

Trabajo Especial de Grado

EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LAS ACTIVIDADES NO PRODUCTIVAS Y SUS TIEMPOS ASOCIADOS EN LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN EN LAS ÁREAS SAN TOMÉ, PUNTA DE MATA, ANACO Y MATURÍN

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al Título de
Ingeniero de Petróleo
Por la Br. Rivas J, Jormi M

Caracas, Abril 2003

Trabajo Especial de Grado

EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LAS ACTIVIDADES NO PRODUCTIVAS Y SUS TIEMPOS ASOCIADOS EN LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN EN LAS ÁREAS SAN TOMÉ, PUNTA DE MATA, ANACO Y MATURÍN

Tutor Académico: Ing. Luis Norberto Bueno

Tutor Industrial: Lic. Javier Ramírez

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al Título de
Ingeniero de Petróleo
Por la Br Rivas J, Jormi M

Caracas, Abril 2002

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen María Auxiliadora...

A mis padres, Miriam y Jorge, a mi abuelita Nery y a mi hermana Jorenmi...

A Elvis, mi Vito, donde quiera que te encuentres...

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen María Auxiliadora, por llenarme de sabiduría para aceptar sus designios, por darme la fuerza necesaria para afrontarlos y mostrarme el camino para continuar.

A mis padres Miriam y Jorge, por brindarme su amor y su apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida, por su paciencia y sobre todo por confiar en mi.

A mi abuelita Nery por inculcarme valores que mantendré vigentes por siempre.

A mi hermana Jorenmi por estar a mi lado siempre y a mi cuñia-cuñia Frank por su apoyo incondicional.

A mi Vito adorado, que aunque no te pueda ver siempre vas a ser parte de mi. Gracias por darme los mejores seis años de mi vida. Esto es por los dos.

A mi amiga del alma Mariela, por su amistad sincera e incondicional y a Luis por el apoyo brindado en estos últimos meses.

A toda mi familia en especial a mi tía Morela y a mi tío Mauro.

A mis panas Topo, Niño, Claudix, Chichón, Orangel, Carlitro, Frank, Flacuchino, Gordo, Milanyer, David, Alejandra, Chuchú, Sandra, Ondina, Linda, Loro, Cesar, Carlitos, Raiza, Daniel, Joel, Mari Gabi, Isis y especialmente a Eduin Martínez.

A la facultad de Ingeniería de la UCV y a todo el personal de la Escuela de Petróleo por brindarme la oportunidad de ser fruto de sus enseñanzas. En especial al profesor Norberto Bueno por guiarme en la elaboración de este Trabajo Especial de Grado, por ser un gran amigo y por confiar en mi.

A PDVSA, en especial al Licenciado Javier Ramírez por acompañarme en la realización de este Trabajo Especial de Grado.

Rivas Jiménez, Jormi Mairim

**EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LAS ACTIVIDADES NO PRODUCTIVAS Y
SUS TIEMPOS ASOCIADOS EN LAS ÁREAS SAN TOMÉ, PUNTA DE MATA,
ANACO Y MATURÍN**

**Tutor Académico: Prof. Luis Norberto Bueno. Tutor Industrial: Lic. Javier
Ramírez. Tesis. Caracas. UCV, Facultad de Ingeniería de Petróleo. Año
2.003.134p**

**Palabras claves: Estandarización, Construcción de Pozos, Fase Perforar,
Tiempos No Productivos, Actividades No Productivas, Estadística.**

Resumen: Este Trabajo Especial de Grado se realizó con la finalidad de estandarizar la Fase Perforar del proceso de Construcción de Pozos, a partir de la identificación de las fallas más frecuentes en las operaciones inherentes a la misma que afectan el curso normal de las actividades, ocasionando incrementos tanto en los tiempos no productivos como en los costos asociados.

La identificación y evaluación de las actividades no productivas se llevo a cabo mediante la aplicación de un completo análisis basado en la utilización de herramientas estadísticas como diagramas de causa y efecto, diagramas de pareto, histogramas de frecuencias y gráficos de control, que reflejan tendencias de lo que ocurre en las operaciones, específicamente en las áreas estudiadas, esto permitirá la elaboración de patrones de operación que en el futuro optimizarán los trabajos de perforación a través de la implementación de correctivos necesarios y así obtener mejoras en la productividad y por ende minimizar los costos operativos.

Luego de realizar el análisis se observó que la actividad no productiva que consume una mayor cantidad de horas es la Reparaciones Contratista, por lo que se recomienda ofrecer el mantenimiento adecuado a los equipos aportados por la compañía de servicios.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	
I. Planteamiento del Problema	15
II. Marco Teórico	19
II.1. Construcción de pozos	20
II.1.1. Fase Perforar	23
II.1.1.1. Actividades comunes productivas	23
II.1.1.2. Actividades comunes no productivas	24
II.1.1.3. Etapa perforar	27
II.1.1.4. Etapa evaluación geológica / petrofísica	33
II.1.1.5. Etapa revestidores	35
II.2. Problemas frecuentes durante la perforación de pozos	38
II.2.1. Atascamiento de tubería	38
II.2.1.1. Atascamiento por presión diferencial	38
II.2.1.2. Atascamiento por inestabilidad del hoyo	39
II.2.2. Pérdida de circulación	39

II.2.3.	Reparación del taladro	40
II.2.3.1.	Impacto de las reparaciones no programadas en el taladro	40
II.2.4.	Fallas en la sarta de perforación	40
II.2.5.	Arremetida	41
II.2.6.	Operaciones de pesca	41
II.3.	Herramientas estadísticas para la evaluación de datos	42
II.3.1.	Diagrama de pareto	42
II.3.2.	Histogramas	43
II.3.3.	Diagrama causa y efecto	46
II.3.4.	Gráfico de control	47
III.	Metodología	48
III.1.	Recopilación de la información	50
III.2.	Validación de los datos	50
III.3.	Selección de la muestra	51
III.4.	Descripción de la fase perforar	52
III.5.	Migración y categorización de los datos	54

III.6. Análisis estadístico	55
III.7. Identificación de las causas	56
III.8. Presentación de las recomendaciones en vías de solucionar el problema planteado	57
IV. Análisis de Resultados	58
IV.1. Fases de la perforación	65
IV.1.1. Perforación del hoyo conductor	65
IV.1.2. Perforación del hoyo de superficie	68
IV.1.3. Perforación del hoyo intermedio 1	71
IV.1.4. Perforación del hoyo intermedio 2	76
IV.1.5. Perforación del hoyo de producción	79
IV.2. Problemas presentados en cada área operacional	83
IV.2.1. Maturín	83
IV.2.2. Punta de Mata	86
IV.2.3. Anaco	89
IV.2.4. San Tomé	92
V. Conclusiones	97

VI. Recomendaciones	99
VII. Referencias Bibliográficas	101
VIII. Nomenclatura	103
IX. Glosario de Términos	106
X. Apéndice	110

