTE DE PRÁCTICAS  
PROFESIONALES**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO PETROLERO**

**P R E S E N T A :**

**DAVID ANTONIO LARA CAMPOS**

**ASESOR INTERNO**

**ING. ENRIQUE ALBERTO MORFIN FAURE**

**ASESOR EXTERNO**

**M. EN C. GIOSWALD FERMIN INCIARTE RAMON**



**CIUDAD DE MÉXICO, JUNIO 2017**

OFICIO N° E.P. y T.187/2017

Ciudad de México, a 12 de junio de 2017.

**C. DAVID ANTONIO LARA CAMPOS**  
PASANTE DEL PROGRAMA ACADÉMICO  
DE INGENIERÍA PETROLERA  
PRESENTE.

A continuación comunico a usted, el tema del trabajo que deberá desarrollar para su examen profesional, por la opción de **PRÁCTICAS PROFESIONALES:**

**"ANÁLISIS DE NPT'S Y KPI'S PARA OPTIMIZAR LOS TIEMPOS EN LA  
PLANIFICACIÓN DE POZOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA"**

Hago de su conocimiento que tiene seis meses a partir de esta fecha para desarrollarlo, de acuerdo al reglamento de Titulación del I.P.N.

**ATENTAMENTE**  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

**Ing. Fernando Rodríguez Chávez**  
Subdirector Académico



**UNIDAD TICOMAN**  
**SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA**

FRCH\*gach.



"Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos",  
"60 Aniversario del CECyT 14 Luis Enrique Erro",  
"60 Aniversario del Patronato de Obras e Instalaciones",  
"50 Aniversario de COFAA-IPN",  
"30 Aniversario de la Unidad Interdisciplinaria de Biotecnología".

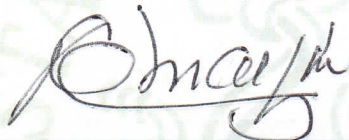
Años  
**95**  
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura

Ciudad de México, a 15 de junio de 2017.

**ING. FERNANDO RODRÍGUEZ CHAVEZ**  
SUBDIRECTOR ACADÉMICO  
**PRESENTE**

Por este conducto, hacemos constar que el Tema de Trabajo a desarrollar, por la opción de **Prácticas Profesionales, "Análisis de NPT'S y KPI'S para optimizar los tiempos en la planificación de pozos en la industria petrolera"** presentado por la pasante del Programa Académico de Ingeniería Petrolera, C. **DAVID ANTONIO LARA CAMPOS**, fue revisado y aprobado por los suscritos considerándolo ampliamente desarrollado, por lo tanto esa Subdirección a su cargo, puede señalar fecha para realizar el Examen Oral.

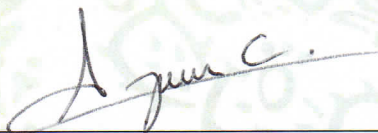
TITULARES



ING. ALBERTO ENRIQUE MORFÍN FAURE




ING. PEDRO JAVIER PÉREZ SILVA



ING. AZUCENA CHAVIRA GONZÁLEZ



ING. ARISTIDES DOMÍNGUEZ CÁRDENAS



ING. JOSÉ ROBERTO ZENTENO JIMÉNEZ

**SEP**

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Politécnico Nacional



Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura  
Unidad Ticomán

"Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos".  
"60 Aniversario del CECyT 14 Luis Enrique Erro".  
"60 Aniversario del Patronato de Obras e Instalaciones".  
"50 Aniversario de COFAA-IPN".  
"30 Aniversario de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología".

Años  
**95**  
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESEMPEÑO EN BIODIVERSIDAD

OFICIO N° E.P. y T.122/2017/

Ciudad de México, a 9 de junio de 2017.

**ING. ALBERTO ENRIQUE MORFÍN FAURE**  
**ING. PERO JAVIER PÉREZ SILVA**  
**ING. JOSÉ ROBERTO ZENTENO JIMENEZ**  
**ING. AZUCENA CHAVIRA GONZÁLEZ**  
**ING. ARISTIDES DOMÍGUEZ CÁRDENAS**  
PRESENTE

Con relación a la solicitud de titulación del C. **DAVID ANTONIO LARA CAMPOS**, pasante del Programa Académico de **Ingeniería Petrolera**, por la opción de **PRÁCTICAS PROFESIONALES** y conforme al artículo No. 15 del Reglamento de Titulación Profesional, solicito a ustedes se sirvan asesorarlo con respecto al informe escrito que deberá desarrollar, del cual posteriormente hará una exposición oral como examen profesional.

Cabe señalar que el informe escrito deberá ser entregado, en esta oficina en un plazo no mayor a seis meses a partir de la fecha del presente.

Dicho informe será sancionado previamente por la academia correspondiente, y en su caso aprobado por la Subdirección Académica.

**ATENTAMENTE**  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

**Ing. Fernando Rodríguez Chávez**  
Subdirector Académico



**UNIDAD TICOMAN**  
**SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA**

c.c.p. Ing. Azucena Chavira González.- Jefa del Departamento de Formación Profesional Específica.  
Interesado.  
Archivo

Av. Ticomán No. 600, Col. San José Ticomán, Delegación Gustavo A. Madero, Ciudad de México, C. P. 07340  
Conmutador 01 (55) 5729 6000, ext. 56001  
[www.esiatic.ipn.mx](http://www.esiatic.ipn.mx)



## ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>RESUMEN.....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>ABSTRACT</b>   |           |
| <b>PROBLEMÁTICA.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>OBJETIVO GENERAL</b>   |           |
| <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>CAPÍTULO I .....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>1.1 ANTECEDENTES DEL CAMPO T-C</b>   |           |
| <b>1.2 LOCALIZACIÓN DEL CAMPO T-C.....</b>  | <b>10</b> |
| <b>1.3 INFORMACIÓN GENERAL DEL CAMPO .....</b>                                      | <b>11</b> |
| <b>1.4 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA LOCAL</b>   |           |
| <b>1.5 MAPA ESTRUCTURAL</b>   |           |
| <b>1.6 CLASIFICACIÓN Y FUNCIONES DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO .....</b>         | <b>13</b> |
| 1.6.1 Tubería conductora  |           |
| 1.6.2 Tubería superficial   |           |
| 1.6.3 Tubería intermedia  |           |
| 1.6.4 Tubería de explotación  |           |
| 1.6.5 Tubería corta (liner) .....   | 14        |
| 1.6.6 Tubería complemento (Tie-back) y complemento corto (Stub)                     |           |
| 1.6.7 Sin tubería de producción (Tubingless)  |           |
| <b>1.7 CLASIFICACIÓN DE POZOS DE ACUERDO A SU PROPÓSITO Y A SU TRAYECTORIA.....</b> | <b>15</b> |
| 1.7.1 Exploratorios   |           |
| 1.7.2 Evaluación o delimitadores  |           |
| 1.7.3 Desarrollo.....   | 16        |
| 1.7.4 Verticales  |           |
| 1.7.5 Direccionales   |           |
| 1.7.6 Tipo Tangencial   |           |
| 1.7.7 Forma de “J”.....   | 17        |
| 1.7.8 Forma de “S”  |           |
| 1.7.8.1 Tipo “S”  |           |
| 1.7.8.2 “S” especial  |           |



|                    |   |           |
|--------------------|---|-----------|
| 1.7.9              | Inclinados o de alto ángulo   |           |
| 1.7.10             | Horizontales  |           |
| 1.7.11             | Multilaterales  |           |
| <b>1.8</b>         | <b>SELECCIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL POZO</b>   | <b>19</b> |
| <b>1.9</b>         | <b>METODOLOGÍA VCDSE</b>  | <b>20</b> |
| 1.9.1              | Proceso de ejecución de proyectos   |           |
| 1.9.2              | El proceso FEL  | 20        |
| 1.9.3              | FEL I/Visualización   | 23        |
| 1.9.4              | FEL II/Conceptualización  |           |
| 1.9.5              | FEL III/ Definición   | 24        |
| 1.9.6              | ESTIMADO DE COSTOS  | 24        |
| 1.9.6.1            | COSTOS CLASE V  |           |
| 1.9.6.2            | COSTOS CLASE IV   |           |
| 1.9.6.3            | COSTOS CLASE III  |           |
| 1.9.6.4            | COSTOS CLASE II   | 25        |
| 1.9.6.5            | COSTOS CLASE I  |           |
| 1.9.7              | Importancia de la Metodología FEL   |           |
| <b>1.10</b>        | <b>LÍMITE TÉCNICO</b>   | <b>28</b> |
| 1.10.1             | Metodología de Límite Técnico   | 30        |
| <b>CAPÍTULO II</b> |   | <b>30</b> |
| <b>2.1</b>         | <b>DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES MEDULARES EN LA ETAPA DE PERFORACIÓN</b>                                       |           |
| <b>2.2</b>         | <b>ANÁLISIS DE TIEMPOS DE ETAPAS DE PERFORACIÓN</b>   | <b>32</b> |
| <b>2.3</b>         | <b>ANÁLISIS COMPARATIVO DE TIEMPOS REALES CONTRA EJERCICIO 2016 EN LA ETAPA DE PERFORACIÓN</b>              | <b>34</b> |
| <b>2.4</b>         | <b>DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES MEDULARES EN CAMBIOS DE ETAPA</b>  | <b>37</b> |
| <b>2.5</b>         | <b>ANÁLISIS DE TIEMPOS DE CAMBIOS DE ETAPAS</b>   | <b>37</b> |
| <b>2.6</b>         | <b>ANÁLISIS COMPARATIVO DE TIEMPOS PLANEADOS CONTRA REALES EN CAMBIOS DE ETAPA, OPORTUNIDADES DE MEJORA</b> | <b>40</b> |
| <b>2.7</b>         | <b>LÍMITE TÉCNICO</b>   | <b>41</b> |
| <b>2.8</b>         | <b>PROPUESTA DE TIEMPOS PLANEADOS</b>   | <b>50</b> |
|                    | <b>CONCLUSIONES</b>   | <b>54</b> |
|                    | <b>RECOMENDACIONES</b>  |           |
|                    | <b>ANEXOS</b>   | <b>56</b> |



## RESUMEN

Dentro de este trabajo se estudian los tiempos no productivos en el desarrollo de un pozo petrolero, el estudio comprende tanto las etapas de perforación como las fases planas dentro del proceso macro de perforación de un pozo en la industria petrolera. El análisis se realiza con base en los reportes operativos de campo y los tiempos planeados por ingeniería de diseño obtenidos de los programas de perforación de diez (10) pozos dentro del campo T-C en la zona de la Cuenca Tampico-Misantla.

El análisis comienza registrando los tiempos reales de la etapa de perforación en siete (7) fases con los datos obtenidos para comparar posteriormente contra el reto planteado para el año 2017 dentro de Petróleos Mexicanos, luego se identifican las actividades específicas para las fases planas del proceso, se registran once (11) fases con los tiempos reales de dichas actividades y se comparan contra los tiempos estimados en los programas de perforación. La finalidad del estudio comparativo permite identificar mejoras en el proceso de perforación de pozos.

Este trabajo muestra que para la perforación de un pozo en el campo T-C los tiempos del pozo híbrido y para el límite técnico alcanzan 10.11 días y 9.92 días; no obstante el límite técnico propuesto por actividad medular alcanza 9.15 días.

Con base en lo anterior y a fin de mejorar el proceso y control de la perforación se propone aplicar la metodología del límite técnico por actividad medular para estimaciones de tiempo-costo de los siguientes pozos.

## ABSTRACT

In this job is studied the non-productive times in the development of an oil well, the study includes both the drilling stages and the flat phases within the macro drilling process of a well in the oil industry. The analysis is based on the operational field reports and the designed times obtained from the 10-well drilling programs within the T-C field in the Tampico-Misantla Basin area.

The analysis begins by recording the actual times of the drilling phase and with the data obtained compare it against the challenge posed for 2017 in Mexican oils, after that specific activities will be identified for the flat phases of the process, the actual timing of these phases are recorded and compared against the estimated times in drilling programs.

The development of this work, leads to the projection of a technical limit based on PEMEX guidelines and another one based on core activities identified in the drilling process and in the flat phases to obtain conclusions based on the comparison of the results obtained.



## **PROBLEMÁTICA**

Durante el proceso de perforación de pozos en el campo T-C se han observado desviaciones que ascienden a +/- 20% en tiempos improductivos lo cual representa un incremento de tiempo-costo en los proyectos de perforación de pozos de desarrollo; de tal manera que en este trabajo se pretende analizar las actividades medulares tanto en etapas de perforación como en los cambios de etapa, identificando desviaciones y proponiendo acciones de mejora, para reducir la incidencia de tiempos no productivos e invisibles contribuyendo a una mayor rentabilidad en los proyectos.

## **OBJETIVO GENERAL**

El objetivo general de este trabajo consiste en analizar e identificar los tiempos improductivos generados durante el proceso de perforación de pozos de desarrollo en el campo T-C del Bloque Norte 02 en Petróleos Mexicanos, con la finalidad de contribuir a optimizar los tiempos estimados dentro del programa detallado de perforación de pozos.

Este análisis considera las etapas de perforación de 17 ½", 12 ¼" y 8 ½" con arreglos de tuberías de revestimiento conductora 13 3/8", superficial de 9 5/8" y de producción de 7" en pozos que tienen como objetivo las calizas cretácicas de la formación KTI.





## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar las diferentes actividades que se llevan a cabo durante el proceso de perforación del pozo, una vez analizadas las etapas de perforación para cada pozo perforado, comparar los tiempos reales con los tiempos que estipula el oficio PEP-DG-CGPI-003-2017, el cual hace referencia a los tiempos de perforación del ejercicio 2016 dentro de Petróleos Mexicanos; con el fin de proponer mejoras ante desviaciones significativas presentadas. Por otra parte, éste análisis comparativo nos permitirá analizar de forma rigurosa los tiempos estimados dentro del programa detallado de perforación de un pozo.
2. Identificar las diferentes actividades que se llevan a cabo durante los cambios de etapa (fases planas dentro del proceso de perforación), con el objeto de discretizar, comparar y analizar los tiempos estimados versus los tiempos reales con el fin de presentar propuestas de mejora para la optimización del proceso. En adición este análisis comparativo permitirá analizar de manera detallada si los tiempos para cada actividad discretizada en las etapas planas, se corresponden con lo operativamente alcanzado.
3. Proponer acciones de mejora o emitir recomendaciones que ayuden a optimizar los tiempos de perforación y tiempos planos (cambios de etapa), basados en los resultados comparativos de tiempos estimados versus reales de este análisis.

En éste sentido se elaborarán gráficas de profundidad versus tiempo de los diez (10) pozos perforados con tiempos generales, y tiempos limpios para definir lo mejor de cada etapa de perforación y cada cambio de etapa para elaborar nuestro límite técnico.



## INTRODUCCIÓN

Dentro de la historia de la explotación petrolera en nuestro país se han realizado diversos descubrimientos los cuales significaron una gran fuente de riqueza para México, y el campo T-C no fue la excepción. La perforación en el campo se inició a mediados del siglo pasado en la cuenca Tampico-Misantla región a la cual pertenece el campo T-C, que tiene la particularidad de estar compuesto por un par de yacimientos que debido a sus similitudes litológicas y de yacimiento se desarrollaron como uno solo, este campo comenzó su producción en 1956 y su desarrollo fue principalmente impulsado con pozos verticales los cuales en un inicio contaban con estados mecánicos muy simples, en su diseño únicamente contaban con dos (2) tuberías de revestimiento. Cabe mencionar que la tubería de revestimiento de 6 5/8" utilizada previamente, en la actualidad ha sido sustituida en el área por tuberías de 7".

El alcance de este proyecto está encaminado en dar solución a la problemática que en recientes estudios han demostrado que los tiempos improductivos en el desarrollo de un pozo ascienden alrededor de un 20% lo cual genera desviaciones considerables en la rentabilidad de los proyectos.

Los pozos dentro de la zona de estudio presentan tiempos de perforación promedio de 15 días lo cual se pretende reducir en 20%, esto es, disminuir los tiempos del plan de perforación a 12 días todo esto teniendo como base los conocimientos tanto de la metodología VCDSE como del Limite Técnico, prácticas y tecnologías.

# CAPÍTULO I

## 1.1 ANTECEDENTES DEL CAMPO T-C

Petróleos Mexicanos (PEMEX) es la mayor empresa de México, el mayor contribuyente fiscal del país; así como, una de las empresas más grandes de América Latina, por lo que la mayor parte del conocimiento del Campo T-C se debe a esta empresa. Es de las pocas operadoras petroleras del mundo que desarrolla toda la cadena productiva de la industria, desde la exploración, hasta la distribución y comercialización de productos finales, incluyendo la petroquímica. Durante 2015, sus ingresos totales ascendieron a 264.3 mil millones de pesos. La producción nacional de crudo y gas, proviene en su mayoría de campos que han entrado en la etapa de madurez, por lo que ha iniciado su fase de declinación o están próximos a entrar a esa etapa, tal como se muestra en la figura 1, en la que se puede observar, cómo la mayoría de los campos productores se encuentran en la etapa de declinación, agravando esta situación, cabe señalar que los campos que cada vez están produciendo menos son los llamados “campos gigantes”. Los campos que se encuentran en la etapa de desarrollo son con reservas y producción más bajas, ya que las rocas almacenadoras tienen poco espesor y presentan poca continuidad están en su etapa final. Debido a la baja de la producción en la mayoría de los campos petroleros de México, es de gran importancia realizar el adecuado desarrollo de los proyectos para tener la capacidad de mantener e incrementar el volumen de producción actual, para esto es conveniente realizar permanentemente los estudios necesarios de las características especiales de cada campo, con la finalidad de realizar propuestas viables para un óptimo desarrollo.

Ciclo de vida de los proyectos

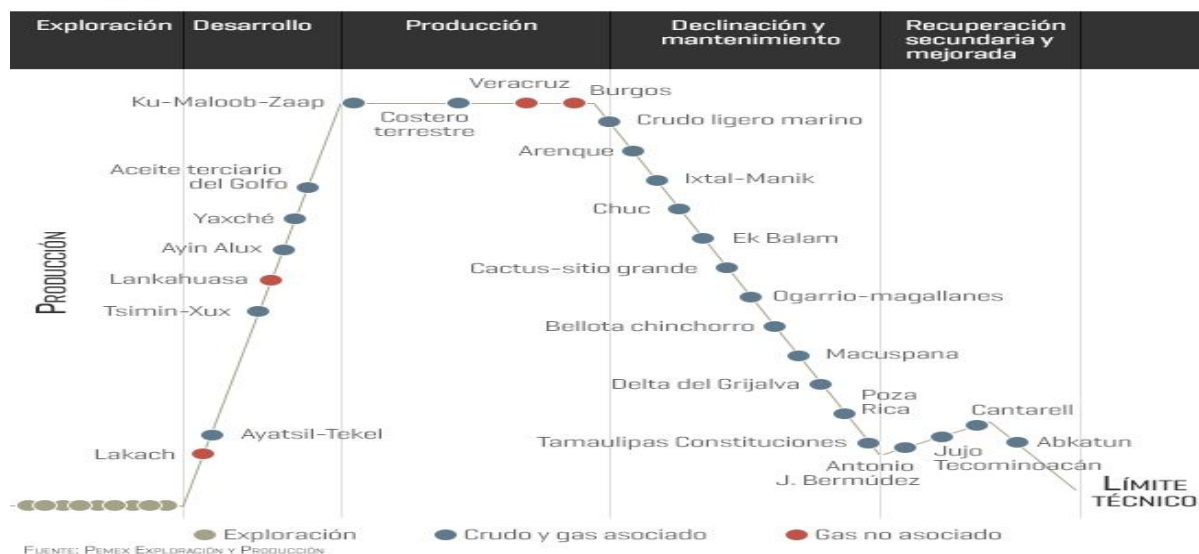


Figura 1. Ciclo de vida de los campos petroleros en México. (PEMEX 2012).



Pemex (1999), La planicie costera del Golfo de México ha sido estudiada geológicamente desde principios del siglo XX debido a la presencia de numerosas manifestaciones superficiales de hidrocarburos. Iniciándose con esto la perforación de pozos a diferentes niveles estratigráficos por las compañías extranjeras y posteriormente por Petróleos Mexicanos.

La importancia económica de la zona tuvo un gran realce con la explotación de los yacimientos en las áreas Ébano-Pánuco y Faja de Oro donde se obtuvo muy buena producción de hidrocarburos provenientes principalmente de sedimentos del Cretácico. Con el Campo T-C y posteriormente el de Barcodón. La zona tuvo su mayor auge petrolero que se intensificó aún más con el Campo Arenque.

Pemex (1999). En un informe inédito describe los trabajos gravimétricos y sísmológicos realizados en el periodo 1951-1953, en los cuales se le denominó Tamaulipas, teniendo su eje principal con un rumbo aproximado noreste-suroeste. Sobre este fue perforado el pozo Altamira-1 (T-1): terminando oficialmente como productor de aceite en el yacimiento Tamaulipas inferior A, pozo que es considerado descubridor del campo Tamaulipas-Constituciones. A principios de 1956 en el mismo campo se perforaron los pozos T-49 y T-52 resultando ambos productores en sedimentos de la formación San Andrés del Jurásico Tardío.

A mediados de ese mismo año en las cercanías del rancho Las Gallinas Altamira Tamaulipas. Sobre altos estructurales, se perforaron 2 pozos. Uno de estos, el pozo Gallinas-101 (C-101). Fue terminado como productor de aceite en el yacimiento Areniscas Constituciones del Jurásico Tardío. El otro el Gallinas-102 (C-102), descubrió el yacimiento Jurásico San Andrés.

Este hecho impulsó el desarrollo de ambos campos. y dadas las similitudes litológicas y de yacimientos entre ellos se desarrollaron como uno solo, con el nombre de Campo Tamaulipas-Constituciones. El campo inició su producción en 1956. Al mismo tiempo se empezó su desarrollo con la perforación de pozos verticales con espaciamiento de 400 metros entre ellos. Posteriormente, el desarrollo del Campo propicia el descubrimiento de dos yacimientos más: el Tamaulipas Inferior B del Cretácico Inferior y el Tamaulipas Superior del Cretácico Medio.

En el año de 1968 se inició el proyecto de recuperación secundaria para el yacimiento San Andrés. Por medio de inyección de agua en arreglos hexagonales de pozos (Pemex. 1999). Es decir, 6 productores con un inyector al centro, resultando un total de 98 arreglos con 195 pozos productores. Posteriormente de 1982 a 1992 se inicia la etapa de perforación de 124 pozos intermedios con objetivo Jurásico San Andrés, con espaciamiento de 200 m de ellos 119 fueron productores. Actualmente el campo Tamaulipas-Constituciones produce 11,540 bpd de aceite con 5.8 mmpcd de gas.

## 1.2 LOCALIZACIÓN DEL CAMPO T-C

El campo Tamaulipas-Constituciones, se localiza en la porción nororiental de México, al norte de la ciudad de Altamira Tamaulipas, aproximadamente a 25 Km de la ciudad de Tampico. Geográficamente el área está comprendida entre los paralelos 22° 21 - 35" Y 22° 43- 40" de latitud norte y los meridianos 97° 55- 57" a 97° 50- 05" longitud oeste.

Sus límites son: Al norte el campo Barcodón, al sur los pozos Champayán-1001 y Empacadora-1, al oriente la línea de costa del Golfo de México y al poniente la Sierra de Tamaulipas.

Geológicamente el área de estudio pertenece a la cuenca Terciaria de Tampico-Misantla (Figura 2)

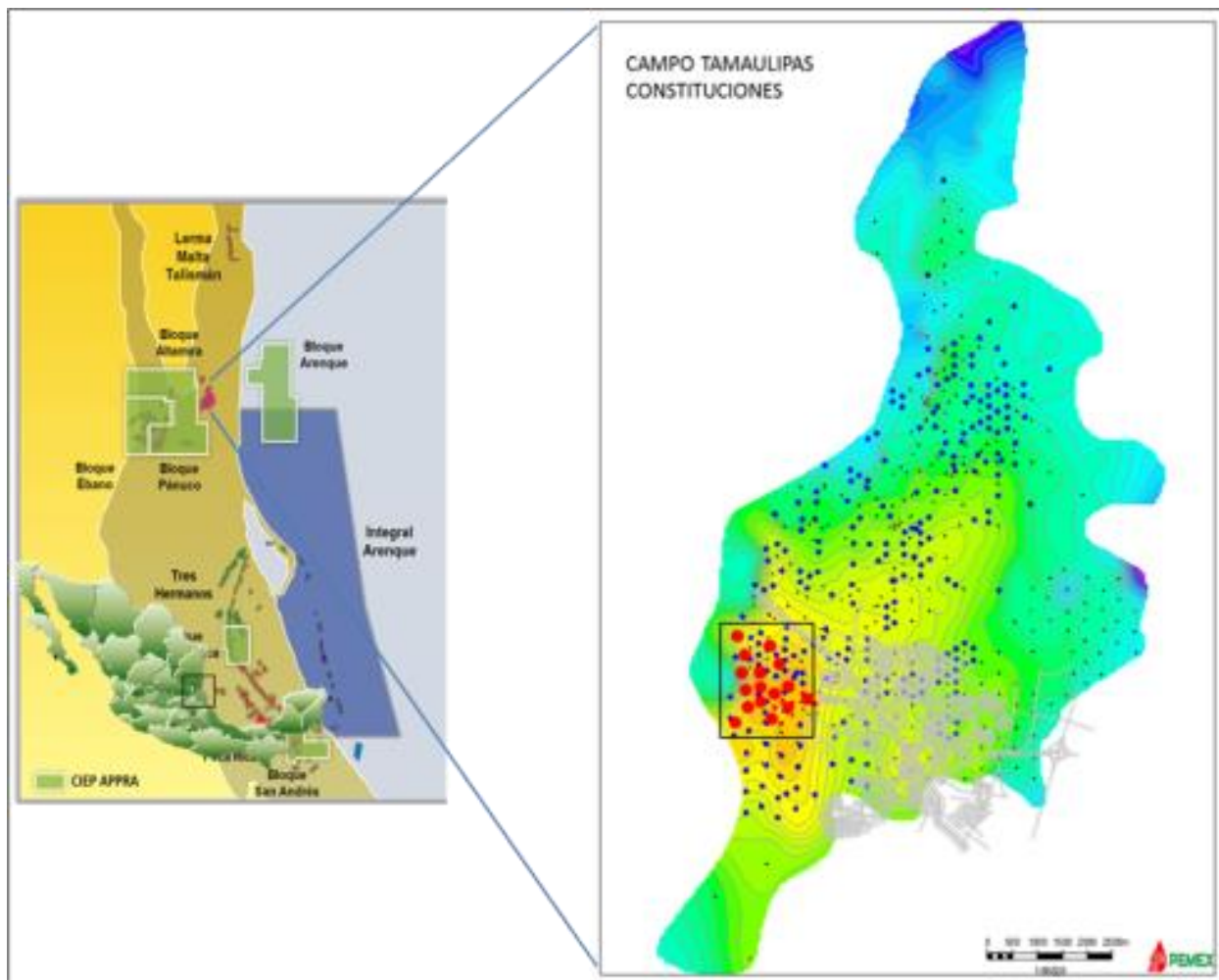


Figura 2. Localización geográfica del campo T-C. (PEMEX 2015)



### 1.3 INFORMACIÓN GENERAL DEL CAMPO

Dentro del sistema geológico que compone al campo T-C tenemos como roca sello calizas arcillosas, la roca almacenadora es proveniente de una caliza oolítica y las rocas generadoras son carbonatos arcillosos, las cuales cuentan con una porosidad entre 8 y 14%, una permeabilidad que oscila entre 0.1 y 15 mD. Los productos que aporta el campo T-C es un aceite pesado y gas húmedo amargo.