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Porcentaje de Tiempos no productivos de cada uno de los Pozos	18
Figura 2.1. Secuencia Típica del proceso de Construcción de Pozos	21
Figura 2.2. Tiempos de Construcción	22
Figura 2.3. Actividades no Productivas	22
Figura 2.4. Diagrama de Pareto	42
Figura 2.5. Histograma. Variabilidad	44
Figura 2.6. Histograma. Sesgo.	45
Figura 2.7. Diagrama Causa y Efecto	46
Figura 2.8. Gráfico de Control	47
Figura 4.1. Diagrama de Pareto de Porcentajes de Tiempos no Productivos en cada pozo	59
Figura 4.2. Diagrama de Pareto de Tiempos no Productivos por área	60
Figura 4.3. Porcentaje de Tiempos Problemas y Tiempos Perdidos	61
Figura 4.4. Gráfico de Control para la Fase Perforar	62
Figura 4.5. Histograma de Frecuencia de los Tiempos de la Fase Perforar	63
Figura 4.6. Diagrama Causa Efecto de la Fase Perforar	64
Figura 4.7. Diagrama de Pareto de Tiempos no Productivos por Tipo de Hoyo	64
Figura 4.8. Diagrama de Pareto de Frecuencias de Actividades no Productivas en el Hoyo Conductor	66

Figura 4.9. Diagrama de Pareto de Actividades no Productivas y sus Tiempos en el Hoyo Conductor	67
Figura 4.10. Diagrama de Pareto de Frecuencias de Actividades no Productivas en el Hoyo de Superficie	69
Figura 4.11. Diagrama de Pareto de Actividades no Productivas y sus Tiempos en el Hoyo de Superficie	69
Figura 4.12. Diagrama de Pareto de Frecuencias de Actividades no Productivas en el Hoyo Intermedio 1	72
Figura 4.13. Diagrama de Pareto de Actividades no Productivas y sus Tiempos en el Hoyo Intermedio 1	73
Figura 4.14. Diagrama de Pareto de Frecuencias de Actividades no Productivas en el Hoyo Intermedio 2	76
Figura 4.15. Diagrama de Pareto de Actividades no Productivas y sus Tiempos en el Hoyo Intermedio 2	77
Figura 4.16. Diagrama de Pareto de Frecuencias de Actividades no Productivas en el Hoyo de Producción	80
Figura 4.17. Diagrama de Pareto de Actividades no Productivas y sus Tiempos en el Hoyo de Producción	81
Figura 4.18. Diagrama de Pareto de Frecuencias de Actividades no Productivas en Maturín	84
Figura 4.19. Diagrama de Pareto de Actividades no Productivas y sus Tiempos en Maturín	84
Figura 4.20. Diagrama de Pareto de Frecuencias de Actividades no Productivas en Punta de Mata	87

Figura 4.21. Diagrama de Pareto de Actividades no Productivas y sus Tiempos en Punta de Mata	87
Figura 4.22. Diagrama de Pareto de Frecuencias de Actividades no Productivas en Anaco	90
Figura 4.23. Diagrama de Pareto de Actividades no Productivas y sus Tiempos en Anaco	90
Figura 4.24. Diagrama de Pareto de Frecuencias de Actividades no Productivas en San Tomé	93
Figura 4.25. Diagrama de Pareto de Actividades no Productivas y sus Tiempos en San Tomé	94

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Número de Pozos por área seleccionada	52
Tabla 4.1. Peso Estadístico de los Problemas en la Perforación del Hoyo Conductor	68
Tabla 4.2. Peso Estadístico de los Problemas en la Perforación del Hoyo de Superficie	71
Tabla 4.3. Peso Estadístico de los Problemas en la Perforación del Hoyo Intermedio 1	75
Tabla 4.4. Peso Estadístico de los Problemas en la Perforación del Hoyo Intermedio 2	79
Tabla 4.5. Peso Estadístico de los Problemas en la Perforación del Hoyo de Producción	82
Tabla 4.6. Peso Estadístico de las Operaciones de Perforación en Maturín	86
Tabla 4.7. Peso Estadístico de las Operaciones de Perforación en Punta de Mata	89
Tabla 4.8. Peso Estadístico de las Operaciones de Perforación en Anaco	92
Tabla 4.9. Peso Estadístico de las Operaciones de Perforación en San Tomé	96

INTRODUCCIÓN

La construcción de pozos es un proceso que engloba una serie de actividades inherentes a la perforación de un pozo, entre las cuales se destacan la extracción o inyección de cualquier fluido desde el yacimiento hasta la superficie y viceversa, esto se hace con la finalidad de generar potencial o incrementar las reservas.

Actualmente la industria petrolera enfoca gran parte de su potencial humano y tecnológico en la búsqueda de herramientas que ayuden a minimizar los tiempos asociados a las actividades requeridas en la construcción de pozo, eliminando al máximo las anomalías presentes desde la planificación hasta la ejecución del programa del pozo, con el propósito final de aumentar la productividad y satisfacer la demanda mundial.

Debido a ésta misma razón, se hace indispensable la estandarización del proceso de construcción de pozos por medio de una metodología que permita el análisis de los tiempos correspondientes a las operaciones, utilizando la evaluación, comparación y ejecución de estudios estadísticos entre las diferentes áreas, cuantificando los tiempos dedicados a actividades productivas y no productivas a través de la automatización de la información. Dicha metodología contempla el estudio de cuatro niveles representados por fases, etapas, actividades y sub - actividades.

El proceso de Construcción de pozos se encuentra constituido por siete (7) fases que corresponden a actividades técnicamente independientes, las cuales describen el proceso de perforación de un pozo desde que se inician los preparativos para la mudanza del taladro hacia la nueva localización, hasta asegurar el pozo; estas fases son: mudar, perforar, evaluar yacimiento, completar, reentrar, hincar y abandonar.

El presente Trabajo Especial de Grado aplica la metodología para la estandarización del proceso de construcción de pozo utilizando herramientas

estadísticas como histograma de frecuencias, diagramas de pareto, gráficos de control y diagramas de causa y efecto, para el estudio de los tiempos que corresponden a actividades no productivas en la fase perforar, las cuales generan retrasos en la planificación del pozo influyendo directamente en la optimización de las operaciones y en sus respectivos costos.