### 1.4 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA LOCAL

La columna estratigráfica reportada por pozos dentro del campo y sus profundidades promedio, es la siguiente:

Tabla 1. Columna estratigráfica tipo del campo T-C. (PEMEX 2001)

| <b>Formación</b>         | <b>Edad<br/>(Periodo y Época)</b>                        | <b>Cima<br/>(mbmr)</b> |
|--------------------------|--|------------------------|
| Palma Real Superior      | Oligoceno  | Aflora                 |
| Méndez                   | Cretácico Tardío ( <i>Campaniano-Maastrichtiano</i> )    | 900                    |
| San Felipe               | Cretácico Tardío ( <i>Coniaciano-Santoniano</i> )        | 1,150                  |
| Agua Nueva               | Cretácico Tardío ( <i>Turoniano</i> )                    | 1,200                  |
| Tamaulipas Superior      | Cretácico Temprano-Tardío ( <i>Albiano-Cenomaniano</i> ) | 1,300                  |
| Horizonte Otates         | Cretácico Temprano ( <i>Aptiano</i> )                    | 1,467                  |
| Tamaulipas Inferior      | Cretácico Temprano( <i>Berriasiano-Barremiano</i> )      | 1,470                  |
| Pimienta                 | Jurásico Tardío ( <i>Tithoniano</i> )                    | 1,850                  |
| San Andrés               | Jurásico Tardío ( <i>Kimmeridgiano</i> )                 | 1,950                  |
| Areniscas Constituciones | Jurásico Tardío ( <i>Oxfordiano</i> )                    | 1,980                  |
| Conglomerado Basal       | Pre-Jurásico   | 2,060                  |
| Basamento                | Pérmico y Triásico                                       | 2,085                  |

### 1.5 MAPA ESTRUCTURAL

El cuadro estructural de la cuenca de Tampico-Misantla comprende una serie de yacimientos descubiertos durante el siglo pasado entre los cuales se encuentra el Campo T-C, el cual tiene como objetivo la formación KTI dentro del Jurásico Tardío comprendido por debajo del horizonte Otates el cual actúa como sello natural; actualmente el campo es productor de petróleo crudo pesado y gas húmedo y se encuentra en su etapa de declinación.

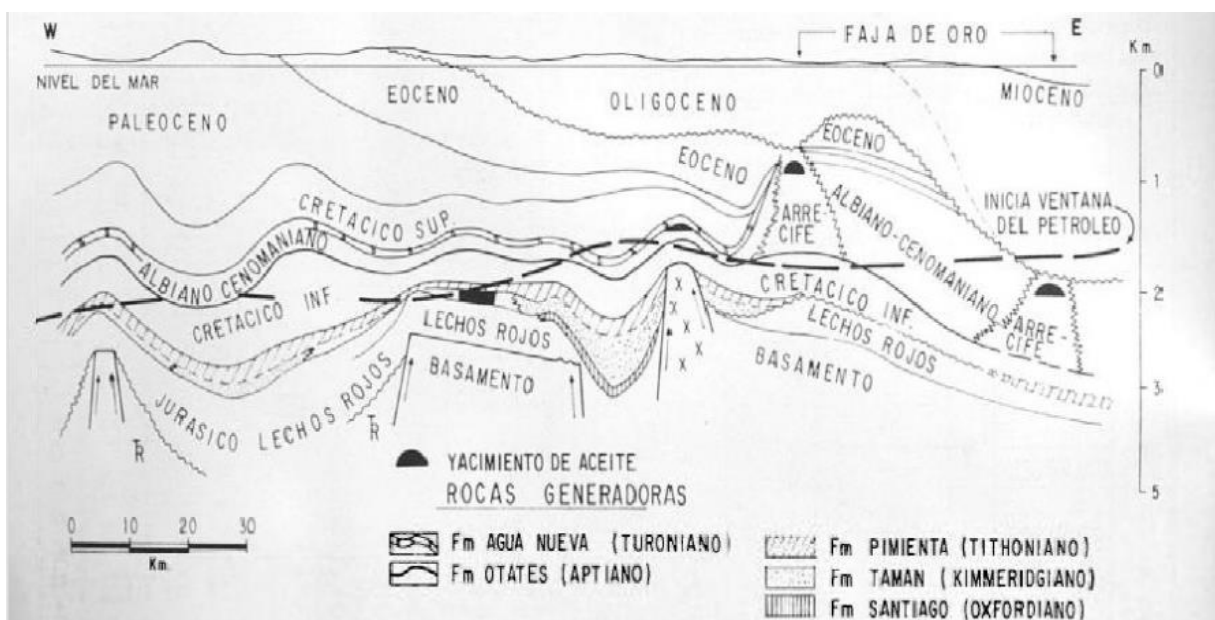


Figura 3. Sección transversal esquemática de la Cuenca Tampico-Misantla (González y Holguín, 1991).

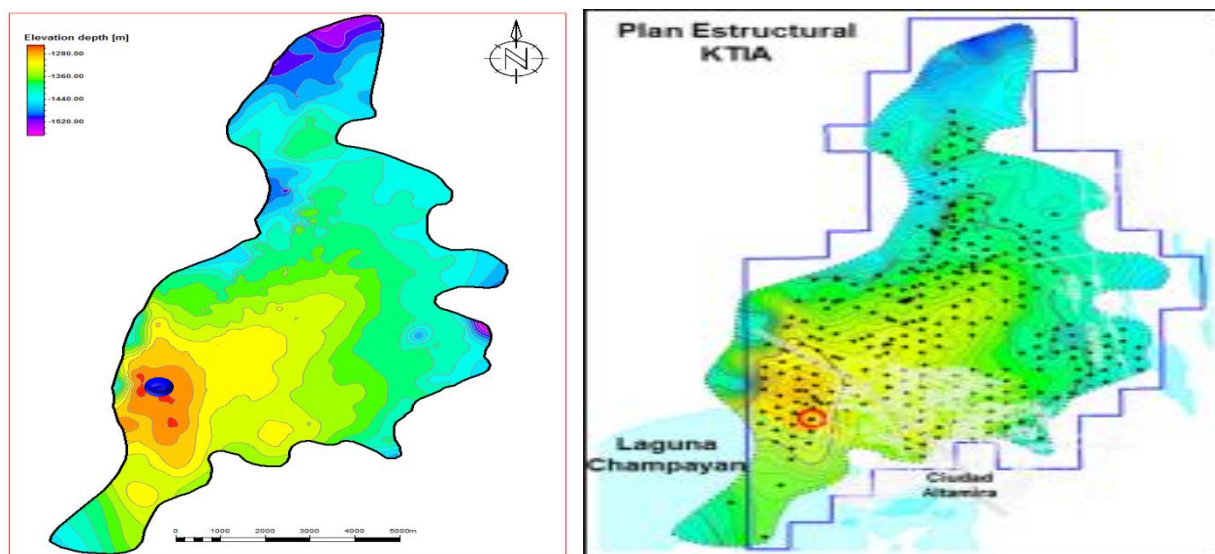


Figura 4. Plan estructural y elevación de la formación KTI. (PEMEX 2015)



## 1.6 CLASIFICACIÓN Y FUNCIONES DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

El desarrollo típico de los pozos a estudiar dentro del campo T-C consta de tres etapas las cuales se extienden alrededor de los 2500 m de profundidad, a su vez estas etapas se dividen y se clasifican de acuerdo a la función que realiza cada tubería de revestimiento utilizada dentro del pozo a continuación se muestran las clasificaciones más comunes de tuberías de revestimiento.

### 1.6.1 Tubería conductora

Es la primera tubería de revestimiento y la de mayor diámetro ya que por ella pasan todas las tuberías de revestimiento que se utilizan posteriormente, puede ser cementada o hincada al iniciar la perforación del pozo; sirve para sentar el primer cabezal en el cual se instalan las conexiones superficiales de control y circulación del fluido. Sus funciones son proteger mantos de agua dulce superficiales de la contaminación del fluido de perforación y guiar la sarta de perforación y el resto de las tuberías de revestimiento dentro del agujero. La profundidad de asentamiento varía de 20 a 250 m.

### 1.6.2 Tubería superficial

Es la tubería de diámetro inmediato inferior respecto a la tubería conductora. Sirve para aislar los acuíferos y manifestaciones de gas subsuperficiales o someros, controlar las zonas de pérdida de fluido de perforación cercanas a la superficie del terreno y sostiene las conexiones superficiales de control definitivas. Estas tuberías se introducen a profundidades que van de los 500 a 1000 m.

### 1.6.3 Tubería intermedia

Esta tubería aísla zonas que contengan presiones anormales de formación, flujos de agua, derrumbes y pérdidas de circulación generando un sellado del agujero en la profundidad que origina dificultades. Dependiendo de la profundidad del pozo o de los problemas que se encuentren durante la perforación, puede ser necesario colocar una sarta de tubería intermedia para controlar el problema.

### 1.6.4 Tubería de explotación

Una vez que se han colocado todas las tuberías de revestimiento necesarias, se coloca este revestimiento final a través del cual el pozo será explotado y controlado durante su vida productiva. Aísla las zonas de producción y debe soportar la máxima presión de fondo de la formación





productora. Si esta tubería se coloca en la parte superior de la formación productora resulta una terminación a agujero descubierto y si el extremo de esta tubería se coloca abajo del horizonte productor se tiene una terminación en agujero entubado y es necesario disparar la tubería para permitir la comunicación entre el interior de ella y la formación.

#### 1.6.5 Tubería corta (liner)

Es un tipo de tubería que no se extiende a la cabeza del pozo, es sostenida sobre la zapata de una tubería de revestimiento previa (de 50 a 150 m), extendiéndose hasta la profundidad total del pozo, permitiendo cubrir el agujero descubierto. Algunas de las razones para su utilización son:

- ✓ Control del pozo. Permite aislar zonas de alta o baja presión y terminar o continuar la perforación.
- ✓ Economía. Reduce costos debido a la menor cantidad de tubería usada.
- ✓ Rápida instalación. Los “liners” pueden ser colocados en el intervalo deseado mucho más rápido con respecto a las tuberías normales.
- ✓ Ayuda a corregir el desgaste de la última tubería de revestimiento cementada.
- ✓ Evita volúmenes muy grandes de cemento.
- ✓ Permite utilizar empacadores y tuberías de producción de mayor diámetro.
- ✓ Auxilia en la hidráulica durante la perforación, mejora las pérdidas de presión por fricción en la tubería de perforación permitiendo alcanzar mayores profundidades.

#### 1.6.6 Tubería complemento (Tie-back) y complemento corto (Stub)

El “Tie-back” una tubería que proporciona integridad al pozo desde la cima de la tubería corta hasta la superficie. Es un refuerzo para la tubería de explotación si se tienen altas presiones, fluidos corrosivos o si la tubería de explotación está dañada. El “Stub” funciona igual que el complemento y proporciona integridad por presión para extender la cima de la tubería corta sin llegar a la superficie.

### 1.6.7 Sin aparejo de producción (Tubingless)

Es una tubería de explotación que se extiende hasta la superficie y se utiliza como tubería de producción para la explotación de hidrocarburos, generalmente en diámetros menores de 4 1/2".

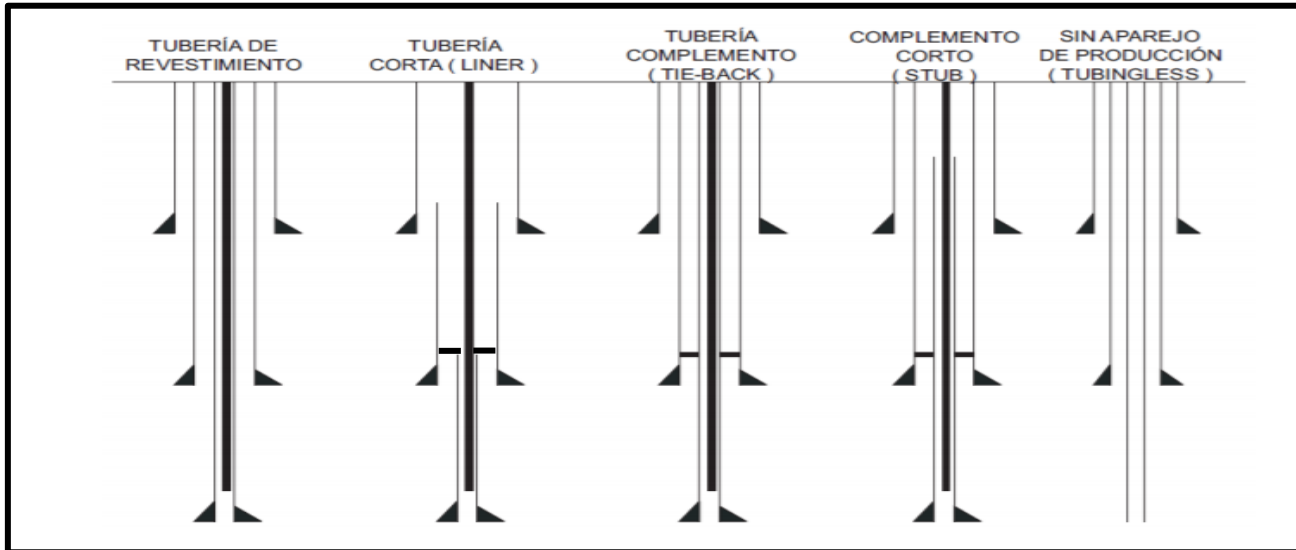


Figura 5. Clasificación de las tuberías de revestimiento. (Marco Antonio Olvera Bucio, 2016)

## 1.7 CLASIFICACIÓN DE POZOS DE ACUERDO A SU PROPÓSITO Y A SU TRAYECTORIA

La clasificación de los pozos se puede realizar de diferentes maneras pero una de las formas más comunes de hacerlo es de acuerdo al propósito con el cual se realiza la perforación de un pozo, dentro del campo T-C podemos encontrar la mayoría de estos tipos, los diez pozos seleccionados para este trabajo encuentran su definición como pozos de desarrollo los cuales son los pozos más comunes en esta época gracias a que el campo se encuentra en su etapa de declinación.

### 1.7.1 Pozos Exploratorios

Este tipo de pozos son los primeros en ser perforados en un proyecto. Su objetivo principal es determinar la presencia de hidrocarburos; así como, también la adquisición de información (datos geológicos tomados de recortes, núcleos y registros). De forma general la función de los pozos exploratorios es obtener la mayor información posible de la zona de interés.



### 1.7.2 Pozos de evaluación o delimitadores

Estos pozos son perforados entre la etapa de exploración y explotación para determinar y delimitar el tamaño del área de interés, las propiedades del yacimiento y cómo será la producción en los pozos. Debido a que la geología en el área es mejor conocida, la perforación y terminación de los pozos podrá ser mejor diseñada para evitar daños al yacimiento. Este tipo de pozos mejoran la calidad de la información permitiendo mejorar la predicción de la producción a lo largo del desarrollo del proyecto.

### 1.7.3 Pozos de desarrollo

Un pozo de desarrollo tiene como objetivo principal la extracción de hidrocarburos, siendo su prioridad la producción antes que la adquisición de información. Existen tres tipos de pozos de desarrollo los cuales son:

- Pozos de producción: Su objetivo es optimizar y maximizar la productividad de hidrocarburos.
- Pozos de inyección: Este tipo de pozos son usados para mantener la presión del yacimiento o para eliminar fluidos no deseados y con ello permitir la producción del yacimiento.
- Pozos de observación: Sirven para monitorear varios parámetros del yacimiento.

También se pueden clasificar de acuerdo a su geometría o tipo de trayectoria de la siguiente forma:

### 1.7.4 Pozos verticales

Un pozo vertical es aquel que su trayectoria se mantiene constante desde el inicio hasta el término de la perforación casi en ángulo recto o de 90° respecto al plano horizontal que contiene al equipo de perforación a la línea del norte geográfico. Ningún pozo “vertical” genera una línea paralela, pero se llama así porque trata de llegar al yacimiento una trayectoria con una inclinación nula respecto a la vertical, con un margen de algunos grados, aunque en términos geométricos no lo sea.

### 1.7.5 Pozos direccionales

Un pozo direccional es aquel en el cual se dirige la trayectoria desde la superficie hasta el objetivo determinado. La trayectoria de este tipo de pozos no es la que tomaría un pozo naturalmente, ya que para lograrlos se desvía de forma intencional la trayectoria con el uso de herramientas específicas e instrumentos para medir la trayectoria del pozo. Los ángulos de inclinación para este tipo de pozos deberán ser de 6 a 29 grados (bajo),



de 30 a 59 grados (medio) y de 60 a 79 grados (alto) con respecto a la vertical.

A su vez los pozos direccionales se pueden clasificar de acuerdo a la forma que toma el ángulo de inclinación descrito:

#### 1.7.6 Pozos tipo tangencial

La desviación deseada es obtenida a una profundidad relativamente llana y esta desviación se mantiene constante hasta el objetivo. Este tipo de pozo presenta muchas ventajas tales como:

- Configuración de la curva sencilla a lo largo de un rumbo fijo.
- Ángulo de inclinación moderado.
- Generalmente puntos de arranques someros.
- Menor riesgo de pega.

#### 1.7.7 Pozos forma de “J”

En este tipo de pozos el agujero comienza a desviarse más profundo y los ángulos de desviación son relativamente altos y se tiene una sección de construcción de ángulo permanente hasta el punto final.

#### 1.7.8 Pozos forma de “S”

En este tipo de pozo la trayectoria está configurada por una zona de incremento de ángulo, otra tangencial y una de disminución de ángulo. Estos tipos de pozos pueden ser de dos formas:

##### 1.7.8.1 Pozos tipo “S”

Constituido por una sección de aumento de ángulo, una sección tangencial y una sección de caída de ángulo que llega a cero grados ( $0^{\circ}$ ).

##### 1.7.8.2 Pozos tipo “S” especial

Constituido por una sección de aumento de ángulo, una sección tangencial intermedia, una sección de caída de ángulo diferente a cero grados ( $0^{\circ}$ ) y una sección de mantenimiento de ángulo al objetivo.

#### 1.7.9 Pozos inclinados o de alto ángulo

Son pozos iniciados desde superficie con un ángulo de desviación predeterminado constante, para lo cual se utilizan equipos especiales inclinados que pueden moverse de  $90^{\circ}$  de la horizontal hasta un máximo de  $45^{\circ}$ .

### 1.7.10 Pozos horizontales

Un pozo horizontal es un caso particular de un pozo direccional ya que utiliza las mismas técnicas de perforación. Se caracteriza ya que su trayectoria de desviación se aproxima a la horizontal o cuyo ángulo excede los  $85^\circ$  respecto a la vertical.

### 1.7.11 Pozos multilaterales

Al igual que los pozos horizontales, es un caso particular de la perforación direccional. Un pozo multilateral es una serie de pozos ramificados, los cuales surgen de un pozo central o principal y puede tener tantas ramas como la tecnología y el yacimiento lo permita.

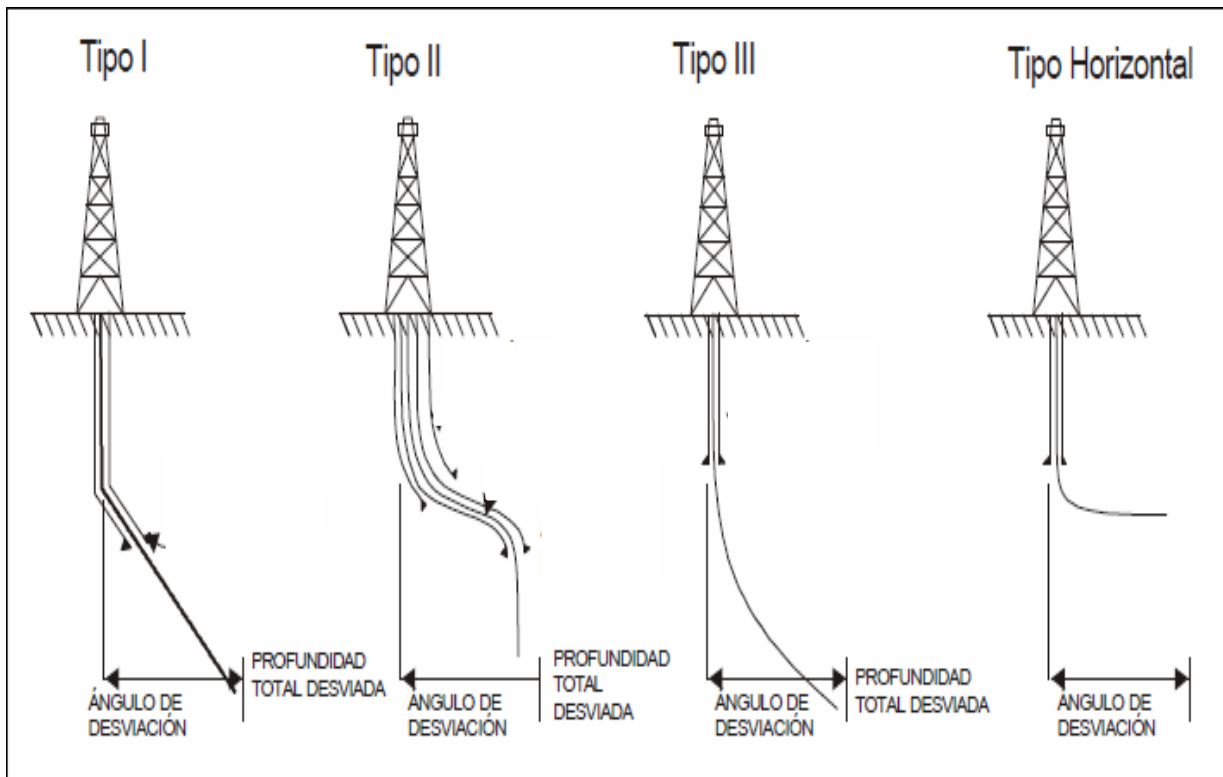


Figura 6. Clasificación de pozos en base a su trayectoria, (tipo J-tipo I, tipo S-tipo II, tipo tangencial-tipo III, tipo horizontal).

## 1.8 SELECCIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL POZO

Una vez que se determinan los puntos de asentamiento de las tuberías de revestimiento, se selecciona el diámetro de la TR de explotación con la cual se define la terminación y consecuentemente el aparejo de producción del pozo en base al gasto estimado y a las presiones de yacimiento.

Para proponer los diámetros se toma en cuenta la carta de selección de tuberías de revestimiento y diámetros de barrena la cual es la base para determinar el arreglo del pozo, dicha carta fue publicada en la revista de especialidad Oil & Gas magazine en octubre de 1978.

Dentro del campo T-C la geometría predominante en los diez pozos que se toman para el estudio de este trabajo inicia con una barrena de 17 1/2" con una tubería de revestimiento de 13 3/8", para la segunda etapa observamos una barrena de 12 1/4" y un revestimiento de 9 5/8" para la etapa de producción se utiliza una barrena de 8 1/2" para terminar con una tubería de revestimiento de 7".

En la Figura 7, se muestran diferentes diámetros de barrena que se pueden utilizar de acuerdo al diámetro de la tubería de producción, y es una guía para la selección de la geometría del pozo.