De este modo se busca evaluar las operaciones de perforación por hoyo y área operacional, identificando las actividades no productivas que generan mayor impacto en el aumento de los tiempos dedicados a dichas operaciones y así obtener referencias de apoyo que permitan mejorar la planificación de los pozos a perforarse en un futuro.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La operación de perforar un pozo es una de las fases más costosas y que requiere del uso de una mayor cantidad de tiempo en el proceso de construcción de pozos, además involucra actividades complejas que deben llevarse a cabo siguiendo los pasos de la planificación del pozo, y así estar en capacidad de anticipar los problemas potenciales que puedan ocurrir, de tomar las previsiones necesarias para la evasión de problemas mayores y si no es posible evitarlos se debe estar preparado para controlarlos de manera de minimizar su impacto en el logro de los objetivos planteados. La Planificación del pozo se realiza mediante la investigación y acumulación de información como:

- Registros de mecha
- Registros de lodo
- Estudios sísmicos
- Información geológica
- Estudios de pozo
- Bases de datos o archivos de compañías de servicios
- Historias de producción de pozos vecinos

Sin embargo, es difícil predecir e impedir todos y cada uno de los problemas en las operaciones de perforación aún con la implementación de un eficiente programa del pozo, por eso resulta común encontrarse con fallas operacionales que dan lugar a ineficiencias en las actividades, incrementando los tiempos de perforación así como también los costos operativos.

Es importante destacar que las actividades no productivas en la perforación abarcan desde fallas tanto mecánicas como humanas, en superficie y hoyo abajo, hasta retrasos debido a condiciones ambientales y sociales como pueden ser los paros cívicos o sindicales. Cualquiera que fuese el caso, resulta indispensable

minimizar estas fallas para de este modo optimizar las operaciones, los tiempos de perforación y reducir los costos.

Con el objetivo de atacar correcta y eficazmente los inconvenientes que se presentan al momento de perforar un pozo, se persigue reducir el tiempo de la fase perforar y de sus etapas, mediante la aplicación de la metodología para la estandarización del proceso de construcción de pozos y seguidamente realizar un completo estudio estadístico que permita identificar las actividades no productivas con mayor índice de frecuencia en hoyos y áreas, así como también sus tiempos asociados.

Una vez que se tengan bien identificadas las fallas es conveniente un estudio detallado de las mismas, además de las causas que las originan para luego efectuar una serie de recomendaciones que tienen como objetivo mejorar las actividades en la fase perforar.

El área geográfica a la cual se le practicó el estudio es el Oriente del país específicamente la abarcada por las áreas operacionales Punta de Mata, San Tomé, Anaco y Maturín, con un universo de 34 pozos estudiados, los cuales se encontraban en operaciones de perforación en un intervalo de tiempo de tres meses que abarca desde el 23/07/2002 al 23/10/2002. El principal motivo por el cual se seleccionó el Oriente del país es porque se disponía de la data necesaria, además de contener un importante número de pozos para el estudio. La idea es tomar hipotéticamente una “fotografía” de lo que está ocurriendo actualmente en las áreas, de un modo general, para tener un mejor conocimiento de los principales problemas que afectan el presupuesto de actividades de perforación y encontrar la mejor manera de solucionarlos.

La figura 1.1 muestra el porcentaje de tiempo no productivo de cada uno de los pozos estudiados, el promedio de porcentaje es de 13,57%, se observa que 11 pozos presentan tiempos no productivos por encima de este valor, mientras que sólo 11 pozos poseen tiempos no productivos por debajo del 5%, lo cual implica un alto porcentaje de actividades que retrasan el curso de las operaciones.

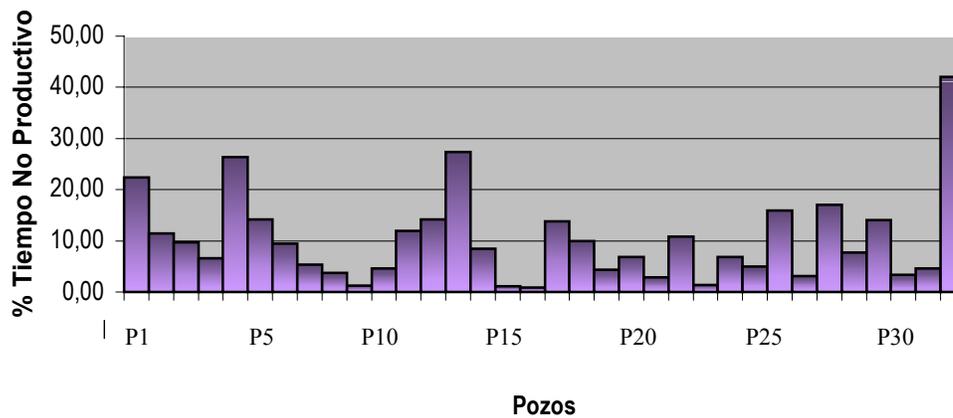


Figura 1.1 Porcentaje de Tiempos no productivos de cada uno de los pozos

Por tal motivo el objetivo fundamental de este Trabajo Especial de Grado es el de realizar una evaluación estadística de las actividades no productivas y sus tiempos asociados en las operaciones de perforación en las áreas San Tomé, Punta de Mata, Anaco y Maturín, que permita conocer las fallas más frecuentes en dichas operaciones con la finalidad de erradicar las causas que las producen, así como también optimizar la perforación y por ende el proceso de construcción de pozos, además de minimizar los gastos para obtener una mayor ganancia.



MARCO TEÓRICO

II. MARCO TEÓRICO

II.1. Construcción de Pozos¹

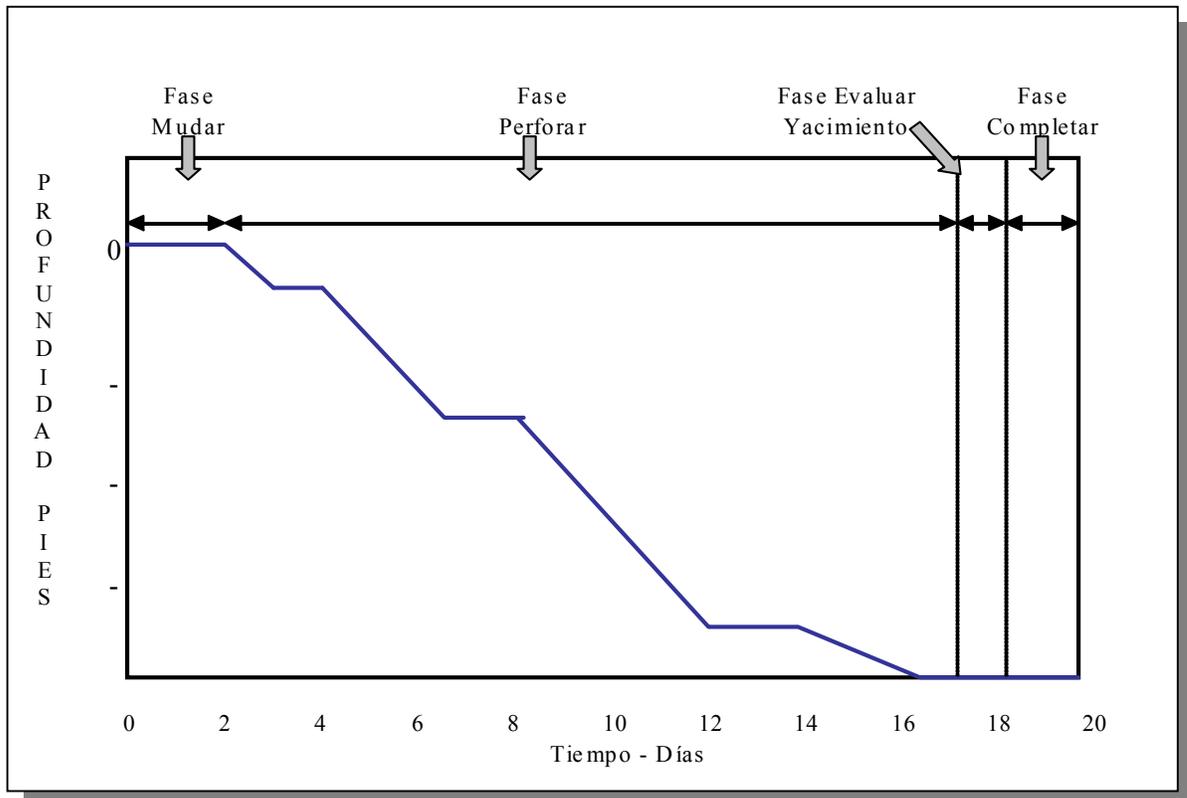
Operación que comprende una serie de actividades inherentes a la perforación de un pozo, que permite la extracción o inyección de cualquier fluido desde el yacimiento hasta la superficie y viceversa, con el objeto de generar potencial o aumentar las reservas.

El proceso de construcción de pozos de la industria petrolera está dividido en siete fases que corresponden a actividades técnicamente independientes, las cuales describen el proceso de perforación de un pozo desde que se inician los preparativos para la mudanza del taladro hacia la nueva localización o pozo, hasta que se prueba satisfactoriamente el árbol de navidad o se asegura el pozo, estas fases son:

- Mudar
- Perforar
- Evaluar el yacimiento
- Completar
- Reentrar
- Hincar
- Abandonar

Esta secuencia es mostrada en la figura 2.1

Figura 2.1. Secuencia Típica del proceso de Construcción de Pozos



Dentro del proceso de construcción de pozos el tiempo empleado para cada actividad se define en términos de tiempos productivos y no productivos. El primero es el período que comprende actividades que contribuyen al progreso de la construcción de acuerdo a lo planificado o de eventos adicionales no contemplados en la planificación a requerimiento del cliente. El tiempo no productivo se define como el período acreditable a eventos o actividades que retarden el avance de la construcción del pozo según lo planificado, inicia desde que se evidencia una actividad no productiva hasta que se encuentren de nuevo las condiciones operacionales productivas que se tenían antes del evento improductivo. Este último se clasifica en tiempo problemas (inherentes a la condición del hoyo) y tiempo perdido (asociados a eventos logísticos y superficiales), ver figuras 2.2 y 2.3.

Figura 2.2. Tiempos de Construcción

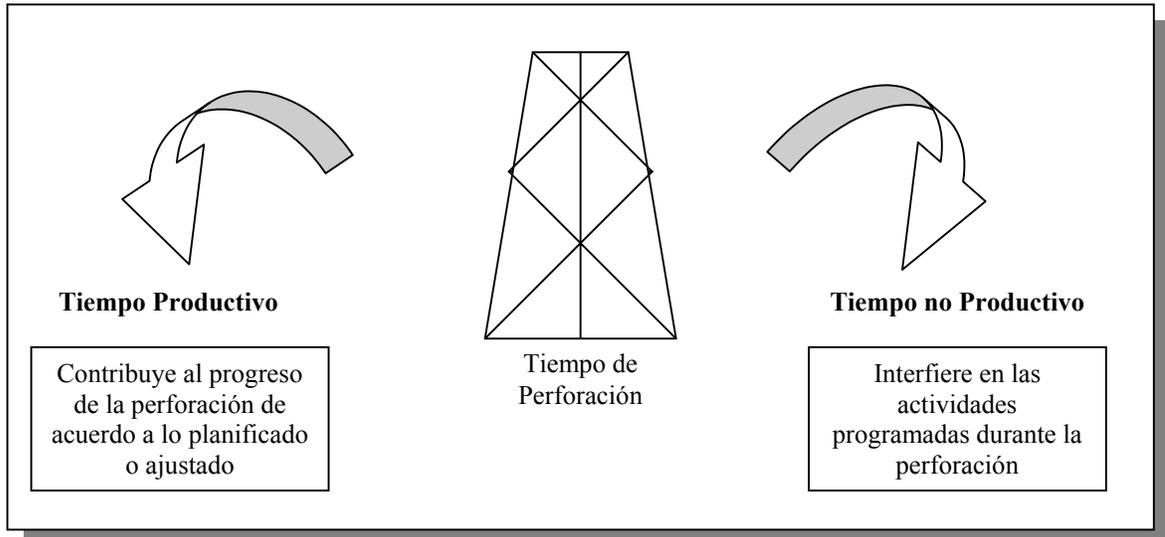
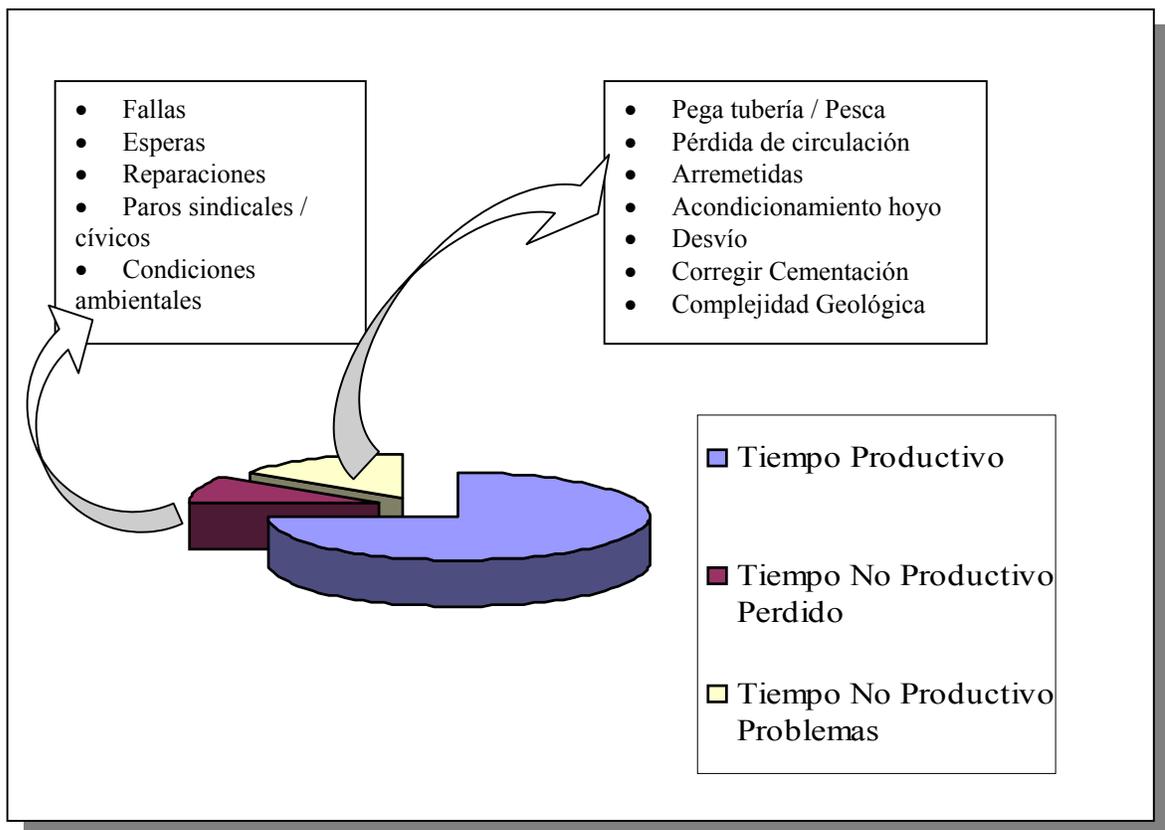