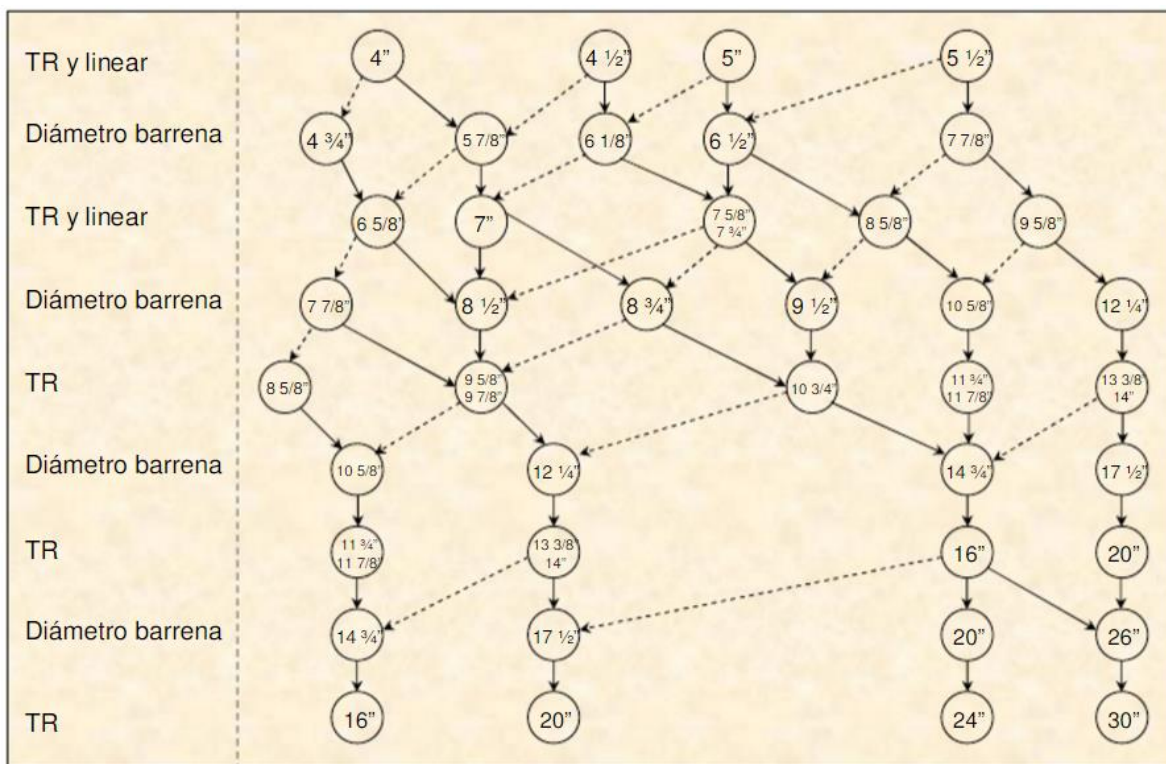


Figura 7. Carta de selección de tuberías de revestimiento y diámetros de barrena (Oil & Gas Magazine, Octubre 1978).

## 1.9 METODOLOGÍA VCDSE

Es importante mencionar que cada proyecto de perforación realizado dentro de Petróleos Mexicanos debe apegarse a la metodología conocida como VCDSE la cual está presente desde el inicio del proyecto hasta su conclusión e incluso el estudio de esta metodología se extiende hasta la evaluación pos finalizada, es por esto que los pozos perforados dentro del campo T-C se desarrollan ligados a esta metodología la cual se analiza parte a parte a continuación.

### 1.9.1 Proceso de ejecución de proyectos

En la ejecución de todo proyecto se debe pasar por cinco fases: Visualización, Conceptualización, Definición, Seguimiento y Evaluación (desde Ejecución a Operación y Abandono). Estas fases abarcan desde el nacimiento del proyecto, con la identificación y análisis de la oportunidad y determinación de las opciones factibles de ejecución (Visualización), pasando por la selección de la mejor opción considerando los puntos de vista técnico, económico y de riesgo (Conceptualización) y el diseño básico, especificación detallada de los elementos principales y establecimiento de la estrategia de ejecución (Definición). Con todo lo anterior y una vez aprobados los recursos financieros, prosiguen las etapas ejecutoras, comenzando por la materialización de la estrategia de ejecución con el diseño detallado de todos los elementos y/o componentes del proyecto, contrataciones, procura de materiales y equipos (Ejecución), para poder iniciar la operación comercial del proyecto (Operación), hasta agotar su vida útil comercial y finalmente proceder a su culminación (Abandono).



Figura 8. Proceso del proyecto basado en la metodología VCDSE. (PEMEX 2015 Metodología VCDSE)

### 1.9.2 El proceso FEL

La Metodología FEL, por sus siglas en inglés, (Front End Loading) o VCD por sus fases (Visualización, Conceptualización y Definición) es una práctica internacional utilizada para diseñar y documentar proyectos de explotación y oportunidades de negocio considerando la incertidumbre de la información usada para el diseño y el riesgo asociado. La metodología busca incrementar la eficiencia operativa y la productividad de la inversión, en base a una mayor certeza en el diseño y



planeación de proyectos. La fase de planeación en sí es el factor de mayor impacto para determinar el éxito del proyecto. De su aplicación se obtienen los siguientes beneficios:

- Minimizar cambios de alcance, desviaciones en tiempo y costo en la ejecución de los proyectos de explotación, incorporando criterios probabilísticos.
- Identificar la mejor alternativa para desarrollar la Oportunidad de Negocio.
- Identificación temprana de riesgos y cuantificación de su impacto en el resultado de la explotación de los campos, para mejorar sensiblemente los procesos de toma de decisiones.
- Establecer planes de adopción de innovaciones tecnológicas clave para nuevos desarrollos o revitalización de campos existentes y maduros. Una Oportunidad de Negocio puede surgir de:
  - La estrategia corporativa del negocio, el Plan de Negocios de Pemex y el Plan Nacional de Desarrollo.
  - La identificación de nuevas oportunidades y estrategias que optimicen la explotación de los yacimientos.
  - La identificación e incorporación de tecnologías enfocadas al incremento del factor de recuperación, sostener e incrementar la producción.
  - La incorporación de nuevos campos al proceso de producción.

El Proceso Integral de Diseño de Proyectos de Explotación bajo la metodología FEL, incorpora las mejores prácticas para la evaluación y selección de la mejor alternativa de explotación, con un grado de definición y riesgo aceptable para los objetivos del negocio, en donde la componente principal y preponderante es el proceso de planeación que consta de tres fases:

- FEL I/Visualización. Asegurar la alineación estratégica, generar y evaluar escenarios de explotación definiendo la factibilidad técnica, económica y de sustentabilidad.
- FEL II/Conceptualización. Seleccionar la alternativa/escenario de proyecto más viable y que agregue el máximo valor.
- FEL III/Definición. Definir el alcance, plazo y programa de ejecución del proyecto.
- Seguimiento. Esta es la fase correspondiente a la Ejecución, en ella se materializa la generación de valor durante la perforación y la terminación del proyecto pozo. Aquí, el equipo VCDSE de pozos realiza un seguimiento estratégico al desarrollo operativo con la finalidad de que se cumpla con lo programado. De existir desviaciones en lo físico y económico no contempladas en los planes de contingencia diseñados, éstas son consultadas y resueltas



con el equipo VCDSE que diseñó el proyecto con el fin de garantizar la mejor solución al pozo.

- Evaluación. En esta fase se documentan todas las lecciones aprendidas, las buenas prácticas aplicadas, las nuevas tecnologías utilizadas y se realiza la evaluación técnica económica de lo programado versus lo real, la evaluación se realiza en cada una de las especialidades que conforman el equipo VCDSE y se genera el Documento de Evaluación del Proyecto (DEP-E), lo cual permite una buena retroalimentación y mejora para el siguiente proyecto pozo. Se evalúa el comportamiento con los Indicadores de Medición del Proyecto pozo y se genera el Informe final llamado también documento Post-Proyecto.

El proceso evolutivo de la aplicación de la metodología FEL en PEMEX, y la definición de las etapas de este proceso metodológico contempladas en las regulaciones de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH), dieron lugar a nombres específicos para cada una de las fases y cuya equivalencia se muestra en el siguiente diagrama (Figura 9).

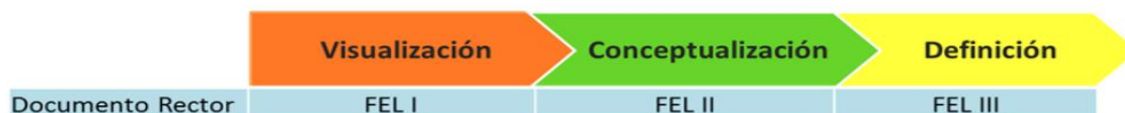


Figura 9. Nombres equivalentes de las fases en la Metodología FEL. (PEMEX 2015, Metodología VCDSE)

Para cada fase se realiza un conjunto de actividades que permiten lograr el objetivo de la misma. Cabe resaltar que las tres primeras fases de la ejecución de un proyecto; es decir, la Visualización, la Conceptualización y la Definición, se llevan a cabo mediante la aplicación de la Metodología FEL ya que corresponden a la etapa de planeación y formulación del proyecto, donde se determinan las características definitivas del mismo y los beneficios para la empresa, con el fin de obtener los recursos técnicos, físicos y financieros para su ejecución. A continuación, se describe brevemente cada una de las fases de la Metodología FEL.

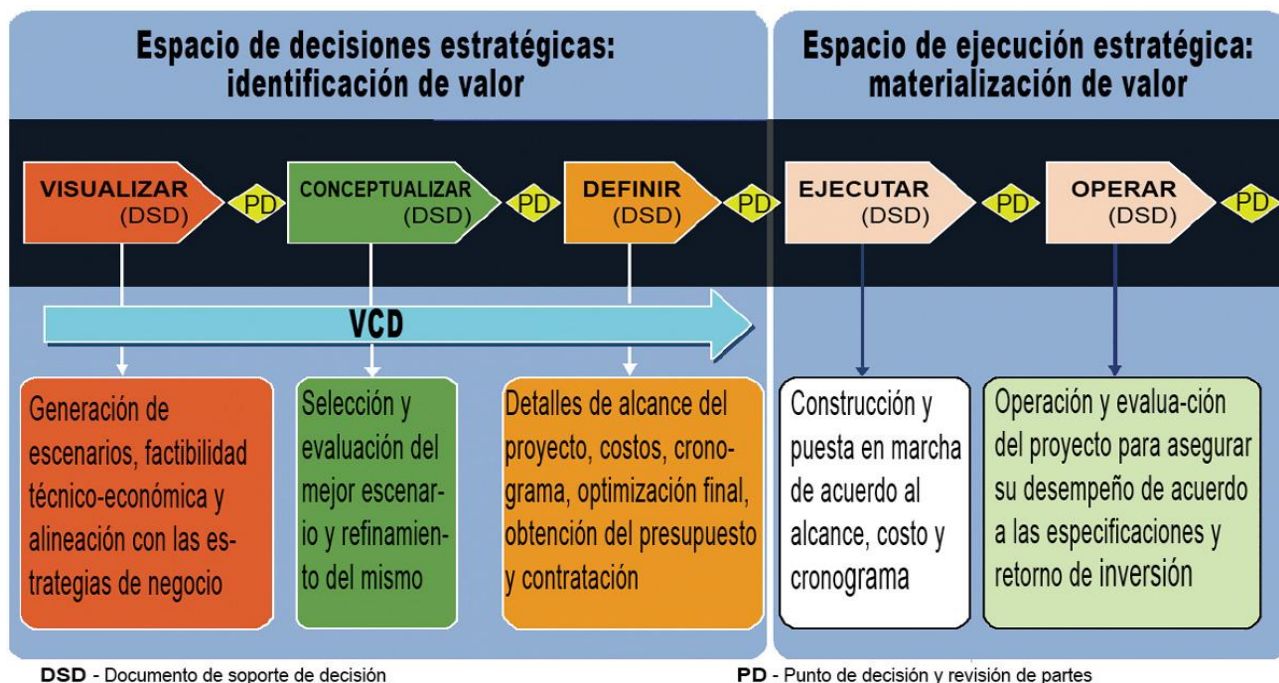


Figura 10. La Metodología FEL y sus fases para el diseño de proyectos. (PEMEX 2015, Metodología VCDSE)

### 1.9.3 FEL I/Visualización

El objetivo de esta fase es identificar y evaluar los posibles escenarios de explotación más factibles, que aseguren su viabilidad técnica, económica, ambiental y social, manteniendo su alineación con la estrategia corporativa. El desarrollo de la fase se basa principalmente en la identificación de riesgos, el desarrollo de modelos de pronósticos, el diagnóstico e identificación de soluciones tecnológicas y la evaluación económica con rango de precisión de los estimados de costos Clase V (-30% a +50%), para la evaluación y jerarquización de escenarios. Es la fase de generación de oportunidades, categorías de decisiones y opciones para las diferentes áreas de subsuelo, pozos, instalaciones y procesos que servirán de base para la construcción de escenarios de explotación y casos de negocios que pueden generar valor sobre el caso documentado de un proyecto.

### 1.9.4 FEL II/Conceptualización

El objetivo de esta fase es seleccionar el mejor escenario a través de la evaluación técnico-económica y cuantificación de incertidumbres y realizar el diseño conceptual del escenario seleccionado. Para ello, se evalúan con más profundidad los escenarios identificados y las soluciones tecnológicas incorporadas en la fase FEL I. Esta fase se ha estructurado en siete etapas. En esta fase se construyen los modelos subsuelo-superficie y económico para la optimización de escenarios en costo, tiempo y tecnología, se estiman los costos

con un rango de precisión Clase IV (-20% a +35%) o Clase III (-15% a +25%), se selecciona el mejor escenario y se desarrollan las ingenierías conceptuales del mismo.

### 1.9.5 FEL III/ Definición

En la fase FEL III, se define con mayor precisión el costo y tiempo de ejecución de la alternativa seleccionada para su posterior aprobación y solicitud de presupuesto. Se elabora el Plan de Explotación, la ingeniería básica de instalaciones e ingeniería de detalle de pozos, se detalla el Plan de Ejecución del Proyecto: plan de actividad física en pozos e instalaciones, estrategia de contratación, plan de proyectos de recuperación adicional, plan de mitigación de riesgos e incertidumbre, estrategia de operación y plan de desarrollo sustentable. Se realiza la evaluación económica final del proyecto considerando los estimados de costos con rango de precisión Clase II (-10% a +15%). Esta fase se ha estructurado en cinco etapas, (figura 11).

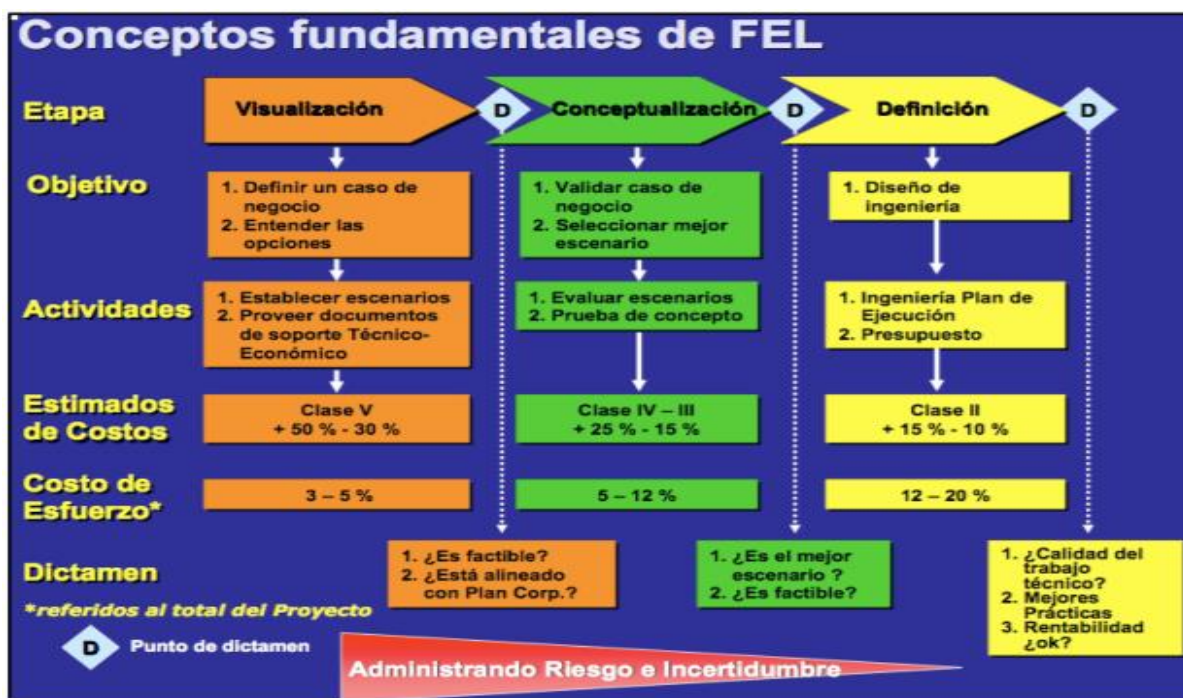


Figura 11. Conceptos fundamentales de la metodología FEL. (PEMEX 2015, Metodología VCDSE)

### 1.9.6 ESTIMADO DE COSTOS

Es un pronóstico de los costos de los diferentes elementos que se integran en el proyecto o programa de alcance definido y el cual respalda la toma de decisiones de cada una de las etapas de dicho proyecto.

Un estimado es una precisión de los costos en que incurrirá en la ejecución de un proyecto incluyendo el diseño, la procura y el plan de construcción.



La finalidad de un estimado dentro del proyecto del campo T-C, es transformar la información de ingeniería en un costo de ejecución según el cronograma de trabajo previsto, y establecer un presupuesto comparativo para ser usado posteriormente como un control de costos del mismo.

#### 1.9.6.1 Costos Clase V

Es una estimación basada en una definición a “Grosso Modo” de un proyecto y de sus unidades de proceso (también llamado estimado conceptual, u orden de magnitud, utilizado para fines de planificación de proyectos), donde la información disponible se limita esencialmente al tamaño, capacidad, ubicación geográfica, especificación preliminar de los insumos y productos, fechas estimadas de inicio y finalización. Este tipo de estimado se prepara cuando se ha determinado la necesidad de un bien o servicio y/o se ha iniciado su conceptualización de forma que virtualmente no se ha iniciado la ingeniería de un proyecto, por lo tanto son de gran importancia tanto el juicio como la experiencia del estimador. Su precisión y confiabilidad dependen de la pericia con que se evalúe, factorice o escale la información de costos históricos o estadísticos de proyectos similares, por lo tanto la responsabilidad de su exactitud dependen del criterio y juicio apropiado del estimador al evaluar el riesgo de sobrepasarse. La probabilidad de que los costos finales resulten dentro de más o menos un 10% es de un 15%.

#### 1.9.6.2 Costos Clase IV

Un estimado de costos clase IV o estimado de costos para fines de selección del proyecto, es un pronóstico realizado antes de finalizar “las bases de diseño” basado solamente en la definición de unidades de procesamiento principales o de secciones importantes de unidades de procesamiento. Una vez que la ingeniería conceptual ha sido completada y se ha avanzado en las especificaciones de diseño básico, se han concluido los estudios para preseleccionar el tipo y tamaño de los equipos mayores y se han preparado los diagramas principales de flujo, se pueden proceder a la elaboración de un estimado clase IV. La probabilidad de que los costos finales resulten de más o menos un 10% del estimado es de un 30%.

#### 1.9.6.3 Costos Clase III

El estimado de costos clase III es un pronóstico realizado después de que la “base de diseño” del proyecto se ha finalizado. Se han concluido también los estudios para la selección del tipo, tamaño y parámetro de diseño para las plantas de procesamiento y otras unidades y se ha comenzado el trabajo de diseño de equipos básicos incluyendo las especificaciones de diseño. La ingeniería básica se ha completado en un 60% y la restante se encuentra en ejecución. La probabilidad de que los costos finales resulten dentro de más o menos 10% del estimado, es del 60%.

#### 1.9.6.4 Costos Clase II

El estimado de costos clase II es un pronóstico realizado después de que la “base de diseño” del proyecto se ha finalizado. Se han concluido también los estudios para la selección del tipo, tamaño y parámetro de diseño para las plantas de procesamiento y otras unidades y se ha comenzado el trabajo de diseño de

equipos básicos incluyendo las especificaciones de diseño. La ingeniería básica se ha completado en un 100%. La probabilidad de que los costos finales resulten dentro de más o menos 10% del estimado, es del 80%.

### 1.9.6.5 Costos Clase I

El estimado de costos clase I o estimado para contratación de obras y servicios es un pronóstico realizado cuando el avance de la ingeniería de detalle desarrollada es más de un 90% y es tal que se dispone del diseño completo de fundaciones, estructuras, despliegues de líneas y tuberías y se conocen los cómputos métricos de los materiales de construcción. Se han colocado los órdenes de compra de la mayor parte de los equipos críticos y principales o se tienen cotizaciones firmes de los mismos. La probabilidad de que los casos finales resulten dentro de más o menos de 10% del estimado es del 90%.

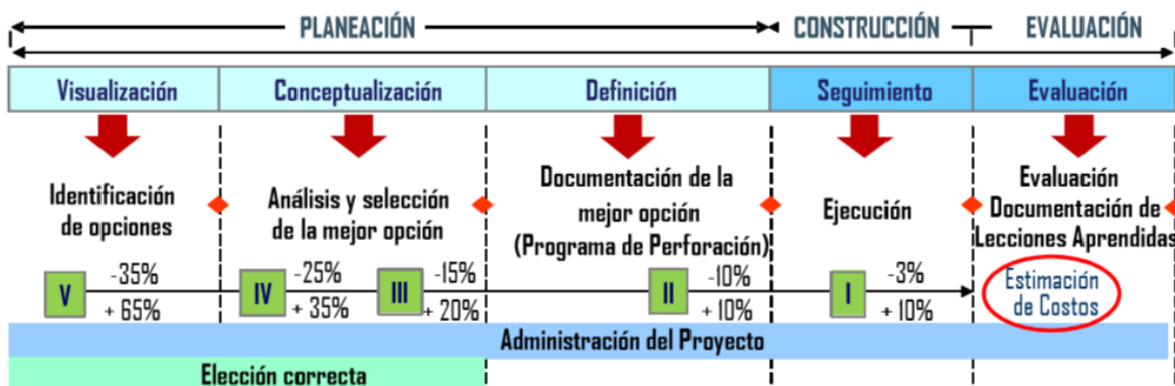


Figura 12. Estimación de costos (PEMEX 2015, Metodología VCDSE)

### 1.9.7 Importancia de la Metodología FEL

La Metodología FEL se centra en la correcta y completa realización de las actividades correspondientes a las etapas tempranas de la ejecución del proyecto, procurando la máxima identificación de valor con el mínimo costo.

Es en estas fases tempranas, cuando se deben analizar con detalle las oportunidades y determinar, evaluar y diseñar planes de mitigación de riesgos, para garantizar la selección de la mejor opción de ejecución antes de comprometer grandes cantidades de recursos.

En la Figura 13, la cual se muestra a continuación, puede verse gráficamente la relación entre la identificación y captura de valor (curva gris) versus el costo o nivel de esfuerzo físico y financiero asociado (curva amarilla).

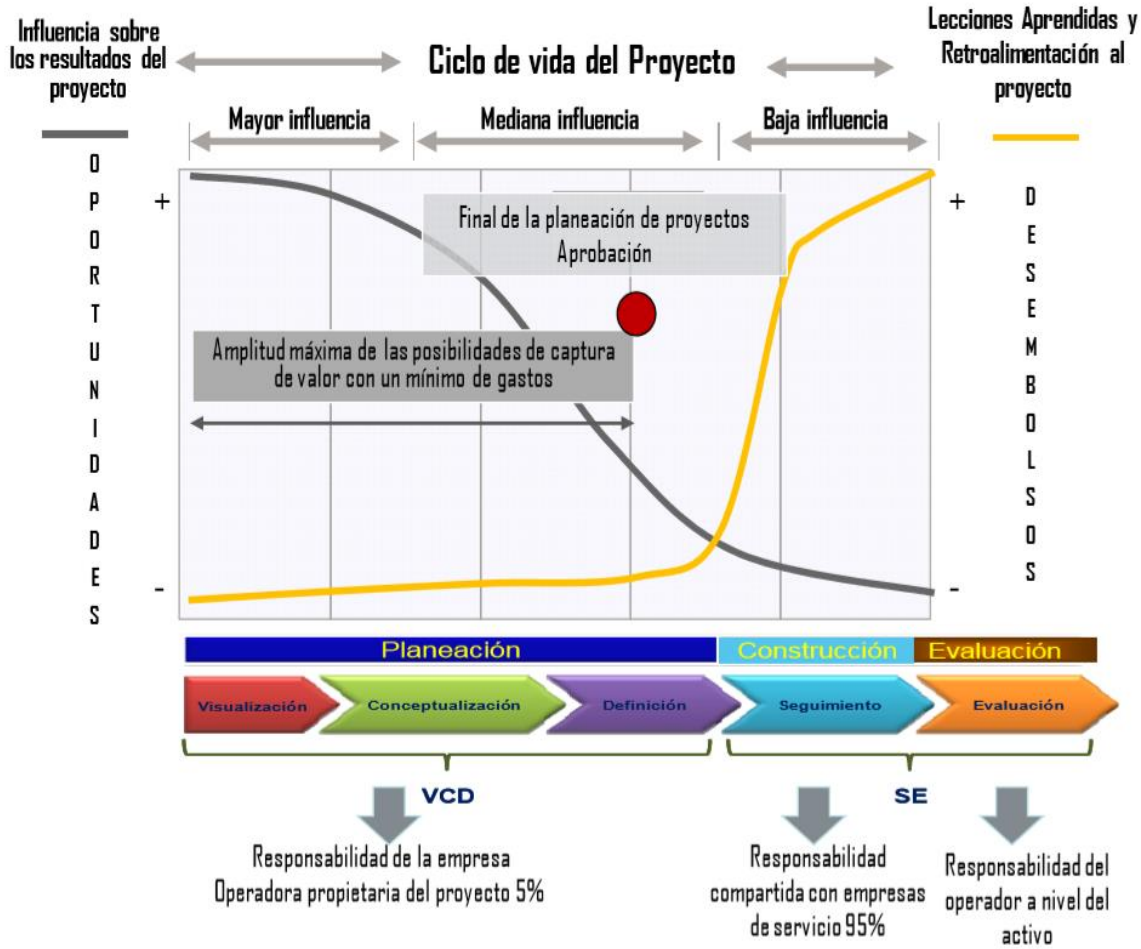


Figura 13. Relación típica de valor vs costos en proyectos asociados a la metodología FEL. (PEMEX 2015, Metodología VCDSE)

Puede verse, que en las etapas tempranas del proyecto, correspondientes a las fases de la Metodología FEL, la identificación del valor es mayor, mientras los costos asociados son los menores. A medida que avanza en el desarrollo del proyecto, la agregación de valor es cada vez menor mientras que el uso de recursos es mayor. Cuando se llega al punto de quiebre, que corresponde al otorgamiento de los contratos de procura y construcción de las instalaciones del proyecto, cualquier esfuerzo de mejoramiento de valor puede significar un alto nivel de costos, con una menor proporción en la captura de valor para el proyecto. De ahí la importancia de asegurar la correcta y completa realización del FEL de todos y cada uno de los proyectos, para llevarlos a un nivel de definición adecuado, antes de solicitar los fondos para su ejecución, ya que está plenamente demostrado que la ejecución de proyectos con un FEL incompleto, genera cambios importantes, con las consecuentes desviaciones en calidad, costo y tiempo, afectando el logro de los objetivos planeados y la rentabilidad integral del portafolio de proyectos de la empresa. Por otra parte, también está plenamente



demostrado que el uso de la Metodología FEL en el desarrollo de proyectos genera importantes beneficios a las empresas, entre los cuales podemos mencionar:

- Propicia el trabajo en equipo, con la participación activa de todas las áreas y disciplinas involucradas en los proyectos, donde ninguna de ellas es protagonista, sino que todas aportan en forma armónica sus conocimientos y experiencias, integrando así todas las funciones y requerimientos necesarios, en pro del correcto y completo desarrollo del proyecto.
- Mejora el flujo de información entre las actividades de una fase y la siguiente, asegurando continuidad en el proceso de formulación del proyecto.
- Incorpora la identificación y análisis de las incertidumbres y riesgos, desde las fases tempranas, para prever medidas de administración y mitigación, lo cual asegura una visión más completa en la evaluación de las opciones.
- Brinda información más completa y consistente a los niveles decisivos, para la conformación de un portafolio de proyectos más rentable y adecuadamente jerarquizada.
- Facilita el registro y divulgación de las mejores prácticas y lecciones aprendidas.
- Mejora la posibilidad de una ejecución física con alta calidad, mínimos cambios, y al menor costo, maximizando la captura del valor y una mejor rentabilidad de las inversiones.

Investigaciones realizadas a nivel internacional indican que desarrollar una buena etapa de la Metodología FEL en los proyectos, puede reducir los costos entre 10 y 20%, si se comparan con el costo promedio de proyectos similares con un FEL deficiente. Los beneficios de la aplicación del FEL en los proyectos, se ven mejorados sustancialmente cuando son complementados con un conjunto de prácticas de mejoramiento de valor, simplificación y estandarización de normas, especificaciones y procedimientos, de racionalización y normalización de actividades, entre otras.

## 1.10 LÍMITE TÉCNICO

Es definido como el proceso mediante el cual se puede realizar una operación impecable empleando la mejor gente, las mejores prácticas, la mejor tecnología y una planeación adecuada.

Se busca alcanzar un nivel de desempeño definido como el “mejor tiempo posible para la perforación de un pozo dentro de un campo”, identificando las mejores prácticas empleadas en el mismo campo, utilizando las lecciones aprendidas, la experiencia, el conocimiento y habilidades del personal.

El desempeño del Proyecto es revisado y analizado para identificar el mejor comportamiento realizado en el mismo. Este análisis definirá lo que es posible de lograr en una forma realista.

El Límite Técnico debe conceptualizarse como una forma de “trabajar más inteligentemente”. No debe interpretarse como una forma de hacer las cosas acortando caminos, comprometiendo la seguridad, o estableciendo retos y metas irreales.

Esta metodología es aplicada principalmente en pozos de desarrollo, donde se cuenta con suficiente información de pozos de correlación.

Para los pozos exploratorios, en los que no se tienen antecedentes del área, se puede llevar a cabo con una estadística de pozos análogos de otras regiones para la obtención de los mejores tiempos de cada etapa o actividad específica.

En esencia el límite técnico es la diferencia existente entre la duración de la perforación de un pozo y el Tiempo Removible. Existen casos donde se podrán lograr reducciones de tiempos adicionales a través de la aplicación de Tecnologías que agreguen valor al proceso. Estas reducciones adicionales serán tomadas en consideración para la determinación del Límite Técnico, (Figura 14).

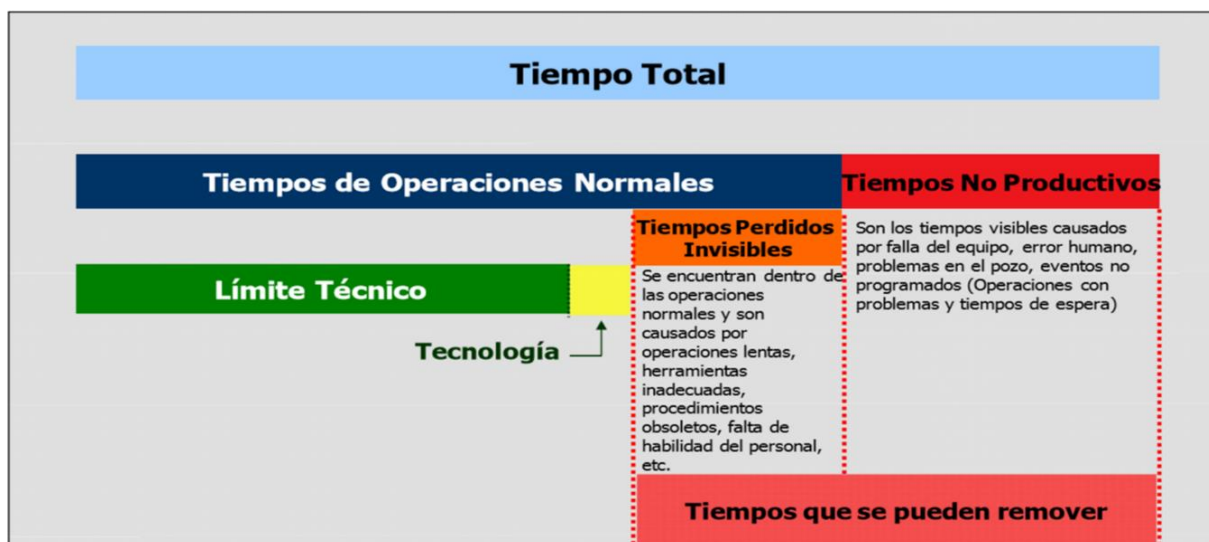


Figura 14. Límite Técnico y su impacto en los tiempos de perforación. (PEMEX 2015, Metodología VCDSE)





### 1.10.1 Metodología de Límite Técnico

Esta consiste en llevar a cabo un análisis de tiempos de los pozos de correlación, pero para fines de este proyecto son estudiados los diez últimos pozos realizados durante el ejercicio 2015 en el campo T-C, con fin de identificar el mejor desempeño pasado. Esa información definirá lo que es posible de alcanzar en los pozos futuros. En esencia, la determinación del Límite Técnico consiste en restar del tiempo real en que se han perforado los pozos, los tiempos definidos como Tiempos Removibles, así como las reducciones de tiempos que pueden obtenerse mediante la aplicación de tecnologías adecuadas.

Para la aplicación de la metodología es necesario seguir los pasos siguientes:

- Definir la geometría del pozo a perforar
- Identificar los pozos de correlación.
- Analizar los tiempos reales por etapa/actividad.
- Construir la gráfica de Tiempos Híbridos con los mejores tiempos de cada etapa/actividad.
- Eliminar los NPT's y NPIT's.
- Seleccionar innovaciones tecnológicas aplicadas al proceso de Perforación.
- Obtener Límite Técnico.
- Taller de Límite Técnico.
- Seguimiento y Evaluación.

Un KPI (*key performance indicator*), conocido también como indicador clave o medidor de desempeño o indicador clave de rendimiento, es una medida del nivel del desempeño de un proceso. El valor del indicador está directamente relacionado con un objetivo fijado de antemano y normalmente se expresa en valores porcentuales.

Un KPI se diseña para mostrar cómo es el progreso en un proceso o producto en concreto, por lo que es un indicador de rendimiento. Las KPIs muestran si las acciones desarrolladas están dando sus frutos o si, por el contrario, no se progresa como se esperaba.

Los indicadores clave de desempeño son mediciones utilizadas para cuantificar el grado de cumplimiento de los objetivos; reflejan el rendimiento de una organización y generalmente se recogen en su plan estratégico.

En este trabajo se seleccionan varios indicadores de desempeño como son cada una de las secciones específicas en las cuales se divide el proceso de perforación y el proceso de cambio de etapas, siete y once indicadores respectivamente.

## CAPÍTULO II

### 2.1 DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES MEDULARES EN LA ETAPA DE PERFORACIÓN

El trabajo se inicia prestando atención al oficio **PEP-DG-CGPI-003-2017** de fecha: 5 de enero del 2017. No obstante; el oficio se basa en el desempeño de actividades de perforación en el período: Agosto – Noviembre del año 2016, en los denominados NPT's y KPI's, en el cual se explica que el reto para el área de perforación en el año 2017 es alcanzar un 56% de tiempos efectivo en la fase específica perforación del proceso macro de perforación del pozo.

El oficio realiza una exhortación a una disminución de tiempos en las siete (7) actividades medulares del proceso de perforación las cuales se describen a continuación:

1. Estacionado
2. En superficie
3. Circulando
4. Repasando
5. Sacando TP
6. Metiendo TP
7. Perforando

Esto como parte de las estrategias para optimizar el proceso de perforación y contribuir a la disminución de costos de operación.

Dentro del proceso de perforación de un pozo se encuentran actividades medulares las cuales por lo general son repetitivas en dicho proceso, es por eso que se requiere clasificar dichas actividades a fin de llevar el análisis más a fondo y con esto encontrar los tiempos no esperados, en cuales se está siendo demasiado efectivo y en cuales se está por debajo del tiempo estimado según sea el caso.

Todas estas operaciones son generales y se encuentran dentro de cualquier etapa de perforación de cualquier pozo.

Tabla 2. Actividades medulares de la fase de perforación en el desarrollo de un pozo (ejemplo pozo 105, etapa 17 ½" – 13 3/8").

| pozo | estacionado | superficie | circulando | repasando | sacando TP | metiendo TP | perforando | total  |
|------|-------------|------------|------------|-----------|------------|-------------|------------|--------|
|      | (horas)     |            |            |           |            |             |            |        |
| 105  | 8.50        | 3.30       | 2.50       | 1.50      | 3.50       | 3.00        | 4.20       | 26.50  |
|      | 7.70        | 2.99       | 2.26       | 1.36      | 3.17       | 2.72        | 3.80       | 24.00  |
| %    | 32.08       | 12.45      | 9.43       | 5.66      | 13.21      | 11.32       | 15.85      | 100.00 |



## 2.2 ANÁLISIS DE TIEMPOS DE ETAPAS DE PERFORACIÓN

Una vez que se definen las actividades principales en las cuales están clasificados los tiempos operativos se procede a reportar en tablas la duración en tiempo de cada operación, a su vez estos tiempos fueron normalizados a 24 horas al día para así poder definir con certeza el porcentaje de desviación de acuerdo al plan ya sea a favorable o con imprevistos.

En el estudio se encuentran reportados los tiempos operativos de las tres etapas de perforación, las cuales comprenden los diámetros de barrena de 17 1/2", 12 1/4", 8 1/2", de los diez (10) pozos encuesta del campo T-C.

Tabla 3. Tiempos reales de la etapa conductora 13 3/8".

| Etapa 1                     | 13-3/8" |         |    | pozo | estacionado | superficie | circulando | repasando | sacando TP | metiendo TP | perforando | total  |
|-----------------------------|---------|---------|----|------|-------------|------------|------------|-----------|------------|-------------|------------|--------|
| ETAPA CONDUCTORA DE 17-1/2" |         | (horas) |    |      |             |            |            |           |            |             |            |        |
|                             |         | 100     | 1  | 105  | 8.50        | 3.30       | 2.50       | 1.50      | 3.50       | 3.00        | 4.20       | 26.50  |
|                             |         |         |    |      | 7.70        | 2.99       | 2.26       | 1.36      | 3.17       | 2.72        | 3.80       | 24.00  |
|                             |         |         |    | %    | 32.08       | 12.45      | 9.43       | 5.66      | 13.21      | 11.32       | 15.85      | 100.00 |
|                             |         | 100     | 2  | 205  | 10.00       | 4.00       | 2.50       | 3.50      | 5.00       | 3.50        | 20.00      | 48.50  |
|                             |         |         |    |      | 4.95        | 1.98       | 1.24       | 1.73      | 2.47       | 1.73        | 9.90       | 24.00  |
|                             |         |         |    | %    | 20.62       | 8.25       | 5.15       | 7.22      | 10.31      | 7.22        | 41.24      | 100.00 |
|                             |         | 99      | 3  | 305  | 0.00        | 4.50       | 0.50       | 0.00      | 1.50       | 0.00        | 13.00      | 19.50  |
|                             |         |         |    |      | 0.00        | 5.54       | 0.62       | 0.00      | 1.85       | 0.00        | 16.00      | 24.00  |
|                             |         |         |    | %    | 0.00        | 23.08      | 2.56       | 0.00      | 7.69       | 0.00        | 66.67      | 100.00 |
|                             |         | 102     | 4  | 405  | 0.00        | 3.00       | 5.00       | 0.00      | 6.00       | 1.00        | 7.00       | 22.00  |
|                             |         |         |    |      | 0.00        | 3.27       | 5.45       | 0.00      | 6.55       | 1.09        | 7.64       | 24.00  |
|                             |         |         |    | %    | 0.00        | 13.64      | 22.73      | 0.00      | 27.27      | 4.55        | 31.82      | 100.00 |
|                             |         | 111     | 5  | 505  | 0.00        | 6.00       | 2.50       | 0.00      | 4.00       | 1.50        | 10.00      | 24.00  |
|                             |         |         |    |      | 0.00        | 6.00       | 2.50       | 0.00      | 4.00       | 1.50        | 10.00      | 24.00  |
|                             |         |         |    | %    | 0.00        | 25.00      | 10.42      | 0.00      | 16.67      | 6.25        | 41.67      | 100.00 |
|                             |         | 202     | 6  | 605  | 0.00        | 2.00       | 0.50       | 0.00      | 5.00       | 5.00        | 25.50      | 38.00  |
|                             |         |         |    |      | 0.00        | 1.26       | 0.32       | 0.00      | 3.16       | 3.16        | 16.11      | 24.00  |
|                             |         |         |    | %    | 0.00        | 5.26       | 1.32       | 0.00      | 13.16      | 13.16       | 67.11      | 100.00 |
|                             |         | 99      | 7  | 705  | 0.00        | 3.00       | 1.00       | 0.00      | 2.50       | 2.50        | 19.00      | 28.00  |
|                             |         |         |    |      | 0.00        | 2.57       | 0.86       | 0.00      | 2.14       | 2.14        | 16.29      | 24.00  |
|                             |         |         |    | %    | 0.00        | 10.71      | 3.57       | 0.00      | 8.93       | 8.93        | 67.86      | 100.00 |
|                             |         | 105     | 8  | 805  | 0.00        | 2.00       | 3.00       | 0.00      | 3.50       | 1.50        | 8.00       | 18.00  |
|                             |         |         |    |      | 0.00        | 2.67       | 4.00       | 0.00      | 4.67       | 2.00        | 10.67      | 24.00  |
|                             |         |         |    | %    | 0.00        | 11.11      | 16.67      | 0.00      | 19.44      | 8.33        | 44.44      | 100.00 |
|                             |         | 98      | 9  | 905  | 2.00        | 0.50       | 0.50       | 0.00      | 2.50       | 1.00        | 9.00       | 15.50  |
|                             |         |         |    |      | 3.10        | 0.77       | 0.77       | 0.00      | 3.87       | 1.55        | 13.94      | 24.00  |
|                             |         |         |    | %    | 12.90       | 3.23       | 3.23       | 0.00      | 16.13      | 6.45        | 58.06      | 100.00 |
|                             |         | 101     | 10 | 1005 | 0.00        | 2.00       | 2.00       | 0.00      | 3.50       | 1.50        | 7.00       | 16.00  |
|                             |         |         |    |      | 0.00        | 3.00       | 3.00       | 0.00      | 5.25       | 2.25        | 10.50      | 24.00  |
|                             |         |         |    | %    | 0.00        | 12.50      | 12.50      | 0.00      | 21.88      | 9.38        | 43.75      | 100.00 |
| Promedio metros             | 111.70  |         |    |      | 2.05        | 3.03       | 2.00       | 0.50      | 3.70       | 2.05        | 12.27      | 25.60  |
|                             |         |         |    |      | 1.92        | 2.84       | 1.88       | 0.47      | 3.47       | 1.92        | 11.50      | 24.00  |
| promedio real 2015          |         |         |    |      | 8.01        | 11.84      | 7.81       | 1.95      | 14.45      | 8.01        | 47.93      | 100.0  |



Tabla 4. Tiempos reales de la etapa superficial de 9 5/8”.

| Etapa 2                      | 9-5/8" |         |       | pozo  | estacionado | superficie | circulando | repasando | sacando TP | metiendo TP | perforando | total  |
|------------------------------|--------|---------|-------|-------|-------------|------------|------------|-----------|------------|-------------|------------|--------|
| ETAPA SUPERFICIAL DE 12-1/4" |        | (horas) |       |       |             |            |            |           |            |             |            |        |
| 450                          | 1      | 105     | 98.54 | 7.00  | 7.00        | 0.00       | 13.00      | 6.00      | 30.50      |             |            | 162.04 |
|                              |        |         | 14.59 | 1.04  | 1.04        | 0.00       | 1.93       | 0.89      | 4.52       |             |            | 24.00  |
|                              |        | %       | 60.81 | 4.32  | 4.32        | 0.00       | 8.02       | 3.70      | 18.82      |             |            | 100.00 |
| 450                          | 2      | 205     | 7.50  | 4.50  | 6.50        | 0.00       | 5.50       | 4.50      | 27.00      |             |            | 55.50  |
|                              |        |         | 3.24  | 1.95  | 2.81        | 0.00       | 2.38       | 1.95      | 11.68      |             |            | 24.00  |
|                              |        | %       | 13.51 | 8.11  | 11.71       | 0.00       | 9.91       | 8.11      | 48.65      |             |            | 100.00 |
| 450                          | 3      | 305     | 6.00  | 2.50  | 3.00        | 0.00       | 11.50      | 1.50      | 23.50      |             |            | 48.00  |
|                              |        |         | 3.00  | 1.25  | 1.50        | 0.00       | 5.75       | 0.75      | 11.75      |             |            | 24.00  |
|                              |        | %       | 12.50 | 5.21  | 6.25        | 0.00       | 23.96      | 3.13      | 48.96      |             |            | 100.00 |
| 450                          | 4      | 405     | 0.00  | 8.00  | 5.50        | 0.00       | 6.00       | 2.50      | 18.00      |             |            | 40.00  |
|                              |        |         | 0.00  | 4.80  | 3.30        | 0.00       | 3.60       | 1.50      | 10.80      |             |            | 24.00  |
|                              |        | %       | 0.00  | 20.00 | 13.75       | 0.00       | 15.00      | 6.25      | 45.00      |             |            | 100.00 |
| 550                          | 5      | 505     | 1.00  | 4.50  | 4.00        | 0.00       | 6.50       | 1.50      | 22.00      |             |            | 39.50  |
|                              |        |         | 0.61  | 2.73  | 2.43        | 0.00       | 3.95       | 0.91      | 13.37      |             |            | 24.00  |
|                              |        | %       | 2.53  | 11.39 | 10.13       | 0.00       | 16.46      | 3.80      | 55.70      |             |            | 100.00 |
| 555                          | 6      | 605     | 3.50  | 7.00  | 3.00        | 0.00       | 9.50       | 4.00      | 23.50      |             |            | 50.50  |
|                              |        |         | 1.66  | 3.33  | 1.43        | 0.00       | 4.51       | 1.90      | 11.17      |             |            | 24.00  |
|                              |        | %       | 6.93  | 13.86 | 5.94        | 0.00       | 18.81      | 7.92      | 46.53      |             |            | 100.00 |
| 552                          | 7      | 705     | 0.50  | 3.00  | 2.50        | 0.00       | 4.50       | 0.00      | 22.00      |             |            | 32.50  |
|                              |        |         | 0.37  | 2.22  | 1.85        | 0.00       | 3.32       | 0.00      | 16.25      |             |            | 24.00  |
|                              |        | %       | 1.54  | 9.23  | 7.69        | 0.00       | 13.85      | 0.00      | 67.69      |             |            | 100.00 |
| 550                          | 8      | 805     | 6.50  | 2.50  | 3.50        | 0.00       | 6.50       | 0.00      | 26.50      |             |            | 45.50  |
|                              |        |         | 3.43  | 1.32  | 1.85        | 0.00       | 3.43       | 0.00      | 13.98      |             |            | 24.00  |
|                              |        | %       | 14.29 | 5.49  | 7.69        | 0.00       | 14.29      | 0.00      | 58.24      |             |            | 100.00 |
| 554                          | 9      | 905     | 0.50  | 4.00  | 4.00        | 0.00       | 7.50       | 0.00      | 22.00      |             |            | 38.00  |
|                              |        |         | 0.32  | 2.53  | 2.53        | 0.00       | 4.74       | 0.00      | 13.89      |             |            | 24.00  |
|                              |        | %       | 1.32  | 10.53 | 10.53       | 0.00       | 19.74      | 0.00      | 57.89      |             |            | 100.00 |
| 555                          | 10     | 1005    | 1.00  | 3.00  | 3.50        | 0.00       | 7.00       | 0.00      | 23.50      |             |            | 38.00  |
|                              |        |         | 0.63  | 1.89  | 2.21        | 0.00       | 4.42       | 0.00      | 14.84      |             |            | 24.00  |
|                              |        | %       | 2.63  | 7.89  | 9.21        | 0.00       | 18.42      | 0.00      | 61.84      |             |            | 100.00 |
| Promedio metros              | 511.60 |         |       | 12.50 | 4.60        | 4.25       | 0.00       | 7.75      | 2.00       | 23.85       | 54.95      |        |
| promedio real 2015           |        |         |       | 5.46  | 2.01        | 1.86       | 0.00       | 3.38      | 0.87       | 10.42       | 24.00      |        |
|                              |        |         |       | 22.76 | 8.37        | 7.73       | 0.00       | 14.10     | 3.64       | 43.40       | 100.0      |        |

Tabla 5. Tiempos reales de la etapa de producción de 7”.

| Etapa 3                    | 7"   |         |       | pozo  | estacionado | superficie | circulando | repasando | sacando TP | metiendo TP | perforando | total  |
|----------------------------|------|---------|-------|-------|-------------|------------|------------|-----------|------------|-------------|------------|--------|
| ETAPA PRODUCCIÓN DE 8-1/2" |      | (horas) |       |       |             |            |            |           |            |             |            |        |
| 1585                       | 1    | 105     | 28.00 | 5.00  | 17.00       | 0.00       | 19.00      | 16.00     | 165.50     |             |            | 250.50 |
|                            |      |         | 2.68  | 0.48  | 1.63        | 0.00       | 1.82       | 1.53      | 15.86      |             |            | 24.00  |
|                            |      | %       | 11.18 | 2.00  | 6.79        | 0.00       | 7.58       | 6.39      | 66.07      |             |            | 100.00 |
| 1566                       | 2    | 205     | 58.00 | 15.00 | 16.00       | 12.00      | 27.50      | 13.00     | 146.00     |             |            | 287.50 |
|                            |      |         | 4.84  | 1.25  | 1.34        | 1.00       | 2.30       | 1.09      | 12.19      |             |            | 24.00  |
|                            |      | %       | 20.17 | 5.22  | 5.57        | 4.17       | 9.57       | 4.52      | 50.78      |             |            | 100.00 |
| 1558                       | 3    | 305     | 51.00 | 11.50 | 11.00       | 0.00       | 9.00       | 6.00      | 190.00     |             |            | 278.50 |
|                            |      |         | 4.39  | 0.99  | 0.95        | 0.00       | 0.78       | 0.52      | 16.37      |             |            | 24.00  |
|                            |      | %       | 18.31 | 4.13  | 3.95        | 0.00       | 3.23       | 2.15      | 68.22      |             |            | 100.00 |
| 1495                       | 4    | 405     | 2.00  | 11.00 | 5.00        | 0.00       | 10.50      | 3.50      | 92.50      |             |            | 124.50 |
|                            |      |         | 0.39  | 2.12  | 0.96        | 0.00       | 2.02       | 0.67      | 17.83      |             |            | 24.00  |
|                            |      | %       | 1.61  | 8.84  | 4.02        | 0.00       | 8.43       | 2.81      | 74.30      |             |            | 100.00 |
| 1555                       | 5    | 505     | 11.00 | 11.50 | 18.00       | 0.00       | 13.50      | 5.00      | 67.00      |             |            | 126.00 |
|                            |      |         | 2.10  | 2.19  | 3.43        | 0.00       | 2.57       | 0.95      | 12.76      |             |            | 24.00  |
|                            |      | %       | 8.73  | 9.13  | 14.29       | 0.00       | 10.71      | 3.97      | 53.17      |             |            | 100.00 |
| 1679                       | 6    | 605     | 3.00  | 8.00  | 16.50       | 0.00       | 13.00      | 6.50      | 112.00     |             |            | 159.00 |
|                            |      |         | 0.45  | 1.21  | 2.49        | 0.00       | 1.96       | 0.98      | 16.91      |             |            | 24.00  |
|                            |      | %       | 1.89  | 5.03  | 10.38       | 0.00       | 8.18       | 4.09      | 70.44      |             |            | 100.00 |
| 1596                       | 7    | 705     | 4.50  | 7.50  | 5.50        | 0.00       | 12.00      | 3.50      | 88.00      |             |            | 121.00 |
|                            |      |         | 0.89  | 1.49  | 1.09        | 0.00       | 2.38       | 0.69      | 17.45      |             |            | 24.00  |
|                            |      | %       | 3.72  | 6.20  | 4.55        | 0.00       | 9.92       | 2.89      | 72.73      |             |            | 100.00 |
| 1620                       | 8    | 805     | 7.00  | 8.00  | 18.00       | 6.50       | 9.00       | 5.00      | 94.00      |             |            | 147.50 |
|                            |      |         | 1.14  | 1.30  | 2.93        | 1.06       | 1.46       | 0.81      | 15.29      |             |            | 24.00  |
|                            |      | %       | 4.75  | 5.42  | 12.20       | 4.41       | 6.10       | 3.39      | 63.73      |             |            | 100.00 |
| 1624                       | 9    | 905     | 6.50  | 8.00  | 4.00        | 0.00       | 13.50      | 5.00      | 89.50      |             |            | 126.50 |
|                            |      |         | 1.23  | 1.52  | 0.76        | 0.00       | 2.56       | 0.95      | 16.98      |             |            | 24.00  |
|                            |      | %       | 5.14  | 6.32  | 3.16        | 0.00       | 10.67      | 3.95      | 70.75      |             |            | 100.00 |
| 1621                       | 10   | 1005    | 3.00  | 8.00  | 3.50        | 0.00       | 14.50      | 5.00      | 102.50     |             |            | 136.50 |
|                            |      |         | 0.53  | 1.41  | 0.62        | 0.00       | 2.55       | 0.88      | 18.02      |             |            | 24.00  |
|                            |      | %       | 2.20  | 5.86  | 2.56        | 0.00       | 10.62      | 3.66      | 75.09      |             |            | 100.00 |
| Promedio metros            | 1590 |         |       | 17.40 | 9.35        | 11.45      | 1.85       | 14.15     | 6.85       | 114.70      | 175.75     |        |
| promedio real 2015         |      |         |       | 2.38  | 1.28        | 1.56       | 0.25       | 1.93      | 0.94       | 15.66       | 24.00      |        |
|                            |      |         |       | 9.90  | 5.32        | 6.51       | 1.05       | 8.05      | 3.90       | 65.26       | 100.00     |        |

## 2.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE TIEMPOS REALES CONTRA EJERCICIO 2016 EN LA ETAPA DE PERFORACIÓN.