Figura 2.3. Actividades no Productivas



II.1.1. Fase Perforar

Corresponde al grupo de operaciones asociadas con la perforación del hoyo, evaluación geológica/petrofísica y de revestimientos. La fase de perforación puede ser interrumpida para evaluar horizontes de interés (Fase Evaluación del Yacimiento). Comienza cuando la primera mecha de perforación del primer hoyo pasa a través de la mesa rotatoria y finaliza al terminar de quebrar la tubería después de haber probado satisfactoriamente el último revestidor o liner/camisa. En el caso que en la siguiente operación se detecte alguna falla (de cementación, de revestidores, etc.) del último revestidor liner/camisa, los tiempos asociados a la corrección de la falla serán cargados a la etapa de la fase de perforación que corresponda. Cabe destacar que la bajada de un liner ranurado corresponde a la fase de Completación.

Para comenzar con la descripción de las etapas, actividades y sub-actividades es necesario definir las actividades productivas y no productivas comunes en todas las fases del proceso de construcción de pozo.

II.1.1.1. Actividades comunes productivas

II.1.1.1.1. Mantenimiento del equipo

Incluye el tiempo necesario para realizar el mantenimiento normal y rutinario del equipo de perforación (servicio al equipo, corre y cortar guaya del malacate).

II.1.1.1.2. Pruebas de seguridad

Incluye el tiempo de sacada y/o bajada del "wear bushing", preparación de equipos de prueba, viajes, circulación, tratamiento de lodo, asociado a la realización de pruebas de presión del cabezal del pozo y de las válvulas impide reventones (VIR), excepto cuando estas pruebas son asociadas a la primera instalación de los equipos sobre el pozo o a la instalación de éstos después de la corrida de un

revestidor. Incluye también el tiempo asociado a los ejercicios, simulacros y controles requeridos por seguridad operacional, durante la etapa de perforación.

II.1.1.1.3. Comida

Incluye el tiempo en el cual se detienen las operaciones en el pozo durante la comida de la cuadrilla.

II.1.1.1.4. Otros

Aplica para aquellos casos de no existir alguna actividad que coincida con las operaciones que se están realizando en el taladro.

II.1.1.2. Actividades comunes no productivas

II.1.1.2.1. Condiciones ambientales

Incluye el tiempo de inactividad del equipo por espera como consecuencia de fenómenos naturales o condiciones ambientales como lluvias, tormentas, invasión/ataque de animales o terremotos.

II.1.1.2.2. Paro cívico / sindical / legal

Incluye el tiempo de paro de operaciones por motivos tales como paros cívicos, sindicales, propietario del terreno, accidentes, huelgas, manifestaciones, tenencia del terreno y feriado contractual.

II.1.1.2.3. Reparaciones PDVSA

Incluye el tiempo por fallas o reparación de los componentes o equipos suministrados por PDVSA a través de cualquier medio (propio o sub contratado). Figuran entre las reparaciones las relacionadas con: equipo mecánico, equipo eléctrico, equipo hidráulico, sistemas de instrumentación, bombas de lodo, motores, malacate, equipo de izamiento, “top drive” y su sistema, bombas

centrífugas, unión giratoria, mesa rotatoria, válvulas impide reventones, equipos de control de sólidos.

II.1.1.2.4. Reparaciones contratista

Incluye el tiempo para realizar reparación de los componentes del equipo de superficie o de los componentes del equipo de perforación a cargo del contratista de perforación. Figuran entre las reparaciones las relacionadas con: equipo mecánico, equipo eléctrico, equipo hidráulico, sistema de instrumentación, bombas de lodo, motores, malacate, equipo de izamiento, “top drive” y su sistema, bombas centrífugas, unión giratoria, mesa rotatoria, válvulas impide reventones, equipos de control de sólidos.

II.1.1.2.5. Esperas PDVSA

Incluye el tiempo perdido por espera de suministros y servicios procurados por PDVSA (propio o sub contratado), la espera por toma de decisiones y sus consecuencias. Cabe destacar las esperas por: transporte, reubicar boyas/anclas, vías de acceso, localización, nivelar cabria, la espera por luz del día por razones de seguridad, toma de decisiones, suministros y servicios.

II.1.1.2.6. Esperas contratista

Incluye el tiempo de paro de operaciones por responsabilidad de la Contratista encargada de las operaciones del equipo de perforación (falta de equipos o componentes). Cabe destacar las esperas por: transporte, vías de acceso, localización, suministros y servicios (propio o sub contratado), toma de decisiones.

II.1.1.2.7. Atascamiento de tubería

Incluye el tiempo (martillando, circulando, desenrosque, bombeo de píldoras de remojo, pescando) desde el momento en que la tubería se atasca, hasta que se

encuentran de nuevo las condiciones operacionales existentes antes del atascamiento.

II.1.1.2.8. Pérdida de circulación

Incluye el tiempo (viajes, circulaciones, observaciones, bombeo de píldoras de material de pérdida de circulación y/o cemento) asociado al tratamiento de una pérdida de circulación, desde que se ha evidenciado la pérdida, hasta que se encuentran de nuevo las condiciones operacionales existentes antes de ocurrir la misma.

II.1.1.2.9. Control de arremetida

Incluye el tiempo utilizado en actividades (circulaciones, observaciones, desahogo de presión) para controlar la arremetida del pozo, desde el primer cierre del pozo hasta que se encuentran de nuevo las condiciones operacionales antes de la arremetida.

II.1.1.2.10. Pesca

Incluye el tiempo de pesca por equipos desprendidos de la sarta de trabajo (tubería de perforación, DP, HW, estabilizadores, DC, motor, turbina, insertos, conos, mechas, MWD, LWD, partes metálicas, monel, portamechas), o caídas al hoyo accidentalmente desde superficie herramientas u objetos indeseables. Igualmente se incluirá el tiempo asociado al fresado cuando el caso así lo amerite.