Siguiendo con el análisis, el comparativo se realiza contra los tiempos realizados durante el ejercicio 2016; el análisis efectuado no establece distinción en cuanto a pozos someros o profundos, marinos o terrestres, reentradas, si son verticales, direccionales de baja, media o alta inclinación, tipo "S", horizontales; igualmente el documento no distingue longitudes de etapas o si el análisis se llevó a cabo para pozos con diferentes etapas y diámetros de agujeros perforados.

Para el caso de estudio del campo T-C, a pesar de no contar con una campaña de perforación 2016, el análisis se llevó a cabo con 10 pozos del ejercicio 2015 con la finalidad de establecer un comparativo e identificar las oportunidades de mejora para cumplir con el reto de disminución de tiempos NPT's en las actividades medulares de perforación.

Tabla 6. Comparativo de porcentaje promedio de tiempos reales en la etapa conductora contra tiempos alcanzados en el ejercicio 2016.

| Etapa 1                  |             | 13-3/8"   |       | pozo  | estacionado | superficie | circulando | repasando     | sacando TP | metiendo TP | perforando | total    |
|--------------------------|-------------|-----------|-------|-------|-------------|------------|------------|---------------|------------|-------------|------------|----------|
| ETAPA CONDUCTORA 17-1/2" |             | (horas)   |       |       |             |            |            |               |            |             |            |          |
|                          | TIEMPOS     | PROMEDIOS | 2.05  | 3.03  | 2.00        | 0.50       | 3.70       | 2.05          | 12.27      | 25.60       |            |          |
|                          | NORMALIZADO |           | 1.92  | 2.84  | 1.88        | 0.47       | 3.47       | 1.92          | 11.50      | 24.00       |            |          |
|                          | %           |           | 8.01  | 11.84 | 7.81        | 1.95       | 14.45      | 8.01          | 47.93      | 100.0       |            |          |
| Promedio real 2016       |             |           |       |       |             |            |            |               |            |             |            |          |
| PORCENTAJE REAL 2016     |             |           | 16.60 | 17.60 | 12.00       | 8.20       | 12.60      | 13.80         | 18.60      | 99.40       |            |          |
| DIFERENCIAS %            |             |           | -8.59 | -5.76 | -4.19       | -6.25      | 1.85       | -5.79         | 29.33      | 0.60        |            |          |
|                          |             |           |       |       |             |            |            | AREA ATENCION |            |             | +          | GANANCIA |

Tabla 7. Comparativo de porcentaje promedio de tiempos reales en la etapa superficial contra tiempos alcanzados en el ejercicio 2016.

| Etapa 2                      |        | 9 5/8"   |       | pozo  | estacionado | superficie | circulando | repasando     | sacando TP | metiendo TP | perforando | total    |
|------------------------------|--------|----------|-------|-------|-------------|------------|------------|---------------|------------|-------------|------------|----------|
| ETAPA SUPERFICIAL DE 12-1/4" |        | (horas)  |       |       |             |            |            |               |            |             |            |          |
| Promedio metros              | 511.60 | 10 POZOS | 12.50 | 4.60  | 4.25        | 0.00       | 7.75       | 2.00          | 23.85      | 54.95       |            |          |
|                              |        |          | 5.46  | 2.01  | 1.86        | 0.00       | 3.38       | 0.87          | 10.42      | 24.00       |            |          |
| promedio real 2015           |        |          | 22.76 | 8.37  | 7.73        | 0.00       | 14.10      | 3.64          | 43.40      | 100.0       |            |          |
| Promedio real 2016           |        |          |       |       |             |            |            |               |            |             |            |          |
| PORCENTAJE REAL 2016         |        |          | 16.60 | 17.60 | 12.00       | 8.20       | 12.60      | 13.80         | 18.60      | 99.40       |            |          |
| DIFERENCIAS %                |        |          | 6.16  | -9.23 | -4.27       | -8.20      | 1.50       | -10.16        | 24.80      | 0.6         |            |          |
|                              |        |          |       |       |             |            |            | AREA ATENCION |            |             | +          | GANANCIA |

Tabla 8. Comparativo de porcentaje promedio de tiempos reales en la etapa conductora contra tiempos alcanzados en el ejercicio 2016

| Etapa 3                   | 7*   | pozo    | estacionado | superficie | circulando | repasando | sacando TP | metiendo TP | perforando | total |
|---------------------------|------|---------|-------------|------------|------------|-----------|------------|-------------|------------|-------|
| ETAPA PRODUCCIÓN DE 8-12" |      | (horas) |             |            |            |           |            |             |            |       |
| Promedio metros           | 1590 | 17.40   | 9.35        | 11.45      | 1.85       | 14.15     | 6.85       | 114.70      | 175.75     |       |
|                           |      | 2.38    | 1.28        | 1.56       | 0.25       | 1.93      | 0.94       | 15.66       | 24.00      |       |
| promedio real 2015        |      | 9.90    | 5.32        | 6.51       | 1.05       | 8.05      | 3.90       | 65.26       | 100.00     |       |
| Promedio real 2016        |      |         |             |            |            |           |            |             |            |       |
| PORCENTAJE REAL 2016      |      | 16.60   | 17.60       | 12.00      | 8.20       | 12.60     | 13.80      | 18.60       | 99.40      |       |
| DIFERENCIAS %             |      | -6.70   | -12.28      | -5.49      | -7.15      | -4.55     | -9.90      | 46.66       | 0.6        |       |
|                           |      |         |             |            |            |           |            | +           |            |       |
|                           |      |         |             |            |            |           |            | GANANCIA    |            |       |

El análisis comparativo de fases del proceso macro de perforación refleja:

- Para la etapa de tubería conductora se observa que dentro de las 7 actividades fundamentales 6 están por encima del promedio del ejercicio 2016 y solo una se tiene como área de mejora (sacando TP, 1.88% de desviación respecto al ejercicio 2016). Este tiempo se ve incrementado debido a repasos consecutivos en el agujero de 17 ½" previo a la introducción de la TR conductora.

Por otra parte el valor de la fase de perforación alcanzo 48.94% es decir, supera en un 30.34% el valor promedio alcanzado para el ejercicio del año 2016; no obstante esto representa un 86.58% de la meta a alcanzar para finales del año 2017. A fin de alcanzar esta meta se observa que se tienen tiempos de repaso con un 1.78%, adicionalmente un tiempo de estar estacionado que representa un 7.45% lo que resulta en un 9.23% de tiempos que representan una oportunidad de mejora.

Algunas alternativas para mitigar estos tiempos son: Para evitar los repasos valorar emplear o incrementar el porcentaje de lubricante en el fluido de perforación, una vez alcanzado la PT dejar el pozo con fluido de perforación considerando ECD y bache viscoso en la sección del fondo, valorar la inhibición del fluido de perforación base agua ante arcillas reactivas. De igual manera dada las esperas presentadas por fallas mecánicas del equipo verificar en el check list previo al inicio de la perforación la eficiencia mecánica del mismo así como contar con refacciones e insumos para atender situaciones de contingencia.

- Para la segunda (2) etapa en la tubería de revestimiento superficial se observan dos áreas de oportunidad de mejora, siendo un factor común en el cual se presentan desviaciones, la fase de sacando tubería la cual representa en esta etapa un 1.5% y sumando a esta con un 22.76% la

fase de estacionado la cual se incrementa evidentemente con respecto a la etapa anterior.

Las alternativas de mitigación para estas dos fases siguen siendo las mismas mencionadas con anticipación.

Por otra parte el valor de la fase de perforación alcanzo un 43.40% durante la etapa superficial disminuyendo en su eficiencia, sin embargo, con respecto al ejercicio 2016 se mantiene por encima con un 24.8%, pese a esto ese porcentaje representa un 77.5% de la meta a alcanzar para el 2017, de 56%.

- Para la tercera etapa en la tubería de producción no se presentan desviaciones significativas en contra comparado con el ejercicio 2016, reduciendo así el margen para mejorar el proceso, sin embargo, la fase de estacionado sigue estando presente durante el desarrollo de esta etapa por lo tanto, a pesar de estar por debajo del promedio anual aun esta fase que representa un 9.90% de los tiempos en esta etapa, sigue generando un área de oportunidad.

Cabe destacar que la fase de perforación alcanzo un 65.26% lo que refleja un 46.66% por encima del promedio del año 2016 y un 16.53% por encima del reto para el año 2017.

En resumen las oportunidades se centran en la perforación de las dos (2) primeras etapas conductora y superficial de agujeros de 17 ½" y 12 ¼".

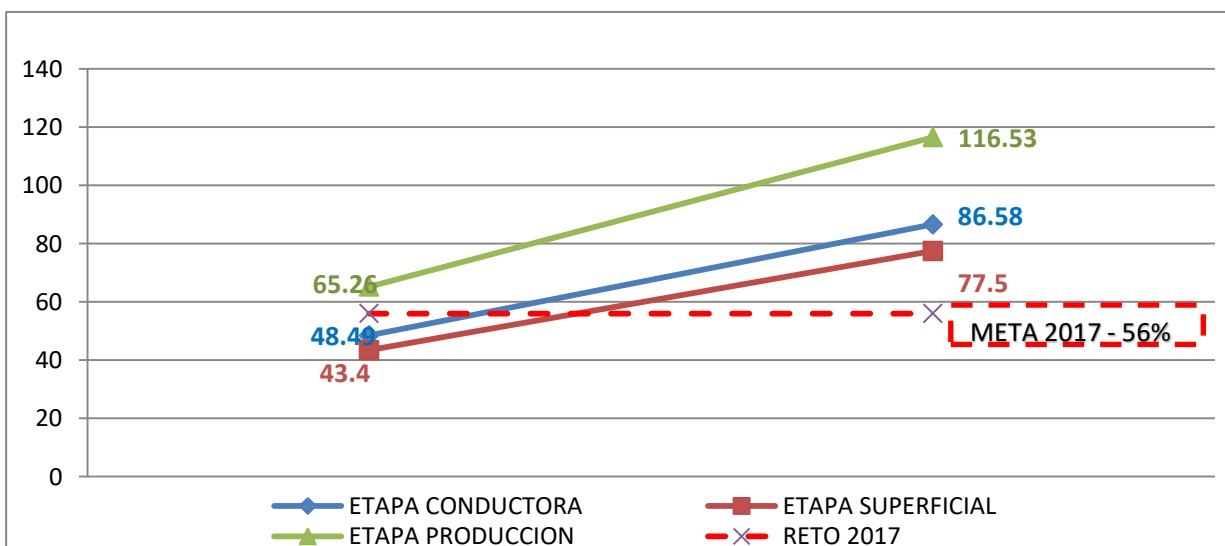


Figura 15. Gráfica de resultados de porcentajes de perforación por etapas en comparación con el reto del año 2017.

Tabla 9. Resumen comparativo de tiempos promedio de las etapas de perforación.

| ETAPA       | PROFUNDIDAD EFECTIVA (md) | TIEMPO PROMEDIO DE ACTIVIDADES MEDULARES (hr) | TIEMPO ACTIVIDAD ESPECÍFICA PERFORACIÓN (Hr) | % ACTIVIDAD ESPECÍFICA PERFORACIÓN | NORMALIZACIÓN AL 100% |
|-------------|---------------------------|---|--|------------------------------------|-----------------------|
| CONDUCTORA  | 111.7                     | 25.6  | 12.27  | 48.49                              | 86.58                 |
| SUPERFICIAL | 400                       | 54.95   | 23.85  | 43.4                               | 77.5                  |
| PRODUCCIÓN  | 1190                      | 175.75  | 114.7  | 65.26                              | 116.53                |

Los resultados del análisis efectuado por etapa indican que se cuenta con un porcentaje de eficiencia en la fase de perforación de 52.38% en las tres etapas de perforación para los pozos del campo; cabe mencionar que los mejores desempeños se tienen en la etapa de agujero de producción y las etapas conductora y superficial ofrecen importantes oportunidades de mejora ya que se encuentran por debajo del reto planteado para el ejercicio 2017, con valores de: 48.49 y 43.40 %; respectivamente, en relación con la meta de 56%.

## 2.4 DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES MEDULARES EN CAMBIOS DE ETAPA

Después de estudiar las etapas de perforación con las que cuentan los 10 pozos encuesta del campo T-C, se decide ampliar el estudio a las fases planas del proceso (cambios de etapa) para tener un análisis completo del desarrollo de un pozo desde su planeación hasta su culminación, dentro de las fases planas se observan actividades repetitivas en el proceso y es por eso que se decide estructurar el estudio en actividades medulares las cuales en este caso se proponen once (11) actividades que se describen a continuación:

1. Metiendo TR
2. Cementando TR
3. Espera de Fraguado
4. Cabezal
5. Instalación/Desinstalación/Pruebas
6. Escariando
7. Tiempos de Registros Geofísicos
8. Tiempo de Circulación
9. Viajes de Calibración
10. Línea de Flote/Campana/Charola Ecológica
11. Tiempo Estacionado





Tabla 10. Clasificación de actividades medulares en las fases planas (ejemplo pozo 105, etapa 17 1/2" – 13 3/8").

| pozo    | metiendo | cementando | fraguando | cabezal | preventores | escariando | Reg. Geo. | circulando | calibracion | línea de flote | estacionado | total  |
|---------|----------|------------|-----------|---------|-------------|------------|-----------|------------|-------------|----------------|-------------|--------|
| (horas) |          |            |           |         |             |            |           |            |             |                |             |        |
| 105     | 4.00     | 3.00       | 4.00      | 4.50    | 26.00       | 0.00       | 0.00      | 45.00      | 3.00        | 6.00           | 11.50       | 91.50  |
|         | 1.05     | 0.79       | 1.05      | 1.18    | 6.82        | 0.00       | 0.00      | 11.80      | 0.79        | 1.57           | 3.02        | 24.00  |
| %       | 4.37     | 3.28       | 4.37      | 4.92    | 28.42       | 0.00       | 0.00      | 49.18      | 3.28        | 6.56           | 12.57       | 100.00 |

## 2.5 ANÁLISIS DE TIEMPOS DE CAMBIOS DE ETAPAS

Posterior a definir las once (11) etapas medulares que se realizan dentro de las fases planas en el desarrollo de un pozo en el campos T-C, se procede a reportar los tiempos de los 3 cambios de etapa (conductor, superficial, producción), en las tablas se muestran tiempos normales, los tiempos improductivos ya sea por fallas o esperas son reportados en la categoría “estacionado”, a su vez estos tiempos fueron normalizados a 24 horas al día para definir con certeza el porcentaje de desviación de acuerdo al plan.

El análisis reporta los tiempos operativos de las tres fases planas del proceso, las cuales comprenden los diámetros de tubería de revestimiento de 13 3/8", 9 5/8" y 7" de los diez (10) pozos encuesta del campo T-C.



Tabla 11. Tiempos reales de la etapa conductora 13 3/8"

| Etapa 1                     | 13-3/8" |         |  | pozo  | metiendo | cementando | fraguando | cabezal | preventores | escariando | Reg. Geo. | circulando | calibración | línea de flote | estacionado | total  |
|-----------------------------|---------|---------|--|-------|----------|------------|-----------|---------|-------------|------------|-----------|------------|-------------|----------------|-------------|--------|
| ETAPA CONDUCTORA DE 12-1/2" |         | (horas) |  |       |          |            |           |         |             |            |           |            |             |                |             |        |
| 450                         | 1       | 105     |  | 4.00  | 3.00     | 4.00       | 4.50      | 26.00   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 45.00      | 3.00        | 6.00           | 11.50       | 91.50  |
|                             |         |         |  | 1.05  | 0.79     | 1.05       | 1.18      | 6.82    | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 11.80      | 0.79        | 1.57           | 3.02        | 24.00  |
|                             |         | %       |  | 4.37  | 3.28     | 4.37       | 4.92      | 28.42   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 49.18      | 3.28        | 6.56           | 12.57       | 100.00 |
| 450                         | 2       | 205     |  | 3.00  | 4.50     | 8.00       | 4.00      | 13.00   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 4.50        | 9.50           | 2.00        | 29.00  |
|                             |         |         |  | 2.48  | 3.72     | 6.62       | 3.31      | 10.76   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 3.72        | 7.86           | 1.66        | 24.00  |
|                             |         | %       |  | 10.34 | 15.52    | 27.59      | 13.79     | 44.83   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 15.52       | 32.76          | 6.90        | 100.00 |
| 450                         | 3       | 305     |  | 4.00  | 6.00     | 8.00       | 6.50      | 12.00   | 0.00        | 6.00       | 1.50      | 4.00       | 4.50        | 5.00           | 33.00       |        |
|                             |         |         |  | 2.91  | 4.36     | 5.82       | 4.73      | 8.73    | 0.00        | 4.36       | 1.09      | 2.91       | 3.27        | 3.64           | 24.00       |        |
|                             |         | %       |  | 12.12 | 18.18    | 24.24      | 19.70     | 36.36   | 0.00        | 18.18      | 4.55      | 12.12      | 13.64       | 15.15          | 100.00      |        |
| 450                         | 4       | 405     |  | 6.00  | 5.00     | 8.00       | 4.00      | 12.00   | 0.00        | 0.00       | 3.00      | 5.00       | 13.00       | 3.00           | 36.00       |        |
|                             |         |         |  | 4.00  | 3.33     | 5.33       | 2.67      | 8.00    | 0.00        | 0.00       | 2.00      | 3.33       | 8.67        | 2.00           | 24.00       |        |
|                             |         | %       |  | 16.67 | 13.89    | 22.22      | 11.11     | 33.33   | 0.00        | 0.00       | 8.33      | 13.89      | 36.11       | 8.33           | 100.00      |        |
| 550                         | 5       | 505     |  | 6.00  | 5.50     | 4.50       | 6.00      | 5.00    | 0.00        | 0.00       | 1.50      | 4.00       | 6.00        | 2.00           | 18.50       |        |
|                             |         |         |  | 7.78  | 7.14     | 5.84       | 7.78      | 6.49    | 0.00        | 0.00       | 1.95      | 5.19       | 7.78        | 2.59           | 24.00       |        |
|                             |         | %       |  | 32.43 | 29.73    | 24.32      | 32.43     | 27.03   | 0.00        | 0.00       | 8.11      | 21.62      | 32.43       | 10.81          | 100.00      |        |
| 555                         | 6       | 605     |  | 5.50  | 6.00     | 3.00       | 5.50      | 24.00   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 8.00        | 7.00           | 39.00       |        |
|                             |         |         |  | 3.38  | 3.69     | 1.85       | 3.38      | 14.77   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 4.92        | 4.31           | 24.00       |        |
|                             |         | %       |  | 14.10 | 15.38    | 7.69       | 14.10     | 61.54   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 20.51       | 17.95          | 100.00      |        |
| 552                         | 7       | 705     |  | 5.00  | 5.50     | 0.00       | 8.00      | 12.00   | 0.00        | 0.00       | 0.50      | 3.50       | 3.00        | 4.50           | 23.50       |        |
|                             |         |         |  | 5.11  | 5.62     | 0.00       | 8.17      | 12.26   | 0.00        | 0.00       | 0.51      | 3.57       | 3.06        | 4.60           | 24.00       |        |
|                             |         | %       |  | 21.28 | 23.40    | 0.00       | 34.04     | 51.06   | 0.00        | 0.00       | 2.13      | 14.89      | 12.77       | 19.15          | 100.00      |        |
| 550                         | 8       | 805     |  | 4.50  | 6.50     | 0.00       | 7.00      | 10.00   | 0.00        | 0.00       | 1.00      | 3.50       | 3.00        | 2.50           | 20.00       |        |
|                             |         |         |  | 5.40  | 7.80     | 0.00       | 8.40      | 12.00   | 0.00        | 0.00       | 1.20      | 4.20       | 3.60        | 3.00           | 24.00       |        |
|                             |         | %       |  | 22.50 | 32.50    | 0.00       | 35.00     | 50.00   | 0.00        | 0.00       | 5.00      | 17.50      | 15.00       | 12.50          | 100.00      |        |
| 554                         | 9       | 905     |  | 5.00  | 3.50     | 0.00       | 7.00      | 11.00   | 0.00        | 0.00       | 3.00      | 2.50       | 3.00        | 3.00           | 22.50       |        |
|                             |         |         |  | 5.33  | 3.73     | 0.00       | 7.47      | 11.73   | 0.00        | 0.00       | 3.20      | 2.67       | 3.20        | 3.20           | 24.00       |        |
|                             |         | %       |  | 22.22 | 15.56    | 0.00       | 31.11     | 48.89   | 0.00        | 0.00       | 13.33     | 11.11      | 13.33       | 13.33          | 100.00      |        |
| 555                         | 10      | 1005    |  | 4.50  | 4.50     | 0.00       | 5.00      | 7.00    | 0.00        | 0.00       | 1.00      | 3.50       | 3.00        | 2.00           | 16.50       |        |
|                             |         |         |  | 6.55  | 6.55     | 0.00       | 7.27      | 10.18   | 0.00        | 0.00       | 1.45      | 5.09       | 4.36        | 2.91           | 24.00       |        |
|                             |         | %       |  | 27.27 | 27.27    | 0.00       | 30.30     | 42.42   | 0.00        | 0.00       | 6.06      | 21.21      | 18.18       | 12.12          | 100.00      |        |
| Promedio metros             | 511.60  |         |  | 4.75  | 5.00     | 3.55       | 5.75      | 13.20   | 0.00        | 0.60       | 5.65      | 3.35       | 5.90        | 4.25           | 32.95       |        |
|                             |         |         |  | 3.46  | 3.64     | 2.59       | 4.19      | 9.61    | 0.00        | 0.44       | 4.12      | 2.44       | 4.30        | 3.10           | 24.00       |        |
| promedio real 2015          |         |         |  | 14.42 | 15.17    | 10.77      | 17.45     | 40.06   | 0.00        | 1.82       | 17.15     | 10.17      | 17.91       | 12.90          | 100.0       |        |