II.1.1.2.11. Otros

Incluye el tiempo de inactividad del equipo como consecuencia de operaciones no contempladas en alguna de las mencionadas anteriormente, las que serán cargadas bajo ésta actividad hasta que sean analizadas por la Función Tecnológica quien decidirá su ubicación o creación de una nueva actividad.

La fase de perforación consta de 3 etapas:

II.1.1.3. Etapa Perforar

Corresponde a las actividades relacionadas con la operación de perforación propiamente dicha. Comienza cuando la primera mecha pasa a través de la mesa rotatoria en el primer hoyo y para los hoyos subsiguientes, al comenzar a perforar el primer pie de formación. Termina luego de sacar la sarta de perforación o de limpieza, después de acondicionar el hoyo. En el caso de Reentrada, esta etapa se inicia cuando se comienza perforar formación con sarta de navegación.

II.1.1.3.1. Actividades Productivas

II.1.1.3.1.1. Perforar

Incluye el tiempo perforando el hoyo, realizando las conexiones cualquiera que sea el tipo de ensamblaje de fondo (“Rotaria”, “Motor de fondo”, “Turbina”, “Coiled Tubing”, otros), o el tipo de hoyo (“Vertical”, “Direccional”). Excluye el tiempo de perforación asociado a operaciones específicas (desvío no productivo, ampliación del hoyo, toma de núcleos, etc.) que tienen sus propias actividades.

II.1.1.3.1.2. Viajes

Mide el tiempo requerido por la operación de bajar y sacar la tubería asociado a la etapa de perforación. Se incluye el cambio de mecha, armar y desarmar el ensamblaje de fondo, quebrar tubería, circular para sacar tubería y el repaso preventivo (máximo 90 pies) para llegar al fondo. Igualmente cubre los viajes de tubería concéntrica o parásita para el caso de inyección de fluidos gaseosos para la perforación del pozo.

II.1.1.3.1.2.1. Viaje - bajar tubería

Mide el tiempo requerido por la operación de bajar o meter la tubería en el hoyo asociado a la etapa de perforación.

II.1.1.3.1.2.2. Viaje - circular para sacar tubería

Incluye el tiempo de circulación preventiva antes de sacar la tubería dentro de la etapa de Perforación. Incluye el tiempo de bombeo de la píldora pesada.

II.1.1.3.1.2.3. Viaje - sacar tubería

Mide el tiempo requerido por la operación de sacar la tubería del hoyo por parejas (ejemplo: cambio de mecha, modificar el ensamblaje de fondo, etc.) asociado a la etapa de "Perforación".

II.1.1.3.1.2.4. Viaje - armar / desarmar ensamblaje de fondo

Mide el tiempo requerido en la operación de armar o desarmar el ensamblaje de fondo asociado a la actividad "Perforación" durante un viaje. Incluye el tiempo conectando la mecha, preparando los equipos del ensamblaje de fondo y preparando la planchada del taladro.

II.1.1.3.1.2.5. Viaje - quebrar tubería

Mide el tiempo requerido por la operación de sacar la tubería del hoyo junta por junta (cambio de mecha, modificar el ensamblaje de fondo, inspección de sarta, etc.) asociado a la etapa de Perforación.

II.1.1.3.1.3. Viaje corto

Consiste en sacar y bajar la tubería en el hoyo abierto desde el fondo de este hasta cubrir al menos la última sección perforada por la mecha, con el objeto de calibrar o verificar la condición del hoyo. Incluye el tiempo (circulación, viaje, observación, etc.) asociado a esta operación.

II.1.1.3.1.4. Acondicionar fluido

Incluye el tiempo de circulación planificada para la limpieza del hoyo así como para el tratamiento del fluido de perforación por modificación de la densidad y / o reología, siempre y cuando estas operaciones estén asociadas a la etapa de Perforación.

II.1.1.3.1.5. Cambio del sistema de fluido

Incluye el tiempo asociado a esta operación tomando en cuenta las preparaciones en superficie (limpieza de tanques, etc.) y los viajes de tubería, siempre y cuando estos viajes tengan como única finalidad el cambio del sistema de fluido.

II.1.1.3.1.6. Ampliar hoyo

Consiste en la operación de aumentar de diámetro una sección previamente perforada. Incluye el tiempo (ampliación, viajes, armar tubería, circulaciones, etc.) asociado a esta operación. Inicia al comenzar a armar el BHA de ampliación y finaliza al terminar de quebrar el mismo.

II.1.1.3.1.7. Prueba de integridad

Incluye el tiempo asociado a la prueba de integridad de formación (circulaciones, prueba e instalación de equipos).

II.1.1.3.1.8. Medida de desviación / presión / temperatura

Incluye el tiempo (toma de medida, circulaciones, viajes, etc.) asociado a una toma de medida de desviación / presión / temperatura, cualquiera que sea el tipo de pozo y herramienta de medición (multishot, singleshot, bhcp, bhct). Cabe destacar que el tiempo de viaje (viaje corto a la zapata para recuperar una herramienta de medición) forma parte de esta actividad si el viaje tiene como única finalidad la toma de medida de desviación / presión / temperatura. Excluye el caso en que se saque tubería hasta superficie para cambio de sarta o ensamblaje.

II.1.1.3.1.9. Preparar hoyo para desvío

Incluye el tiempo utilizado en todas las actividades productivas (viajes, tapones de cemento, circulaciones, etc.) desde el momento que se inicia el abandono de un hoyo piloto, abandono de un hoyo por reinterpretación geológica, o acondicionamiento de hoyo para la perforación de una sección en pozos multilaterales; hasta que se inicia la perforación normalmente en una nueva profundidad.

II.1.1.3.1.10. Acondicionar hoyo / pozo

Incluye el tiempo de acondicionamiento planificado del hoyo dentro de la etapa de perforación (repasos y rectificaciones del hoyo planificadas, etc.).

II.1.1.3.2. Actividades no productivas**II.1.1.3.2.1. Reacondicionar hoyo**

Incluye el tiempo (viajes, repasos, circulaciones, bajada de revestidor expandible, etc.), asociado a un problema del hoyo que no permite seguir perforando normalmente. Los viajes de limpieza / rectificación del hoyo, incluyendo circulaciones, repasos, etc., son parte de esta actividad, a excepción de los viajes que correspondan al acondicionamiento del hoyo para registros. Si a un viaje de

rectificación se agrega un tiempo de perforación, este tiempo se registrará bajo la actividad de perforación. Los repasos superiores a 90 pies para llegar al fondo bajando tubería, forman parte de esta actividad.

II.1.1.3.2.2. Reacondicionar fluido

Se asocia al tiempo de circulación para alcanzar las propiedades del fluido a las condiciones requeridas según el plan de perforación.