Tabla 12. Tiempos reales de la etapa superficial 9 5/8"

| Etapa 2                      | 9 5/8" |         |  | pozo  | metiendo | cementando | fraguando | cabezal | preventores | escariando | Reg. Geo. | circulando | calibración | línea de flote | estacionado | total |
|------------------------------|--------|---------|--|-------|----------|------------|-----------|---------|-------------|------------|-----------|------------|-------------|----------------|-------------|-------|
| ETAPA SUPERFICIAL DE 12-1/4" |        | (horas) |  |       |          |            |           |         |             |            |           |            |             |                |             |       |
| 450                          | 1      | 105     |  | 7.00  | 2.50     | 5.00       | 2.50      | 18.50   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 2.50       | 0.00        | 8.50           | 23.50       | 53.00 |
|                              |        |         |  | 3.17  | 1.13     | 2.26       | 1.13      | 8.38    | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 1.13       | 0.00        | 3.85           | 10.64       | 24.00 |
|                              |        | %       |  | 13.21 | 4.72     | 9.43       | 4.72      | 34.91   | 0.00        | 0.00       | 4.72      | 0.00       | 16.04       | 44.34          | 100.00      |       |
| 450                          | 2      | 205     |  | 9.00  | 4.00     | 0.00       | 4.50      | 33.00   | 0.00        | 8.00       | 0.00      | 0.00       | 3.00        | 24.50          | 68.50       |       |
|                              |        |         |  | 3.15  | 1.40     | 0.00       | 1.58      | 11.56   | 0.00        | 2.80       | 0.00      | 0.00       | 1.05        | 8.58           | 24.00       |       |
|                              |        | %       |  | 13.14 | 5.84     | 0.00       | 6.57      | 48.18   | 0.00        | 11.68      | 0.00      | 0.00       | 4.38        | 35.77          | 100.00      |       |
| 450                          | 3      | 305     |  | 7.00  | 3.00     | 0.00       | 0.00      | 20.50   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 2.00        | 1.50           | 24.00       |       |
|                              |        |         |  | 7.00  | 3.00     | 0.00       | 0.00      | 20.50   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 0.00        | 2.00           | 1.50        | 24.00 |
|                              |        | %       |  | 29.17 | 12.50    | 0.00       | 0.00      | 85.42   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 8.33        | 6.25           | 100.00      |       |
| 450                          | 4      | 405     |  | 9.00  | 10.00    | 13.00      | 9.00      | 36.00   | 0.00        | 4.00       | 2.00      | 0.00       | 3.00        | 25.00          | 70.00       |       |
|                              |        |         |  | 3.09  | 3.43     | 4.46       | 3.09      | 12.34   | 0.00        | 1.37       | 0.69      | 0.00       | 1.03        | 8.57           | 24.00       |       |
|                              |        | %       |  | 12.86 | 14.29    | 18.57      | 12.86     | 51.43   | 0.00        | 5.71       | 2.86      | 0.00       | 4.29        | 35.71          | 100.00      |       |
| 550                          | 5      | 505     |  | 9.00  | 4.50     | 0.00       | 4.00      | 26.00   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 6.00        | 4.50           | 36.50       |       |
|                              |        |         |  | 5.92  | 2.96     | 0.00       | 2.63      | 17.10   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 3.95        | 2.96           | 24.00       |       |
|                              |        | %       |  | 24.66 | 12.33    | 0.00       | 10.96     | 71.23   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 16.44       | 12.33          | 100.00      |       |
| 555                          | 6      | 605     |  | 7.50  | 3.00     | 8.00       | 2.50      | 17.00   | 0.00        | 12.50      | 2.00      | 8.50       | 1.00        | 3.00           | 44.00       |       |
|                              |        |         |  | 4.09  | 1.64     | 4.36       | 1.36      | 9.27    | 0.00        | 6.82       | 1.09      | 4.64       | 0.55        | 1.64           | 24.00       |       |
|                              |        | %       |  | 17.05 | 6.82     | 18.18      | 5.68      | 38.64   | 0.00        | 28.41      | 4.55      | 19.32      | 2.27        | 6.82           | 100.00      |       |
| 552                          | 7      | 705     |  | 11.00 | 5.00     | 2.00       | 2.00      | 24.00   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 4.00        | 7.50           | 35.50       |       |
|                              |        |         |  | 7.44  | 3.38     | 1.35       | 1.35      | 16.23   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 2.70        | 5.07           | 24.00       |       |
|                              |        | %       |  | 30.99 | 14.08    | 5.63       | 5.63      | 67.61   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 11.27       | 21.13          | 100.00      |       |
| 550                          | 8      | 805     |  | 6.50  | 5.50     | 5.00       | 12.00     | 22.50   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 8.50        | 2.50           | 33.50       |       |
|                              |        |         |  | 4.66  | 3.94     | 3.58       | 8.60      | 16.12   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 6.09        | 1.79           | 24.00       |       |
|                              |        | %       |  | 19.40 | 16.42    | 14.93      | 35.82     | 67.16   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 25.37       | 7.46           | 100.00      |       |
| 554                          | 9      | 905     |  | 8.50  | 5.50     | 5.00       | 9.00      | 21.00   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 7.00        | 0.50           | 28.50       |       |
|                              |        |         |  | 7.16  | 4.63     | 4.21       | 7.58      | 17.68   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 5.89        | 0.42           | 24.00       |       |
|                              |        | %       |  | 29.82 | 19.30    | 17.54      | 31.58     | 73.68   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 24.56       | 1.75           | 100.00      |       |
| 555                          | 10     | 1005    |  | 8.50  | 4.50     | 5.00       | 8.50      | 18.50   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 7.00        | 1.00           | 26.50       |       |
|                              |        |         |  | 7.70  | 4.08     | 4.53       | 7.70      | 16.75   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 6.34        | 0.91           | 24.00       |       |
|                              |        | %       |  | 32.08 | 16.98    | 18.87      | 32.08     | 69.81   | 0.00        | 0.00       | 0.00      | 0.00       | 26.42       | 3.77           | 100.00      |       |
| Promedio metros              | 511.60 |         |  | 8.30  | 4.75     | 4.30       | 5.40      | 23.70   | 0.00        | 2.45       | 0.65      | 0.85       | 5.00        | 9.35           | 42.00       |       |
|                              |        |         |  | 4.74  | 2.71     | 2.46       | 3.09      | 13.54   | 0.00        | 1.40       | 0.37      | 0.49       | 2.86        | 5.34           | 24.00       |       |
| promedio real 2015           |        |         |  | 19.76 | 11.31    | 10.24      | 12.86     | 56.43   | 0.00        | 5.83       | 1.55      | 2.02       | 11.90       | 22.26          | 100.0       |       |

Tabla 13. Tiempos reales de la etapa de producción 7"

| Etapa 3                   | 7"     |    |  | pozo    | metiendo | cementando | fraguando | cabezal | preventores | escariando | Reg. Geo. | circulando | calibracion | línea de flote | estacionado | total  |
|---------------------------|--------|----|--|---------|----------|------------|-----------|---------|-------------|------------|-----------|------------|-------------|----------------|-------------|--------|
| ETAPA PRODUCCIÓN DE 8-V2" |        |    |  | (horas) |          |            |           |         |             |            |           |            |             |                |             |        |
|                           | 450    | 1  |  | 105     | 10.50    | 4.00       | 0.00      | 0.00    | 3.50        | 0.00       | 11.00     | 1.50       | 33.50       | 0.00           | 8.50        | 58.00  |
|                           |        |    |  |         | 4.34     | 1.66       | 0.00      | 0.00    | 1.45        | 0.00       | 4.55      | 0.62       | 13.86       | 0.00           | 3.52        | 24.00  |
|                           |        |    |  | %       | 18.10    | 6.90       | 0.00      | 0.00    | 6.03        | 0.00       | 18.97     | 2.59       | 57.76       | 0.00           | 14.66       | 100.00 |
|                           | 450    | 2  |  | 205     | 11.00    | 6.00       | 13.00     | 0.00    | 4.00        | 6.00       | 12.00     | 4.50       | 13.50       | 0.00           | 8.00        | 48.00  |
|                           |        |    |  |         | 5.50     | 3.00       | 6.50      | 0.00    | 2.00        | 3.00       | 6.00      | 2.25       | 6.75        | 0.00           | 4.00        | 24.00  |
|                           |        |    |  | %       | 22.92    | 12.50      | 27.08     | 0.00    | 8.33        | 12.50      | 25.00     | 9.38       | 28.13       | 0.00           | 16.67       | 100.00 |
|                           | 450    | 3  |  | 305     | 14.00    | 6.00       | 11.50     | 0.00    | 4.50        | 14.00      | 9.00      | 2.50       | 32.50       | 0.00           | 1.00        | 63.50  |
|                           |        |    |  |         | 5.29     | 2.27       | 4.35      | 0.00    | 1.70        | 5.29       | 3.40      | 0.94       | 12.28       | 0.00           | 0.38        | 24.00  |
|                           |        |    |  | %       | 22.05    | 9.45       | 18.11     | 0.00    | 7.09        | 22.05      | 14.17     | 3.94       | 51.18       | 0.00           | 1.57        | 100.00 |
|                           | 450    | 4  |  | 405     | 13.00    | 4.50       | 16.50     | 0.00    | 6.00        | 0.00       | 7.00      | 0.00       | 11.50       | 0.00           | 149.50      | 174.00 |
|                           |        |    |  |         | 1.79     | 0.62       | 2.28      | 0.00    | 0.83        | 0.00       | 0.97      | 0.00       | 1.59        | 0.00           | 20.62       | 24.00  |
|                           |        |    |  | %       | 7.47     | 2.59       | 9.48      | 0.00    | 3.45        | 0.00       | 4.02      | 0.00       | 6.61        | 0.00           | 85.92       | 100.00 |
|                           | 550    | 5  |  | 505     | 0.00     | 0.00       | 0.00      | 0.00    | 0.00        | 0.00       | 15.50     | 4.00       | 13.50       | 0.00           | 0.00        | 33.00  |
|                           |        |    |  |         | 0.00     | 0.00       | 0.00      | 0.00    | 0.00        | 0.00       | 11.27     | 2.91       | 9.82        | 0.00           | 0.00        | 24.00  |
|                           |        |    |  | %       | 0.00     | 0.00       | 0.00      | 0.00    | 0.00        | 0.00       | 46.97     | 12.12      | 40.91       | 0.00           | 0.00        | 100.00 |
|                           | 555    | 6  |  | 605     | 13.50    | 2.50       | 12.00     | 0.00    | 13.00       | 15.00      | 23.00     | 5.50       | 26.50       | 0.00           | 5.00        | 88.00  |
|                           |        |    |  |         | 3.68     | 0.68       | 3.27      | 0.00    | 3.55        | 4.09       | 6.27      | 1.50       | 7.23        | 0.00           | 1.36        | 24.00  |
|                           |        |    |  | %       | 15.34    | 2.84       | 13.64     | 0.00    | 14.77       | 17.05      | 26.14     | 6.25       | 30.11       | 0.00           | 5.68        | 100.00 |
|                           | 552    | 7  |  | 705     | 15.00    | 3.00       | 18.00     | 0.00    | 6.50        | 18.00      | 14.50     | 5.00       | 15.50       | 0.00           | 3.00        | 62.50  |
|                           |        |    |  |         | 5.76     | 1.15       | 6.91      | 0.00    | 2.50        | 6.91       | 5.57      | 1.92       | 5.95        | 0.00           | 1.15        | 24.00  |
|                           |        |    |  | %       | 24.00    | 4.80       | 28.80     | 0.00    | 10.40       | 28.80      | 23.20     | 8.00       | 24.80       | 0.00           | 4.80        | 100.00 |
|                           | 550    | 8  |  | 805     | 14.00    | 5.50       | 12.00     | 0.00    | 11.50       | 15.50      | 16.50     | 21.50      | 14.50       | 0.00           | 5.00        | 84.50  |
|                           |        |    |  |         | 3.98     | 1.56       | 3.41      | 0.00    | 3.27        | 4.40       | 4.69      | 6.11       | 4.12        | 0.00           | 1.42        | 24.00  |
|                           |        |    |  | %       | 16.57    | 6.51       | 14.20     | 0.00    | 13.61       | 18.34      | 19.53     | 25.44      | 17.16       | 0.00           | 5.92        | 100.00 |
|                           | 554    | 9  |  | 905     | 12.00    | 3.50       | 12.00     | 0.00    | 9.00        | 15.00      | 26.50     | 3.50       | 0.00        | 0.00           | 21.00       | 75.00  |
|                           |        |    |  |         | 3.84     | 1.12       | 3.84      | 0.00    | 2.88        | 4.80       | 8.48      | 1.12       | 0.00        | 0.00           | 6.72        | 24.00  |
|                           |        |    |  | %       | 16.00    | 4.67       | 16.00     | 0.00    | 12.00       | 20.00      | 35.33     | 4.67       | 0.00        | 0.00           | 28.00       | 100.00 |
|                           | 555    | 10 |  | 1005    | 12.00    | 2.50       | 0.00      | 0.00    | 4.50        | 0.00       | 8.00      | 8.50       | 16.50       | 0.00           | 3.50        | 41.00  |
|                           |        |    |  |         | 7.02     | 1.46       | 0.00      | 0.00    | 2.63        | 0.00       | 4.68      | 4.98       | 9.66        | 0.00           | 2.05        | 24.00  |
|                           |        |    |  | %       | 29.27    | 6.10       | 0.00      | 0.00    | 10.98       | 0.00       | 19.51     | 20.73      | 40.24       | 0.00           | 8.54        | 100.00 |
| Promedio metros           | 511.60 |    |  | tprom.  | 11.50    | 3.75       | 9.50      | 0.00    | 6.25        | 8.35       | 14.30     | 5.65       | 17.75       | 0.00           | 20.45       | 72.75  |
|                           |        |    |  | norm.   | 3.79     | 1.24       | 3.13      | 0.00    | 2.06        | 2.75       | 4.72      | 1.86       | 5.86        | 0.00           | 6.75        | 24.00  |
| promedio real 2015        |        |    |  | %       | 15.81    | 5.15       | 13.06     | 0.00    | 8.59        | 11.48      | 19.66     | 7.77       | 24.40       | 0.00           | 28.11       | 100.0  |

## 2.6 ANÁLISIS COMPARATIVO DE TIEMPOS PLANEADOS CONTRA REALES EN CAMBIOS DE ETAPA, OPORTUNIDADES DE MEJORA

El análisis comparativo para las fases planas se realizó contra los tiempos planeados y en este caso se tomaron en cuenta solo los programas de perforación y los reportes operativos de los 10 pozos realizados durante la campaña 2015.

Los tiempos operativos se fueron reduciendo debido a que con cada pozo perforado se fue ganando experiencia en el área progresivamente y a que los tiempos de diseño se fueran optimizando buscando siempre la mejora continua.

Desde este punto de vista se amplía el estudio hasta los tiempos planos del proceso con objeto de identificar áreas de oportunidad de mejora y así tomar

acciones para optimizar los tiempos planeados o tiempos de diseño, haciendo un comparativo entre los tiempos reales de operación y los tiempos estimados lo cual proporcionan cifras concretas para identificar las áreas donde se debe poner atención

Tabla 14. Comparativo de porcentajes de tiempos reales e identificación de

|             |               | metiendo | cementando | fraguando | cabezal | preventores | escariando | Reg. Geo. | circulando | calibracion | linea de flote | estacionado | total |
|-------------|---------------|----------|------------|-----------|---------|-------------|------------|-----------|------------|-------------|----------------|-------------|-------|
|             | <b>tprom.</b> | 4.75     | 5.00       | 3.55      | 5.75    | 13.20       | 0.00       | 0.60      | 5.65       | 3.35        | 5.90           | 4.25        | 32.95 |
|             | norm.         | 3.46     | 3.64       | 2.59      | 4.19    | 9.61        | 0.00       | 0.44      | 4.12       | 2.44        | 4.30           | 3.10        | 24.00 |
|             | %             | 14.42    | 15.17      | 10.77     | 17.45   | 40.06       | 0.00       | 1.82      | 17.15      | 10.17       | 17.91          | 12.90       | 100.0 |
|             |               |          |            |           |         |             |            |           |            |             |                |             |       |
| PROGRAMADOS | %             | 9.14     | 18.73      | 15.93     | 15.34   | 0.00        | 0.00       | 3.54      | 6.19       | 14.60       | 16.52          | 0.00        | 100.0 |
|             | %             | -5.27    | 3.56       | 5.16      | -2.11   | -40.06      | 0.00       | 1.72      | -10.95     | 4.43        | -1.39          | -12.90      |       |

oportunidades de mejora. Etapa conductora.

Tabla 15. Comparativo de porcentajes de tiempos reales e identificación de

|            |               | metiendo | cementando | fraguando | cabezal | preventores | escariando | Reg. Geo. | circulando | calibracion | linea de flote | estacionado | total |
|------------|---------------|----------|------------|-----------|---------|-------------|------------|-----------|------------|-------------|----------------|-------------|-------|
|            | <b>tprom.</b> | 8.30     | 4.75       | 4.30      | 5.40    | 23.70       | 0.00       | 2.45      | 0.65       | 0.85        | 5.00           | 9.35        | 42.00 |
|            | norm.         | 4.74     | 2.71       | 2.46      | 3.09    | 13.54       | 0.00       | 1.40      | 0.37       | 0.49        | 2.86           | 5.34        | 24.00 |
|            | %             | 19.76    | 11.31      | 10.24     | 12.86   | 56.43       | 0.00       | 5.83      | 1.55       | 2.02        | 11.90          | 22.26       | 100.0 |
|            |               |          |            |           |         |             |            |           |            |             |                |             |       |
| PROGRAMADO | %             | 12.66    | 19.41      | 13.78     | 15.19   | 12.10       | 0.00       | 2.81      | 5.20       | 3.94        | 14.91          | 0.00        | 100.0 |
|            | %             | -7.10    | 8.10       | 3.55      | 2.33    | -44.33      | 0.00       | -3.02     | 3.66       | 1.91        | 3.00           | -22.26      |       |

oportunidades de mejora. Etapa superficial.

Tabla 16. Comparativo de porcentajes de tiempos reales e identificación de oportunidades de mejora. Etapa de producción.

|             |               | metiendo | cementando | fraguando | cabezal | preventores | escariando | Reg. Geo. | circulando | calibracion | linea de flote | estacionado | total |
|-------------|---------------|----------|------------|-----------|---------|-------------|------------|-----------|------------|-------------|----------------|-------------|-------|
|             | <b>tprom.</b> | 11.50    | 3.75       | 9.50      | 0.00    | 6.25        | 8.35       | 14.30     | 5.65       | 17.75       | 0.00           | 20.45       | 72.75 |
|             | norm.         | 3.79     | 1.24       | 3.13      | 0.00    | 2.06        | 2.75       | 4.72      | 1.86       | 5.86        | 0.00           | 6.75        | 24.00 |
|             | %             | 15.81    | 5.15       | 13.06     | 0.00    | 8.59        | 11.48      | 19.66     | 7.77       | 24.40       | 0.00           | 28.11       | 100.0 |
|             |               |          |            |           |         |             |            |           |            |             |                |             |       |
| PROGRAMADOS | %             | 14.18    | 10.94      | 0.00      | 0.00    | 15.30       | 21.18      | 19.15     | 4.05       | 15.20       | 0.00           | 0.00        | 100.0 |
|             | %             | -1.62    | 5.79       | -13.06    | 0.00    | 6.71        | 9.70       | -0.51     | -3.71      | -9.20       | 0.00           | -28.11      |       |



Como se observa en las tablas anteriores la diferencia entre los tiempos programados y los tiempos reales no siempre son favorables, cuando se encuentra que la diferencia es negativa es un indicador de que la operación no se está llevando a cabo normalmente y se cataloga como un área de oportunidad en la cual se debe prestar atención dado que estas son las que generan pérdida de rentabilidad en los proyectos.

- Las áreas de oportunidad dentro de la etapa conductora se relacionan con la instalación de los preventores debido a que un 40% del total del tiempo de la fase plana lo consume esta actividad, dicha desviación se ve reflejada puesto que se están llevando a cabo actividades relacionadas a la instalación de preventores que no están consideradas en el programa detallado de perforación, a su vez estos tiempos de operación al no estar programados crean NPTI's afectando a otras fases de la etapa plana.
- Dentro de la etapa superficial al igual que en la etapa conductora las actividades relacionadas con el manejo de preventores representan un área de oportunidad debido a que un 56.43% del total del tiempo de esta etapa se consume en esta actividad. La desviación entre lo programado y lo real asciende a un 44.33% lo que representa 0.77 días.
- Para la etapa de producción el tiempo de fraguado por pozo para desarrollo de resistencia compresiva del cemento alcanza un promedio de 13.06% lo que significa un tiempo de 0.40 días del total del tiempo de la etapa plana, se observa que para dicha fase de fraguado no se tiene considerado un tiempo en el programa detallado de perforación.

Las acciones para erradicar las desviaciones elevadas en porcentaje y para que estas no generen tiempos invisibles los cuales afectan de manera directa el resto de las fases en las cuales están clasificadas las etapas planas se tienen que ajustar los tiempos estimados en el programa detallado de perforación con base al comparativo promedio real.

## 2.7 LÍMITE TÉCNICO

Con base a la definición de la metodología de límite técnico la cual consiste en llevar a cabo un análisis de tiempos de los pozos de correlación, a fin de identificar el mejor desempeño. Esa información define lo que es posible de alcanzar en pozos futuros.

Esta metodología consiste en restar del tiempo real en que se han perforado los pozos, los tiempos definidos anteriormente como Tiempos Removibles (tiempos no productivos y tiempos invisibles), y las reducciones de tiempos que pueden obtenerse mediante la aplicación de tecnologías emergentes adecuadas.

Para la aplicación de esta metodología es necesario seguir los pasos siguientes:

1. Definir la geometría del pozo a perforar

El primer paso para la aplicación de la metodología de Límite Técnico es definir la arquitectura del pozo que se va a perforar; esto es, el arreglo de las tuberías de revestimiento o geometría del pozo la cual entre otros aspectos, está en función de la profundidad total y los requerimientos de producción. Esta arquitectura queda definida en el proceso de diseño del pozo.

Para una mejor comprensión de este trabajo, se desarrolla un ejemplo de aplicación. Para esto, de la figura anterior se ha seleccionado un pozo con la estructura típica del campo T-C la cual consiste en tres etapas siendo la TR conductora de 13 3/8", TR superficial de 9 7/8" y una TR de producción de 7".

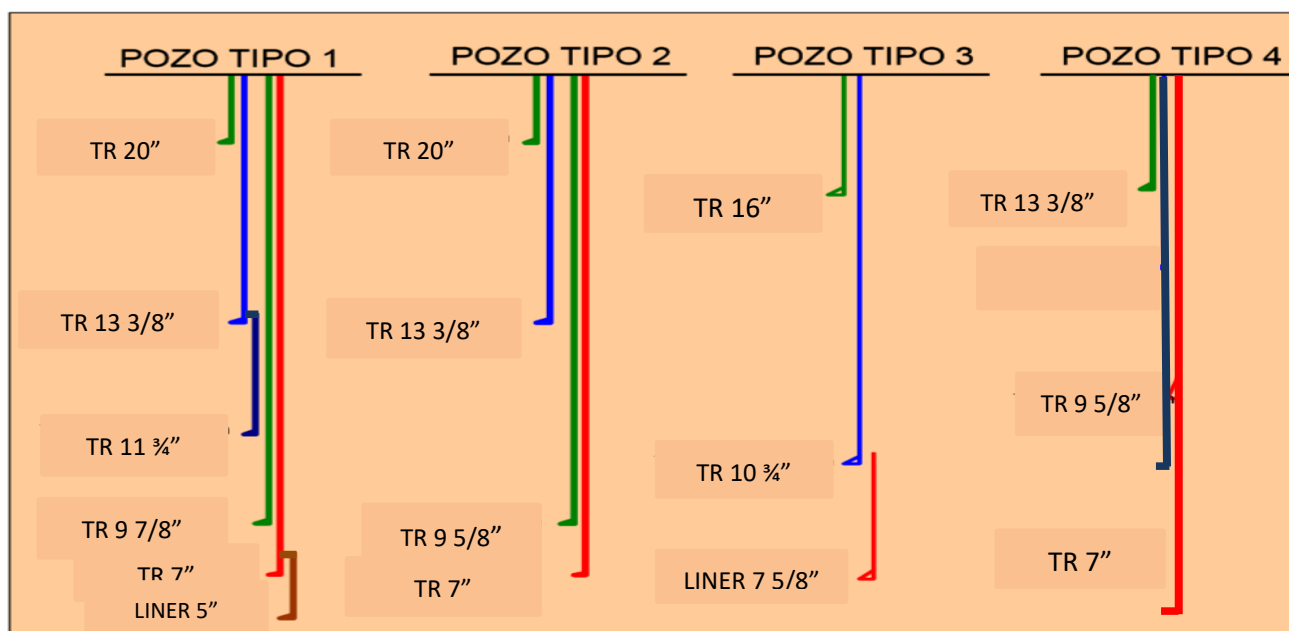


Figura 16. Tipos de arquitecturas de pozos petroleros (ejemplos).

2. Identificar los pozos de correlación

Dependiendo de la arquitectura del pozo a perforar se seleccionan los pozos de correlación que además de ser los más cercanos y recientes del campo tengan características similares: profundidad, diámetros, números de etapas, etc.

Para este ejercicio se toman los diez (10) últimos pozos perforados del campo, estos cuentan con características similares y están apegados a la guía rectora de límite técnico al ser los pozos más recientes perforados en esta área, con los mismos números de etapa, con geometrías similares, profundidades promedio en el mismo objetivo y perforación direccional del pozo.

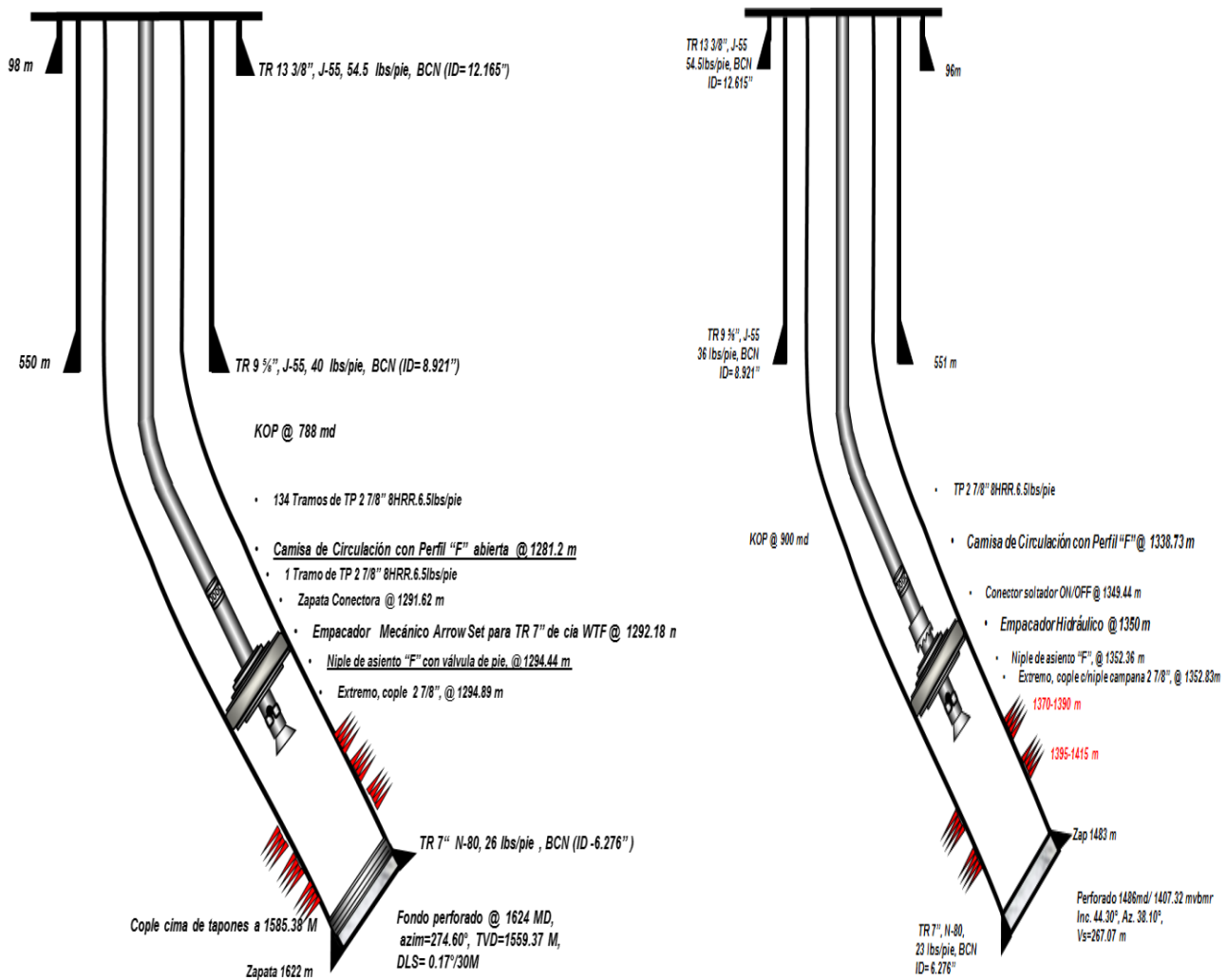


Figura 17. Estados mecánicos de pozos dentro del campo T-C.