II.1.1.3.2.3. Fallas de sarta de perforación

Incluye el tiempo (viajes, circulaciones, investigaciones, etc.), asociado a anomalías relacionadas a fallas de la tubería de perforación (dp - hw) o del ensamblaje de fondo (mwd, mecha, motor, martillo, turbina, estabilizadores, portamechas, monel, lwd, acelerador, otros componentes, etc.). La sub actividad indicará la herramienta donde ocurrió la falla. Si se detecta que durante la bajada de una herramienta, esta falla por causas inherentes al diseño o configuración del ensamblaje, el tiempo no productivo ocasionado se clasificará como “perdido” dentro de la actividad “espera PDVSA” o “espera contratista” dependiendo el caso.

II.1.1.3.2.4. Desvío

Incluye el tiempo (viajes, tapones de cemento, perforación del desvío, circulaciones, etc.), asociado a la realización de un desvío del hoyo inicial, producto de un problema operacional (presencia de un pescado, hoyo deteriorado que no permite seguir perforando, etc.), o a un problema de control direccional (no se logró / no se podrá alcanzar el objetivo, severa “pata de perro”, etc.). Las operaciones de desvío se extienden desde que se inicia la corrida de la sarta para abandonar el hoyo anterior (tapón de cemento) hasta que se logre llegar a la máxima profundidad medida alcanzada.

Cabe destacar que en el caso de un desvío por reinterpretación geológica (cambio de objetivo del pozo solicitado por geología o exploración) o abandono del hoyo

piloto en pozos horizontales, no se considerará el tiempo consumido dentro de la actividad “desvío”; sino bajo las actividades correspondientes en operaciones productivas de perforación.

II.1.1.3.2.5. Complejidad geológica

Solamente aplica en los casos en que el problema asociado a alguna complejidad geológica no fue indicado en la propuesta de perforación o en el programa original, ni haya sido identificada o participada con suficiente antelación de forma oficial.

Incluye el tiempo (acondicionamiento del hoyo, arremetida, pérdida de circulación, atascamiento, desvío, pesca, revestidores adicionales, cementaciones, etc.), asociado a un problema de complejidad o imprecisión geológica que no permite seguir perforando normalmente. Los viajes de limpieza y acondicionamiento de fluido son parte de esta actividad, a excepción de los viajes que correspondan al acondicionamiento del hoyo para registros o tomas de núcleos, antes de la corrida de un revestidor.

II.1.1.3.2.6. Fallas de revestidores

Incluye el tiempo no productivo asociado a fallas en el revestidor que retardan el avance de la perforación producto de fugas, roturas, desprendimiento, etc.

II.1.1.3.2.7. Falla de integridad de formación

Incluye el tiempo necesario (circulación, observación, preparación de equipos en superficie, cementación, pruebas, etc.), para mejorar la resistencia en la zapata y / o la integridad de la formación, bien sea con cemento o píldora especial. También incluye, los viajes de tubería asociados al forzamiento, pero solamente en el caso de que la sarta tenga como finalidad el trabajo de forzamiento para mejorar la integridad de la formación.

II.1.1.3.2.8. Fallas de medidas de desviación / presión / temperatura

Incluye el tiempo (circulación, observación, preparación de equipos en superficie, pruebas, etc.), asociado a una falla en la toma de medida de desviación / presión / temperatura (multishot, singleshot, bhct, bhcp). Se inicia desde el momento en que se detecta la falla. En el caso de repetir la medición será reportado el viaje dentro de esta actividad hasta que se logra la recuperación de la herramienta con el dato registrado.

II.1.1.4. Etapa evaluación geológica / petrofísica

Esta actividad corresponde a las operaciones relacionadas con la toma de perfiles eléctricos necesarios para definir las características petrofísicas y geológicas del pozo, y la toma de núcleos. Comienza cuando se inicia la vestida del equipo para correr registros o núcleos y finaliza después de sacar la sarta de limpieza, si se va continuar con la actividad de perforación o cuando se comienza a vestir el equipo para bajar el revestidor / camisa.

Adicionalmente, corresponde a esta actividad, el tiempo requerido para los viajes de limpieza entre dos corridas de perfiles eléctricos o en el caso que las herramientas no alcancen la profundidad de registro y el tiempo empleado para reparar o ampliar el intervalo del hoyo correspondiente a la longitud del núcleo tomado.

II.1.1.4.1. Actividades productivas

II.1.1.4.1.1. Registros

Incluye el tiempo de corrida de los registros eléctricos (vestida del equipo, viaje de registro y desvestida del equipo), viajes de limpieza entre registros y el viaje de acondicionamiento del hoyo, una vez finalizada dicha corrida. Sin embargo, si en un viaje de acondicionamiento para registros se adiciona un tiempo de perforación

efectiva, ese tiempo se incluirá dentro de la actividad de perforación.

II.1.1.4.1.2. Toma de núcleos

Incluye el tiempo de las actividades inherentes a la toma de núcleos (toma de núcleos, conexiones, viajes, recuperación, circulación para limpieza, tratamientos de lodo durante los viajes, ampliaciones, etc.), desde el inicio del ensamblaje de la sarta toma núcleos y finaliza al terminar de recuperar los núcleos y quebrar la sarta toma núcleos o al terminar de quebrar la sarta de ampliación de la zona muestreada.

II.1.1.4.1.3. Toma de muestras

Es el tiempo de circulación requerido para llevar muestras e indicios del fondo a la superficie con la perforación detenida. Se incluye también el tiempo de bajar, cortar y sacar las herramientas de toma de muestra.

II.1.1.4.2. Actividades no productivas

II.1.1.4.2.1. Fallas de registros

Incluye el tiempo asociado a fallas durante la corrida de registros con guaya eléctrica o con tubería (viajes, circulaciones, falla o reparación de la herramienta, pesca) y / o durante un viaje de limpieza con la tubería de acondicionamiento del hoyo entre secuencias de registros cuando no estaba programado.

II.1.1.4.2.2. Falla de núcleos

Incluye el tiempo asociado a fallas durante la toma de núcleos (viajes, circulaciones, falla o reparación de la herramienta).

II.1.1.5. Etapa revestidores

Corresponde a las actividades asociadas a la bajada y cementación de los revestidores y camisas; así como la preparación del pozo para continuar las operaciones. Comienza con la vestida del equipo de corrida del revestidor / camisa, y finaliza después de probar satisfactoriamente el mismo o el colgador de la camisa y que el pozo esté en las condiciones requeridas para continuar la perforación del próximo hoyo o de ser evaluado y / o completado.

II.1.1.5.1. Actividades productivas

II.1.1.5.1.1. Bajar revestidor / liner (camisa)

Incluye el tiempo de preparación de los equipos (cuñas, elevadores, llaves, cambio y prueba de ranas, cambio líneas del bloque, etc.) Y arreglo de la planchada para bajar el revestidor, liner (camisa) o enlace (tie-back) de liner (camisa). Así como también las circulaciones durante la bajada y el acondicionamiento normal del lodo antes de iniciar la cementación. Cabe destacar que la bajada de un liner ranurado forma parte de la fase de completar.