### 3. Analizar los tiempos reales por etapa

La perforación de un pozo es un conjunto de actividades globales que para este trabajo se definen como actividades medulares o bien por secciones o etapas, tales como, perforar con barrena de 17 1/2", introducir y cementar TR de 13 3/8", perforar con barrena de 12 1/4", introducir TR de 9 5/8", etc., constituyendo un número determinado de etapas de diseño particular del campo (tabla 17).



Estas etapas se subdividen a su vez en actividades medulares como meter la tubería, circular, perforar para el caso de la etapa de perforación y para el caso de las fases planas algunos ejemplos de las actividades principales son meter TR, cementar, toma de registros, etc.

En este punto se debe profundizar más el análisis estadístico de las operaciones y realizar un ejercicio por etapas y otro por actividades medulares y se seleccionan los mejores tiempos de cada etapa o cada actividad a fin de comparar los resultados que permitan identificar claramente las mejoras.

Tabla 17. Tiempos reales de los 10 pozos encuesta en el campo T-C.

| ETAPA                       | 105          | 205          | 305          | 405          | 505          | 605          | 705          | 805          | 905          | 1005         |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| PERFORAR CON 17 1/2"        | 26.50        | 48.50        | 19.50        | 22.00        | 24.00        | 38.00        | 28.00        | 18.00        | 15.50        | 16.00        |
| METER Y CEMENTAR TR 13 3/8" | 46.00        | 29.00        | 33.00        | 36.00        | 18.50        | 39.00        | 23.50        | 20.00        | 22.50        | 16.50        |
| PERFORAR CON 12 1/4"        | 162.00       | 55.50        | 48.00        | 40.00        | 39.50        | 50.50        | 32.50        | 45.50        | 38.00        | 38.00        |
| METER Y CEMENTAR TR 9 5/8"  | 74.00        | 68.50        | 24.00        | 70.00        | 36.50        | 44.00        | 35.50        | 33.50        | 28.50        | 26.50        |
| PERFORAR CON 8 1/2"         | 250.50       | 287.50       | 278.50       | 124.50       | 126.00       | 159.00       | 121.00       | 147.50       | 126.50       | 136.50       |
| METER Y CEMENTAR TR DE 7"   | 126.00       | 48.00        | 63.50        | 174.00       | 33.00        | 88.00        | 62.50        | 84.50        | 75.00        | 41.00        |
|                             | 685.00       | 537.00       | 466.50       | 466.50       | 277.50       | 418.50       | 303.00       | 349.00       | 306.00       | 274.50       |
| <b>TOTAL EN DIAS</b>        | <b>28.54</b> | <b>22.38</b> | <b>19.44</b> | <b>19.44</b> | <b>11.56</b> | <b>17.44</b> | <b>12.63</b> | <b>14.54</b> | <b>12.75</b> | <b>11.44</b> |

Aplicando la metodología en la siguiente tabla se indican en amarillo los mejores tiempos de cada etapa de los pozos con los cuales se realizó el análisis. Se observa que para la primera etapa el mejor tiempo para perforar con 17 1/2", corresponde al pozo 905, para la introducción y cementación de TR de 13 3/8" el mejor tiempo pertenece al pozo 1005, de la misma forma para las demás etapas se selecciona el mejor tiempo realizado.



Tabla 18. Selección de los mejores tiempos por etapas.

| ETAPA                       | 105         |              |           | 205         |              |           | 305         |              |           | 405         |              |           | 505         |              |           |
|-----------------------------|-------------|--------------|-----------|-------------|--------------|-----------|-------------|--------------|-----------|-------------|--------------|-----------|-------------|--------------|-----------|
|                             | PROFUNDIDAD | DIAS         | ROP M/DIA | PROFUNDIDAD | DIAS         | ROP M/DIA | PROFUNDIDAD | DIAS         | ROP M/DIA | PROFUNDIDAD | DIAS         | ROP M/DIA | PROFUNDIDAD | DIAS         | ROP M/DIA |
| PERFORAR CON 17 1/2"        | 100.00      | 1.10         | 90.57     | 100.00      | 2.02         | 49.48     | 99.00       | 0.81         | 121.85    | 102.00      | 0.92         | 111.27    | 111.00      | 1.00         | 111.00    |
| METER Y CEMENTAR TR 13 3/8" |             | 1.92         |           |             | 1.21         |           |             | 1.38         |           |             | 1.50         |           |             | 0.77         |           |
| PERFORAR CON 12 1/4"        | 450.00      | 6.75         | 66.67     | 450.00      | 2.31         | 194.59    | 450.00      | 2.00         | 225.00    | 450.00      | 1.67         | 270.00    | 550.00      | 1.65         | 334.18    |
| METER Y CEMENTAR TR 9 5/8"  |             | 3.08         |           |             | 2.85         |           |             | 1.00         |           |             | 2.92         |           |             | 1.52         |           |
| PERFORAR CON 8 1/2"         | 1585.00     | 10.44        | 151.86    | 1566.00     | 11.98        | 130.73    | 1558.00     | 11.60        | 134.26    | 1495.00     | 5.19         | 288.19    | 1555.00     | 5.25         | 296.19    |
| METER Y CEMENTAR TR DE 7"   |             | 5.25         |           |             | 2.00         |           |             | 2.65         |           |             | 7.25         |           |             | 1.38         |           |
| <b>TOTAL EN DIAS</b>        |             | <b>28.54</b> |           |             | <b>22.38</b> |           |             | <b>19.44</b> |           |             | <b>19.44</b> |           |             | <b>11.56</b> |           |

| ETAPA                       | 605         |              | 705         |              | 805         |              | 905         |              | 1005        |              |      |              |         |              |        |
|-----------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|------|--------------|---------|--------------|--------|
|                             | PROFUNDIDAD | DIAS         | PROFUNDIDAD | DIAS         | PROFUNDIDAD | DIAS         | PROFUNDIDAD | DIAS         | PROFUNDIDAD | DIAS         |      |              |         |              |        |
| PERFORAR CON 17 1/2"        | 202.00      | 1.58         | 127.58      | 99.00        | 1.17        | 84.86        | 105.00      | 0.75         | 140.00      | 98.00        | 0.65 | 151.74       | 101.00  | 0.67         | 151.50 |
| METER Y CEMENTAR TR 13 3/8" |             | 1.63         |             | 0.98         |             | 0.83         |             | 0.83         |             | 0.94         |      | 0.69         |         | 0.69         |        |
| PERFORAR CON 12 1/4"        | 555.00      | 2.10         | 263.76      | 552.00       | 1.35        | 407.63       | 550.00      | 1.90         | 290.11      | 554.00       | 1.58 | 349.89       | 555.00  | 1.58         | 350.53 |
| METER Y CEMENTAR TR 9 5/8"  |             | 1.83         |             | 1.48         |             | 1.40         |             | 1.40         |             | 1.19         |      | 1.10         |         | 1.10         |        |
| PERFORAR CON 8 1/2"         | 1679.00     | 6.63         | 253.43      | 1596.00      | 5.04        | 316.56       | 1620.00     | 6.15         | 263.59      | 1624.00      | 5.27 | 308.11       | 1621.00 | 5.69         | 285.01 |
| METER Y CEMENTAR TR DE 7"   |             | 3.67         |             | 2.60         |             | 3.52         |             | 3.52         |             | 3.13         |      | 1.71         |         | 1.71         |        |
| <b>TOTAL EN DIAS</b>        |             | <b>17.44</b> |             | <b>12.63</b> |             | <b>14.54</b> |             | <b>12.75</b> |             | <b>11.44</b> |      | <b>11.44</b> |         | <b>11.44</b> |        |

4. Construir la gráfica de tiempos híbridos con los mejores tiempos de cada etapa/actividad

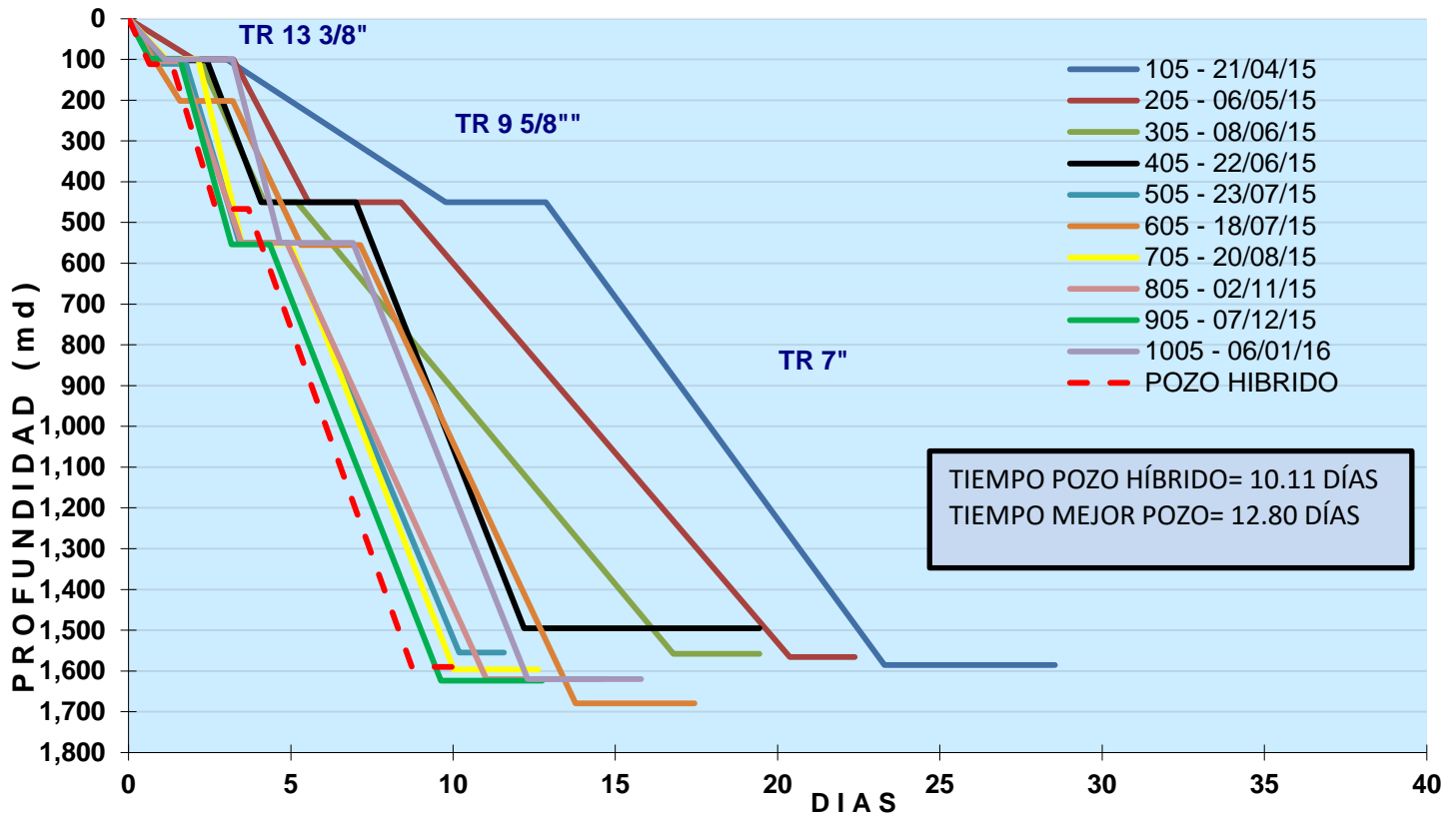
Con la información que se obtiene de las tablas en el punto anterior se construye lo que se denomina como Pozo Híbrido, el cual será en primera instancia el indicador de tiempos para llegar al límite técnico, ya que está diseñado con los mejores tiempos de cada etapa de los diez pozos. Esto se resume en la siguiente tabla y figura.

Tabla 19. Construcción del Pozo Híbrido Figura

| ETAPA                       | POZO HIBRIDO DIAS | MEJORES TIEMPOS | POZO REFERENCIA |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| PERFORAR CON 17 1/2"        | 0.65              | 151.74          | 905             |
| METER Y CEMENTAR TR 13 3/8" | 0.69              |                 |                 |
| PERFORAR CON 12 1/4"        | 1.35              | 407.63          | 705             |
| METER Y CEMENTAR TR 9 5/8"  | 1.00              |                 |                 |
| PERFORAR CON 8 1/2"         | 5.04              | 316.56          | 705             |
| METER Y CEMENTAR TR DE 7"   | 1.38              |                 |                 |
| <b>TOTAL EN DIAS</b>        | <b>10.11</b>      |                 |                 |



## GRÁFICA DE AVANCE DE PERFORACIÓN REAL



18. Gráfica comparativa de tiempos reales contra el pozo híbrido

### 5. Eliminar NPT's y NPTI's

Una vez que se han definido las etapas/actividades que conforman el Pozo Híbrido, en los reportes diarios de operación de los pozos correspondientes se identifican los tiempos perdidos convencionales NPT's (clasificados como problemas y esperas) de cada una de esas etapas. Adicionalmente, se determinan los tiempos perdidos invisibles (NPTI's), los cuales son más difíciles de identificar, cabe mencionar que para identificar dichos tiempos invisibles es necesario tener una estadística precisa de cada actividad ya que están "ocultos" dentro de los tiempos calificados como normales, pero son operaciones donde se invierte más tiempo del que se debería emplear en una actividad normal.

Estos tiempos NPT's y NPTI's se deben restar a los tiempos obtenidos para el Pozo Híbrido y así obtener los tiempos limpios como se muestra a continuación en las siguientes tablas:

Tabla 20. Selección de NPT's y NPTI's para cada etapa.

|                             | 105          |       | 205          |       | 305          |       | 405          |        | 505          |       |
|-----------------------------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|--------|--------------|-------|
| ETAPA                       | DIAS         | PYS   | DIAS         | PYS   | DIAS         | PYS   | DIAS         | PYS    | DIAS         | PYS   |
| PERFORAR CON 17 1/2"        | 1.10         | 8.50  | 2.02         | 10.00 | 0.81         | 0.00  | 0.92         | 0.00   | 1.00         | 0.00  |
| METER Y CEMENTAR TR 13 3/8" | 1.92         | 11.50 | 1.21         | 2.00  | 1.38         | 5.00  | 1.50         | 3.00   | 0.77         | 2.00  |
| PERFORAR CON 12 1/4"        | 6.75         | 98.50 | 2.31         | 7.50  | 2.00         | 6.00  | 1.67         | 0.00   | 1.65         | 1.00  |
| METER Y CEMENTAR TR 9 5/8"  | 3.08         | 23.50 | 2.85         | 24.50 | 1.00         | 1.50  | 2.92         | 25.00  | 1.52         | 4.50  |
| PERFORAR CON 8 1/2"         | 10.44        | 28.00 | 11.98        | 58.00 | 11.60        | 51.00 | 5.19         | 2.00   | 5.25         | 11.00 |
| METER Y CEMENTAR TR DE 7"   | 5.25         | 8.50  | 2.00         | 8.00  | 2.65         | 1.00  | 7.25         | 149.50 | 1.38         | 0.00  |
| <b>TOTAL EN DIAS</b>        | <b>28.54</b> |       | <b>22.38</b> |       | <b>19.44</b> |       | <b>19.44</b> |        | <b>11.56</b> |       |

|                             | 605          |      | 705          |      | 805          |      | 905          |       | 1005         |      |
|-----------------------------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|-------|--------------|------|
| ETAPA                       | DIAS         | PYS  | DIAS         | PYS  | DIAS         | PYS  | DIAS         | PYS   | DIAS         | PYS  |
| PERFORAR CON 17 1/2"        | 1.58         | 0.00 | 1.17         | 0.00 | 0.75         | 0.00 | 0.65         | 2.00  | 0.67         | 0.00 |
| METER Y CEMENTAR TR 13 3/8" | 1.63         | 7.00 | 0.98         | 4.50 | 0.83         | 2.50 | 0.94         | 3.00  | 0.69         | 2.00 |
| PERFORAR CON 12 1/4"        | 2.10         | 3.50 | 1.35         | 0.50 | 1.90         | 6.50 | 1.58         | 0.50  | 1.58         | 1.00 |
| METER Y CEMENTAR TR 9 5/8"  | 1.83         | 3.00 | 1.48         | 7.50 | 1.40         | 2.50 | 1.19         | 0.50  | 1.10         | 1.00 |
| PERFORAR CON 8 1/2"         | 6.63         | 3.00 | 5.04         | 4.50 | 6.15         | 7.00 | 5.27         | 6.50  | 5.69         | 3.00 |
| METER Y CEMENTAR TR DE 7"   | 3.67         | 5.00 | 2.60         | 3.00 | 3.52         | 5.00 | 3.13         | 21.00 | 1.71         | 3.50 |
| <b>TOTAL EN DIAS</b>        | <b>17.44</b> |      | <b>12.63</b> |      | <b>14.54</b> |      | <b>12.75</b> |       | <b>11.44</b> |      |

Una vez identificados los tiempos no productivos más pequeños de cada etapa se procede a restar al Pozo Híbrido y así seguir complementando los tiempos de nuestro pozo.

Tabla 21. Pozo Híbrido con tiempos limpios.

|                             | <b>LÍMITE TÉCNICO</b> |
|-----------------------------|-----------------------|
| ETAPA                       | <b>DIAS</b>           |
| PERFORAR CON 17 1/2"        | <b>0.65</b>           |
| METER Y CEMENTAR TR 13 3/8" | <b>0.61</b>           |
| PERFORAR CON 12 1/4"        | <b>1.35</b>           |
| METER Y CEMENTAR TR 9 5/8"  | <b>0.98</b>           |
| PERFORAR CON 8 1/2"         | <b>4.96</b>           |
| METER Y CEMENTAR TR DE 7"   | <b>1.38</b>           |
| <b>TOTAL EN DIAS</b>        | <b>9.92</b>           |

Una vez eliminados los tiempos de fallas (P) y esperas (S) el resultado es el límite técnico al cual solo se le debe restar el tiempo ahorrado por tecnologías aplicadas



en el proceso. Es importante hacer el comparativo del pozo híbrido donde los tiempos son de 10.11 contra el límite técnico que da como resultado 9.92 días.

6. Seleccionar innovaciones tecnológicas aplicadas al proceso de perforación.

En este punto se lleva a cabo un análisis de la problemática presentada en los pozos y se identifica si existe alguna tecnología que deba aplicarse a fin de reducir los tiempos de perforación.

Un punto importante a resaltar es que se debe evaluar el costo-beneficio de las aplicaciones tecnológicas propuestas, siempre buscando que estas tengan un valor agregado en la economía del proyecto.

7. Obtener Límite Técnico

Los valores estimados de reducción de tiempos con las aplicaciones tecnológicas son restados del Pozo Híbrido de acuerdo a la etapa en que se esté considerando su aplicación, con lo cual se obtiene lo que se conoce como Límite Técnico.

Una vez que se obtiene el Límite Técnico, se efectúan los ajustes por profundidad de las etapas del pozo programado, en este ejercicio se obtiene el promedio de las profundidades de cada etapa de los diez pozos estudiados, se toma en cuenta el mejor ritmo de penetración de cada etapa para delimitar objetivos alcanzables y tener una mejora continua.

En nuestro ejercicio para el “Pozo Híbrido” se tiene que considerar asentar la TR de 13 3/8” a 112m, la TR de 9 5/8” a 467m y la TR de 7” a 1590m. El Límite Técnico se muestra en la tabla 22 y en la figura 18.

Tabla 22. Construcción de Límite Técnico y definición de la profundidad

|                             | <b>LÍMITE TÉCNICO</b> |                        |                    |
|-----------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|
|                             | <b>POZO SIN PYS</b>   | <b>MEJORES TIEMPOS</b> | <b>PROFUNDIDAD</b> |
| <b>ETAPA</b>                | <b>DÍAS</b>           |                        | <b>M</b>           |
| PERFORAR CON 17 1/2"        | <b>0.65</b>           | <b>151.74</b>          | <b>112.00</b>      |
| METER Y CEMENTAR TR 13 3/8" | <b>0.61</b>           |                        |                    |
| PERFORAR CON 12 1/4"        | <b>1.35</b>           | <b>407.63</b>          | <b>467.00</b>      |
| METER Y CEMENTAR TR 9 5/8"  | <b>0.98</b>           |                        |                    |
| PERFORAR CON 8 1/2"         | <b>4.96</b>           | <b>316.56</b>          | <b>1590.00</b>     |
| METER Y CEMENTAR TR DE 7"   | <b>1.38</b>           |                        |                    |
|                             |                       |                        |                    |
| <b>TOTAL EN DIAS</b>        | <b>9.92</b>           |                        |                    |

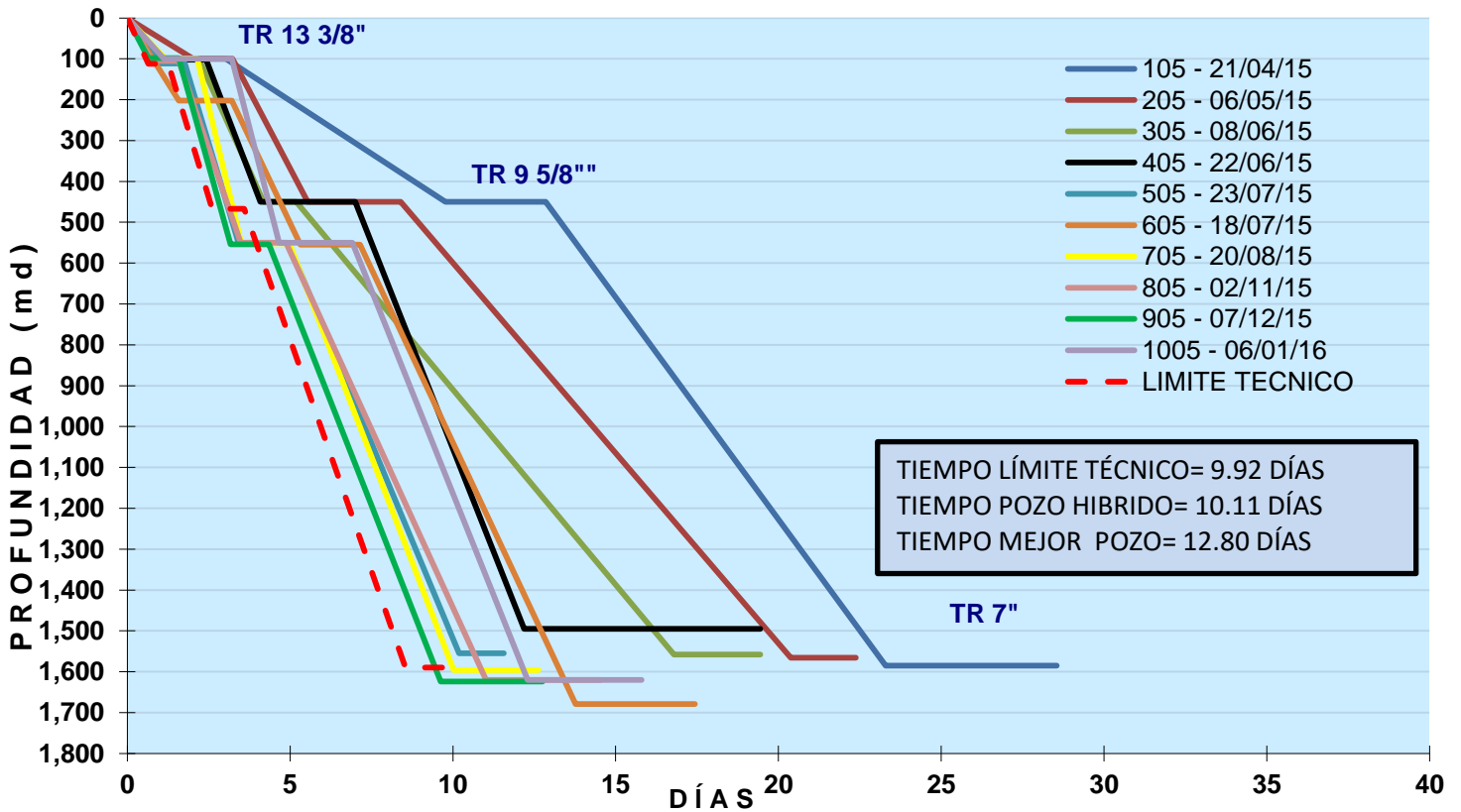


Figura 19. Comparativo de tiempos reales contra el Límite Técnico

## 2.8 PROPUESTA DE TIEMPOS PLANEADOS

La decisión de obtener un límite técnico desde las actividades medulares surge por la inquietud de comparar estos tiempos con los obtenidos con base a la guía para lo cual los resultados fueron realistas, los tiempos para diseño del ya mencionado límite técnico son más eficientes y los tiempos improductivos son más fáciles de identificar gracias a que ya vienen discretizados en la categoría “estacionado”, se despreciaron algunos tiempos que a pesar de ser los más bajos de cada actividad no se toman en cuenta por que se salen del estándar de duración para dicha actividad, por esta razón se resaltan en rojo y se toma el siguiente valor del pozo más eficaz.

En el sentido de buscar siempre la mejora continua esta metodología se puede emplear para buscar un reto más grande dentro de la industria petrolera en México ya que este estudio no está limitado al campo T-C, al contrario, es aplicable a cualquier tipo de campo sea en regiones marinas, lacustres o terrestres.



En la figura 20 se observa cómo se genera un cambio en el límite técnico generado con base en la guía y el diseñado con base al mejor tiempo de las actividades medulares siendo este el más bajo en tiempo.

Se observa que en el método de diseño por actividades medulares se toman en cuenta los ritmos de penetración más óptimos que se encuentran entre los diez (10) pozos estudiados, esto con la intención de optimizar el diseño basado en metas reales.

Quizás a simple vista la mejora no sea notoria ya que entre el límite técnico por etapas y el diseño por actividades sea alrededor de 8 puntos porcentuales en este ejercicio. Pero si esto lo extrapolamos a pozos profundos o de región marina donde la planeación va por encima de los 100 días, este 8% generaría un impacto significativo dentro de los costos y rentabilidad de los proyectos.



Tabla 23. Selección de los mejores tiempos de las actividades medulares

| ETAPAS                      | ACTIVIDAD ESPECIFICA | 105         | 205    | 305   | 405    | 505    | 605   | 705   | 805   | 905    | 1005        | LÍMITE TEC. |
|-----------------------------|----------------------|-------------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------------|-------------|
|                             |                      | HORAS       | HORAS  | HORAS | HORAS  | HORAS  | HORAS | HORAS | HORAS | HORAS  | HORAS       | HORAS       |
| PERFORAR CON 17 1/2"        | ESTACIONADO          | 8.50        | 10.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 2.00   | 0.00        | 0.00        |
|                             | SUPERFICIE           | 3.30        | 4.00   | 4.50  | 3.00   | 6.00   | 2.00  | 3.00  | 2.00  | 0.50   | 2.00        | 0.50        |
|                             | CIRCULANDO           | 2.50        | 2.50   | 0.50  | 5.00   | 2.50   | 0.50  | 1.00  | 3.00  | 0.50   | 2.00        | 0.50        |
|                             | REPASANDO            | 1.50        | 3.50   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00        | 0.00        |
|                             | SACANDO              | 3.50        | 5.00   | 1.50  | 6.00   | 4.00   | 5.00  | 2.50  | 3.50  | 2.50   | 3.50        | 1.50        |
|                             | METIENDO             | 3.00        | 3.50   | 0.00  | 1.00   | 1.50   | 5.00  | 2.50  | 1.50  | 1.00   | 1.50        | 1.00        |
| PERFORANDO                  | 4.20                 | 20.00       | 13.00  | 7.00  | 10.00  | 25.50  | 19.00 | 8.00  | 9.00  | 7.00   | 4.20        |             |
| METER Y CEMENTAR TR 13 3/8" | METIENDO             | 4.00        | 3.00   | 4.00  | 6.00   | 6.00   | 5.50  | 5.00  | 4.50  | 5.00   | 4.50        | 3.00        |
|                             | CEMENTANDO           | 3.00        | 4.50   | 6.00  | 5.00   | 5.50   | 6.00  | 5.50  | 6.50  | 3.50   | 4.50        | 3.00        |
|                             | FRAGUANDO            | 4.00        | 8.00   | 8.00  | 8.00   | 4.50   | 3.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00        | 3.00        |
|                             | CABEZAL              | 4.50        | 4.00   | 6.50  | 4.00   | 6.00   | 5.50  | 8.00  | 7.00  | 7.00   | 5.00        | 4.00        |
|                             | PREVENTORES          | 26.00       | 13.00  | 12.00 | 12.00  | 5.00   | 24.00 | 12.00 | 10.00 | 11.00  | 7.00        | 5.00        |
|                             | ESCARIANDO           | 0.00        | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00        | 0.00        |
|                             | REGISTROS GEOFISICOS | 0.00        | 0.00   | 6.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00        | 0.00        |
|                             | CIRCULANDO           | 45.00       | 0.00   | 1.50  | 3.00   | 1.50   | 0.00  | 0.50  | 1.00  | 3.00   | 1.00        | 0.00        |
|                             | CALIBRACION          | 3.00        | 4.50   | 4.00  | 5.00   | 4.00   | 0.00  | 3.50  | 3.50  | 2.50   | 3.50        | 0.00        |
|                             | LINEA DE FLOTE       | 6.00        | 9.50   | 4.50  | 13.00  | 6.00   | 8.00  | 3.00  | 3.00  | 3.00   | 3.00        | 3.00        |
|                             | ESTACIONADO          | 11.50       | 2.00   | 5.00  | 3.00   | 2.00   | 7.00  | 4.50  | 2.50  | 3.00   | 2.00        | 2.00        |
|                             | PERFORAR CON 12 1/4" | ESTACIONADO | 98.54  | 7.50  | 6.00   | 0.00   | 1.00  | 3.50  | 0.50  | 6.50   | 0.50        | 1.00        |
| SUPERFICIE                  |                      | 7.00        | 4.50   | 2.50  | 8.00   | 4.50   | 7.00  | 3.00  | 2.50  | 4.00   | 3.00        | 2.50        |
| CIRCULANDO                  |                      | 7.00        | 6.50   | 3.00  | 5.50   | 4.00   | 3.00  | 2.50  | 3.50  | 4.00   | 3.50        | 2.50        |
| REPASANDO                   |                      | 0.00        | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00        | 0.00        |
| SACANDO                     |                      | 13.00       | 5.50   | 11.50 | 6.00   | 6.50   | 9.50  | 4.50  | 6.50  | 7.50   | 7.00        | 4.50        |
| METIENDO                    |                      | 6.00        | 4.50   | 1.50  | 2.50   | 1.50   | 4.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00        | 1.50        |
| PERFORANDO                  | 30.50                | 27.00       | 23.50  | 18.00 | 22.00  | 23.50  | 22.00 | 26.50 | 22.00 | 23.50  | 18.00       |             |
| METER Y CEMENTAR TR 9 5/8"  | METIENDO             | 7.00        | 9.00   | 7.00  | 9.00   | 9.00   | 7.50  | 11.00 | 6.50  | 8.50   | 8.50        | 6.50        |
|                             | CEMENTANDO           | 2.50        | 4.00   | 3.00  | 10.00  | 4.50   | 3.00  | 5.00  | 5.50  | 5.50   | 4.50        | 2.50        |
|                             | FRAGUANDO            | 5.00        | 0.00   | 0.00  | 13.00  | 0.00   | 8.00  | 2.00  | 5.00  | 5.00   | 5.00        | 2.00        |
|                             | CABEZAL              | 2.50        | 4.50   | 0.00  | 9.00   | 4.00   | 2.50  | 2.00  | 12.00 | 9.00   | 8.50        | 2.00        |
|                             | PREVENTORES          | 18.50       | 33.00  | 20.50 | 36.00  | 26.00  | 17.00 | 24.00 | 22.50 | 21.00  | 18.50       | 17.00       |
|                             | ESCARIANDO           | 0.00        | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00        | 0.00        |
|                             | REGISTROS GEOFISICOS | 0.00        | 8.00   | 0.00  | 4.00   | 0.00   | 12.50 | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00        | 0.00        |
|                             | CIRCULANDO           | 2.50        | 0.00   | 0.00  | 2.00   | 0.00   | 2.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00        | 0.00        |
|                             | CALIBRACION          | 0.00        | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 8.50  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00        | 0.00        |
|                             | LINEA DE FLOTE       | 8.50        | 3.00   | 2.00  | 3.00   | 6.00   | 1.00  | 4.00  | 8.50  | 7.00   | 7.00        | 3.00        |
|                             | ESTACIONADO          | 23.50       | 24.50  | 1.50  | 25.00  | 4.50   | 3.00  | 7.50  | 2.50  | 0.50   | 1.00        | 0.50        |
|                             | PERFORAR CON 8"      | ESTACIONADO | 28.00  | 58.00 | 51.00  | 2.00   | 11.00 | 3.00  | 4.50  | 7.00   | 6.50        | 3.00        |
| SUPERFICIE                  |                      | 5.00        | 15.00  | 11.50 | 11.00  | 11.50  | 8.00  | 7.50  | 8.00  | 8.00   | 8.00        | 5.00        |
| CIRCULANDO                  |                      | 17.00       | 16.00  | 11.00 | 5.00   | 18.00  | 16.50 | 5.50  | 18.00 | 4.00   | 3.50        | 3.50        |
| REPASANDO                   |                      | 0.00        | 12.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 6.50  | 0.00   | 0.00        | 0.00        |
| SACANDO                     |                      | 19.00       | 27.50  | 9.00  | 10.50  | 13.50  | 13.00 | 12.00 | 9.00  | 13.50  | 14.50       | 9.00        |
| METIENDO                    |                      | 16.00       | 13.00  | 6.00  | 3.50   | 5.00   | 6.50  | 3.50  | 5.00  | 5.00   | 5.00        | 3.50        |
| PERFORANDO                  | 165.50               | 146.00      | 190.00 | 92.50 | 67.00  | 112.00 | 88.00 | 94.00 | 89.50 | 102.50 | 67.00       |             |
| METER Y CEMENTAR TR 7"      | METIENDO             | 10.50       | 11.00  | 14.00 | 13.00  | 0.00   | 13.50 | 15.00 | 14.00 | 12.00  | 12.00       | 10.50       |
|                             | CEMENTANDO           | 4.00        | 6.00   | 6.00  | 4.50   | 0.00   | 2.50  | 3.00  | 5.50  | 3.50   | 2.50        | 2.50        |
|                             | FRAGUANDO            | 0.00        | 13.00  | 11.50 | 16.50  | 0.00   | 12.00 | 18.00 | 12.00 | 12.00  | 0.00        | 0.00        |
|                             | CABEZAL              | 0.00        | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00        | 0.00        |
|                             | PREVENTORES          | 3.50        | 4.00   | 4.50  | 6.00   | 0.00   | 13.00 | 6.50  | 11.50 | 9.00   | 4.50        | 3.50        |
|                             | ESCARIANDO           | 0.00        | 6.00   | 14.00 | 0.00   | 0.00   | 15.00 | 18.00 | 15.50 | 15.00  | 0.00        | 0.00        |
|                             | REGISTROS GEOFISICOS | 11.00       | 12.00  | 9.00  | 7.00   | 15.50  | 23.00 | 14.50 | 16.50 | 26.50  | 8.00        | 7.00        |
|                             | CIRCULANDO           | 1.50        | 4.50   | 2.50  | 0.00   | 4.00   | 5.50  | 5.00  | 21.50 | 3.50   | 8.50        | 1.50        |
|                             | CALIBRACION          | 33.50       | 13.50  | 32.50 | 11.50  | 13.50  | 26.50 | 15.50 | 14.50 | 0.00   | 16.50       | 11.50       |
|                             | LINEA DE FLOTE       | 0.00        | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00        | 0.00        |
|                             | ESTACIONADO          | 8.50        | 8.00   | 1.00  | 149.50 | 0.00   | 5.00  | 3.00  | 5.00  | 21.00  | 3.50        | 0.00        |
|                             |                      |             |        |       |        |        |       |       |       |        |             | TOTAL (HR)  |
|                             |                      |             |        |       |        |        |       |       |       |        | TOTAL(DIAS) | 9.15        |

## GRÁFICA DE AVANCE DE PERFORACIÓN

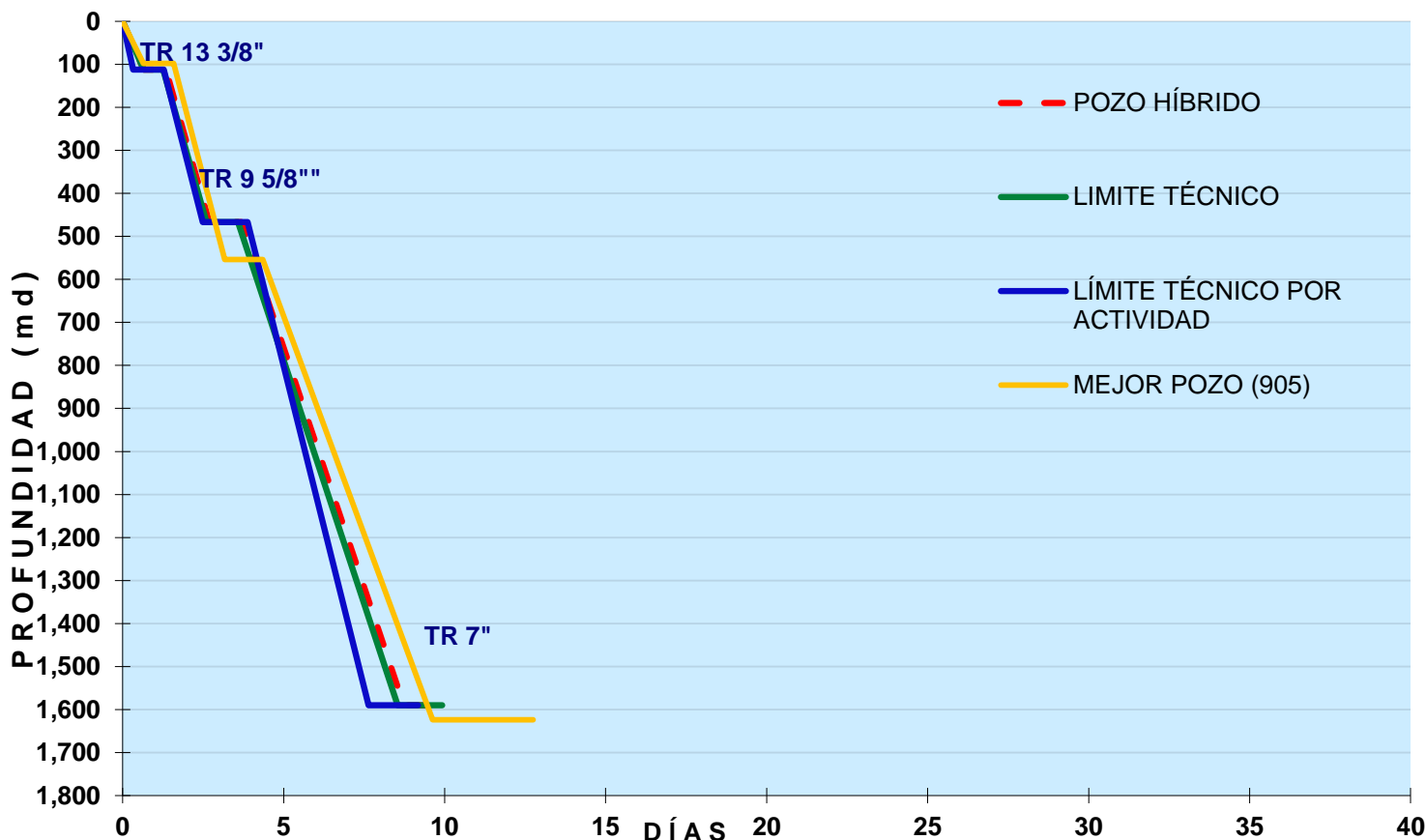


Figura 20. Comparativo del Límite Técnico (guía) contra Límite Técnico (propuesto)

Tabla 24. Comparativo de tiempos pozo Híbrido, Límite Técnico y Límite Técnico por actividades medulares

| CONTROL DE TIEMPOS            |                  |       |      |          |                |      |          |                               |                  |       |       |        |          |
|-------------------------------|------------------|-------|------|----------|----------------|------|----------|-------------------------------|------------------|-------|-------|--------|----------|
| POZO HÍBRIDO                  |                  |       |      |          | LIMITE TÉCNICO |      |          | L.T. POR ACTIVIDADES          |                  |       |       |        |          |
| TR                            | ACTIVIDAD        | PROF. | DIAS | D. ACUM. | PROF.          | DIAS | D. ACUM. | TR                            | ACTIVIDAD        | PROF. | HORAS | DIAS   | D. ACUM. |
| 13 3/8"                       | INICIO           | 0     | 0    | 0        | 0              | 0    | 0        | 13 3/8"                       | INICIO           | 0     | 0.00  | 0      | 0        |
|                               | PERFORAR         | 112   | 0.65 | 0.65     | 112            | 0.65 | 0.65     |                               | PERFORAR         | 112   | 7.70  | 0.32   | 0.32     |
|                               | CAMBIO DE ETAPA  | 112   | 0.69 | 1.34     | 112            | 0.61 | 1.26     |                               | CAMBIO DE ETAPA  | 112   | 23.00 | 0.96   | 1.28     |
| 9 5/8"                        | PERFORAR         | 467   | 1.35 | 2.69     | 467            | 1.35 | 2.61     | 9 5/8"                        | PERFORAR         | 467   | 29.00 | 1.21   | 2.49     |
|                               | CAMBIO DE ETAPA  | 467   | 1.00 | 3.69     | 467            | 0.98 | 3.59     |                               | CAMBIO DE ETAPA  | 467   | 33.50 | 1.40   | 3.88     |
| 7"                            | PERFORAR         | 1,590 | 5.04 | 8.73     | 1,590          | 4.96 | 8.54     | 7"                            | PERFORAR         | 1,590 | 90.00 | 3.75   | 7.63     |
|                               | CAMBIO DE ETAPA  | 1,590 | 1.38 | 10.11    | 1,590          | 1.38 | 9.92     |                               | CAMBIO DE ETAPA  | 1,590 | 36.50 | 1.52   | 9.15     |
|                               | PERFORAR         |       |      | 10.11    |                |      | 9.92     |                               | PERFORAR         |       |       | 0.00   | 9.15     |
|                               | CAMBIO DE ETAPA  |       |      | 10.11    |                |      | 9.92     |                               | CAMBIO DE ETAPA  |       |       | 0.00   | 9.15     |
|                               | PERFORAR         |       |      | 10.11    |                |      | 9.92     |                               | PERFORAR         |       |       | 0.00   | 9.15     |
|                               | CAMBIO DE ETAPA  |       |      | 10.11    |                |      | 9.92     |                               | CAMBIO DE ETAPA  |       |       | 0.00   | 9.15     |
|                               | PERFORAR         |       |      | 10.11    |                |      | 9.92     |                               | PERFORAR         |       |       | 0.00   | 9.15     |
|                               | TERMINO DE PERF. |       |      | 10.11    |                |      | 9.92     |                               | TERMINO DE PERF. |       |       | 0.00   | 9.15     |
| TOTAL DE DÍAS                 |                  |       |      | 10.11    |                |      | 9.92     | TOTAL DE DÍAS                 |                  |       |       | 9.15   |          |
| METROS POR DÍAS (PERFORACIÓN) |                  |       |      | 157.27   |                |      | 160.23   | METROS POR DÍAS (PERFORACIÓN) |                  |       |       | 173.69 |          |





## CONCLUSIONES

Los resultados del análisis efectuado por etapa indican que se cuenta con un porcentaje de eficiencia del 52.38% en las tres etapas específicas de perforación del macro proceso de siete (7) etapas para los pozos del campo; cabe mencionar que los mejores desempeños se tienen en la etapa del agujero de producción y las etapas conductora y superficial ofrecen importantes oportunidades de mejora con valores de 48.49 y 43.40 % respectivamente, en relación con la meta de 56%.

Para las etapas planas las desviaciones más significativas están representadas por tiempos que no se están considerando dentro del programa detallado de perforación; no obstante, en el desarrollo operativo se consume tiempo en dichas actividades, los casos que resaltan son los del manejo de preventores dentro de las etapas conductora y superficial, representando más de un día de tiempo y representando así tiempos invisibles agregados a las fases restantes.

Un punto importante es que con el paso del tiempo se fueron reduciendo los tiempos reales en las operaciones lo cual obligó a disminuir los tiempos de diseño y optimizar los programas de perforación.

Se observa una disminución de tiempos desde el primer pozo perforado al último de abril del 2015 hasta enero el 2016, lo que significa que se han capitalizado importantes oportunidades de mejora tales como la optimización en los ritmos de penetración de cada etapa, la implementación de tecnología al implementar cabezas rotatorias, esto genera un cambio positivo en los tiempos de diseño de pozos.

El límite técnico propuesto con base a las actividades medulares, denominado en este trabajo límite técnico por actividad, resulta más eficiente debido a que toma como referencia los mejores tiempos de cada actividad medular y plantea una meta más ambiciosa en la búsqueda para mejorar el proceso.



## RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar el límite técnico de los proyectos a futuro con base a las actividades medulares identificadas a fin de lanzar un reto ambicioso y a su vez alcanzable; es decir Límite Técnico por actividades medulares. Como se determina en este análisis los tiempos con este procedimiento dan como resultado tiempos más precisos y están entre un 8% y 10% de mejora respecto al proceso de estimación de límite técnico convencional.

Las ventajas de este trabajo es que el análisis no está restringido a un campo o tipo de yacimiento en específico; por el contrario, se puede llevar a cabo en cualquier tipo de pozo, campo o yacimiento generando una contribución importante en la rentabilidad de los proyectos.



## ANEXOS

- Figura 1. Ciclo de vida de los campos petroleros en México. PAG.8
- Figura 2. Localización geográfica del campo T-C. PAG. 10
- Tabla 1. Columna estratigráfica tipo del campo T-C. PAG. 11
- Figura 3. Sección transversal esquemática de la Cuenca Tampico-Misantla (González y Holguín, 1991). PAG.12
- Figura 4. Plan estructural y elevación de la formación KTI. PAG. 12
- Figura 5. Clasificación de las tuberías de revestimiento. PAG. 15
- Figura 6. Clasificación de pozos en base a su trayectoria. PAG. 18
- Figura 7. Carta de selección de tuberías de revestimiento y diámetros de barrena (Oil & Gas Magazine, Octubre 1978). PAG. 19
- Figura 8. Proceso del proyecto basado en la metodología VCDSE. PAG. 20
- Figura 9. Nombres equivalentes de las fases en la Metodología FEL. PAG. 22
- Figura 10. La Metodología FEL y sus fases para el diseño de proyectos. PAG 23
- Figura 11. Conceptos fundamentales de la metodología FEL. PAG. 24
- Figura 12. Estimación de costos. PAG. 26
- Figura 13. Relación típica de valor vs costos en proyectos asociados a la metodología FEL. PAG. 27
- Figura 14. Límite Técnico y su impacto en los tiempos de perforación. PAG. 29
- Tabla 2. Actividades medulares de la fase de perforación en el desarrollo de un pozo. PAG. 31
- Tabla 3. Tiempos reales de la etapa conductora 13 3/8". PAG. 32
- Tabla 4. Tiempos reales de la etapa superficial de 9 5/8". PAG. 33
- Tabla 5. Tiempos reales de la etapa de producción de 7". PAG. 33
- Los tiempos de cada etapa están representados en porcentajes utilizando fórmulas para normalizar a las 24 horas al día todos los tiempos registrados de cada pozo.

$$\% \text{ de normalizacion a 24hrs al día} = \frac{\text{tiempo registrado real} * 24}{\text{total de tiempo de cada pozo}}$$



- Una vez obtenida la normalización se expresan los tiempos en porcentajes totales de los diez pozos encuestados.

$$\% \text{ general de cada actividad} = \frac{\% \text{ de normalización a 24hrs al día}}{24} * 100$$

Tabla 6. Comparativo de porcentaje promedio de tiempos reales en la etapa conductora contra tiempos alcanzados en el ejercicio 2016. PAG. 34

Tabla 7. Comparativo de porcentaje promedio de tiempos reales en la etapa superficial contra tiempos alcanzados en el ejercicio 2016. PAG. 34

Tabla 8. Comparativo de porcentaje promedio de tiempos reales en la etapa conductora contra tiempos alcanzados en el ejercicio 2016. PAG.35

Figura 15. Gráfica de resultados por etapa en comparación con el reto para el año 2017. PAG.36

Tabla 9. Resumen comparativo de tiempos promedio de las etapas de perforación. PAG.37

Tabla 10. Clasificación de actividades medulares en las fases planas. PAG. 38

Tabla 11. Tiempos reales de la etapa conductora 13 3/8". PAG. 39

Tabla 12 Tiempos reales de la etapa superficial 9 5/8". PAG. 39

Tabla 13 Tiempos reales de la etapa de producción 7". PAG.40

Tabla 14. Comparativo de porcentajes de tiempos reales e identificación de oportunidades de mejora. Etapa conductora. PAG. 41

Tabla 15. Comparativo de porcentajes de tiempos reales e identificación de oportunidades de mejora. Etapa superficial. PAG.41

Tabla 16. Comparativo de porcentajes de tiempos reales e identificación de oportunidades de mejora. Etapa de producción. PAG. 41

Figura 16. Tipos de arquitecturas de pozos petroleros. PAG.43

Figura 17. Estados mecánicos de pozos dentro del campo T-C. PAG.44

Tabla 17. Tiempos reales de los 10 pozos encuesta en el campo T-C. PAG. 45

Tabla 18. Selección de los mejores tiempos y ritmos de penetración. PAG. 46



Tabla 19. Construcción del Pozo Híbrido. PAG. 46

Figura 18. Gráfica comparativa de tiempos reales contra el pozo híbrido. PAG. 47

Tabla 20. Selección de NPT's y NPTI's para cada etapa. PAG. 48

Tabla 21. Pozo Híbrido con tiempos limpios. PAG. 48

Tabla 22. Construcción de Límite Técnico y definición de la profundidad. PAG. 49

Figura 19. Gráfico comparativo de tiempos reales contra el Límite Técnico PAG.50

Tabla 23. Selección de los mejores tiempos de las actividades medula. PAG. 52

Figura 20. Gráfica comparativa del Límite Técnico (guía) contra Límite Técnico (propuesto). PAG. 53

Tabla 24. Comparativo de tiempos pozo Híbrido, Límite Técnico y Límite Técnico por actividades medulares. PAG. 53

## **GLOSARIO DE ABREVIATURAS**

NPT's - tiempos no productivos

NPTI'S - tiempos no productivos invisibles

KPI's – indicadores clave de desempeño (Key Performance Indicators)

ROP – velocidad de perforación

FEL – Metodología VCD por sus siglas en ingles “Front End Loading”

VCD – visualización, conceptualización y definición

ECD – Densidad Equivalente de Circulación



## BIBLIOGRAFÍA

1. Petróleos Mexicanos. PEMEX Exploración y Producción. Documento Rector para la aplicación de la Metodología VCDSE de pozos. México, 2010.
2. Petróleos Mexicanos. PEMEX Exploración y Producción. Guía Operativa para el diseño de intervenciones a pozos aplicando la Metodología VCDSE. México, 2015.
3. Petróleos Mexicanos. PEMEX Exploración y Producción. Guía VCD PEP. México, 2015.
4. Petróleos Mexicanos. PEMEX Exploración y Producción. Documentación y Dictamen Técnico de Proyectos de Explotación, etapa de Visualización. México, 2010.
5. Petróleos Mexicanos. PEMEX Exploración y Producción. Documentación y Dictamen Técnico de Proyectos de Explotación, etapa de Conceptualización. México, 2012.
6. Petróleos Mexicanos. PEMEX Exploración y Producción. Documentación y Dictamen Técnico de Proyectos de Explotación, etapa de Definición. México, 2012.