II.1.1.5.1.2. Cementar

Incluye la preparación y prueba de los equipos de superficie, el bombeo y desplazamiento de los espaciadores y lechadas de cemento, los viajes de herramientas de cementación (stinger) y el tiempo de espera por fraguado del cemento. Incluye también las cementaciones planificadas de tope o anillo superior (“top job”).

II.1.1.5.1.3. Viaje de tie-back packer

Actividad relacionada a la colocación de una empaadura en el tope del liner (camisa) para lograr aislamiento mediante cementación y extensión del revestidor hasta la superficie. Incluye todos los viajes (limpieza, bajada de empaadura, etc.),

relacionados a esta actividad.

II.1.1.5.1.4. Instalar - desinstalar cabezal / vir

Incluye el tiempo para asentar el revestidor, cortar y biselarlo, desinstalar, instalar y probar el cabezal y las vir, y arreglar fugas menores. Excluye el tiempo por espera de equipos y / o reparaciones.

II.1.1.5.1.5. Registros

Incluye el tiempo requerido para la corrida de los registros en hoyo entubado para verificación / calibración de un revestidor / camisa y / o de una cementación (cbl-vdl-cet-ett- termometría, sónico, etc.).

II.1.1.5.1.6. Limpiar revestidor / liner(camisa)

Incluye el tiempo tomando en cuenta los viajes y circulaciones asociados a la limpieza de cemento y equipos flotadores, la limpieza del revestidor y / o camisa, la realización de la prueba de presión o volumétrica del revestidor y / o liner (camisa) y el cambio del sistema de fluido. En el caso de continuar perforando formación después de romper la zapata, el tiempo de armado / bajado de la tubería será registrada bajo la actividad limpiar revestidor / liner (camisa), mientras que el viaje de sacada y la perforación serán registrados dentro de la etapa perforación del siguiente hoyo.

II.1.1.5.1.7. Pruebas

Incluye el tiempo necesario para la prueba seca / afluencia de un colgador u otras pruebas. Incluye el viaje de limpieza relacionada a estas pruebas. También incluye, las operaciones específicas (circulación, observación, preparación equipos en superficie, etc.), relacionadas a estas pruebas.

II.1.1.5.2. Actividades no productivas

II.1.1.5.2.1. Fallas en corrida de revestidores

Incluye el tiempo no productivo durante la corrida de un revestidor / camisa desde que se detecta la falla.

II.1.1.5.2.2. Fallas de cementación

Incluye el tiempo consumido por fallas que impiden la ejecución de la cementación, tales como: operaciones durante la cementación (fraguado prematuro, falla de equipos / accesorios, etc.), corrección de la cementación, arremetida, pérdida de circulación.

II.1.1.5.2.3. Fallas de registro

Incluye el tiempo asociado a fallas durante la corrida de registros con guaya eléctrica o con tubería (viajes, circulaciones, falla o reparación de la herramienta, pesca) y / o durante un viaje de limpieza con la tubería de acondicionamiento del hoyo entre secuencias de registros cuando no estaba programado.

II.1.1.5.2.4. Falla cabezal / VIR

Incluye el tiempo consumido arreglando fugas, pruebas y reparaciones en el cabezal y las VIR, pero únicamente durante la instalación de los equipos sobre el pozo en la etapa de revestidores.

II.2. Problemas frecuentes durante la perforación de pozos

II.2.1. Atascamiento de tubería

Existen muchas causas para que la tubería de perforación se pegue en el hoyo. Es importante identificar la causa para así poder determinar el método más rápido, eficiente y económico de liberar la tubería. Entre las causas más comunes destacan el atascamiento por presión diferencial y atascamiento por inestabilidad del hoyo.

II.2.1.1. Atascamiento por presión diferencial.

El atascamiento por presión diferencial puede definirse como la fuerza que mantiene la tubería contra la pared del hoyo, debido a la diferencia de presión hidrostática de la columna del lodo y la presión del fluido de la formación. La diferencia de presión actúa hacia la zona de menor presión, lo que empuja a la tubería hacia la formación permeable. Esto indica, que a mayor diferencia de presión, mayor será la fuerza ejercida sobre la sarta de perforación.

Estos atascamientos o aprisionamiento de la tubería, ocurren con mayor frecuencia en las áreas vecinas a los portamechas, debido a que éstos tienen un diámetro mayor que la tubería y por lo tanto el área de contacto en las paredes del hoyo es mayor. Los atascamientos por presión diferencial se encuentran asociados, por lo general a los siguientes factores:

- Perforación de pozos profundos con altas densidades de lodo.
- La sarta estuvo estática en el hueco por un largo periodo antes de producirse el aprisionamiento.
- Formaciones permeables.
- Altas pérdidas de agua.

II.2.1.2. Atascamiento por Inestabilidad del hoyo

Los problemas de inestabilidad del hoyo se originan principalmente, por un desbalance de presión entre la presión hidrostática ejercida por la columna de lodo y la presión de la formación o presión de poro. No obstante, existen diferentes tipos de formaciones que debido a sus características son inestables. Es obvio que el mantenimiento de la presión, aunado a las condiciones del lodo, contribuyen sin lugar a dudas a estabilizar la pared del hoyo y a permitir en forma exitosa el avance de la perforación. El atascamiento de tubería cuando se hidratan las arcillas o lutitas, ocurre con mayor frecuencia en el área del hoyo de producción. Las arcillas sensibles al agua absorben el agua del lodo y se hinchan. El mayor problema es la gran cantidad de arcilla pegajosa que asciende con el lodo y tiende a obstruir la línea de retorno. Este problema ocurre frecuentemente con lodos base agua, pero puede ocurrir con lodos base aceite si la salinidad del fluido de la formación es mayor que la de la fase acuosa del lodo. En este caso en particular, el cambio del peso del lodo tiene poco o ningún efecto sobre el problema

II.2.2. Pérdida de circulación

Es un evento que ocurre durante la perforación de un hoyo cuando el retorno de fluido por el espacio anular disminuye. Esta pérdida de fluido puede ser parcial o total. Este evento ocurre debido a varias razones, dentro de las que destacan:

- La floculación del lodo o taponamiento en el espacio anular, esto aumenta la caída de presión y el lodo podría entrar a la formación.
- Cuando la tubería de perforación o revestimiento se corre demasiado rápido las presiones de surgencia pueden causar rupturas en la formación.
- Cuando se requiere de una presión excesiva para empezar la circulación después de un viaje puede ocurrir una pérdida de circulación.

II.2.3. Reparación del Taladro

Causa una interrupción en las operaciones planeadas por una falla en el equipo del taladro de perforación.

II.2.3.1. Impacto de las reparaciones no programadas en el taladro

II.2.3.1.1. En las contratistas

Genera multas financieras, incremento de costos por reparación de emergencia, posibles lesiones al personal, grandes daños en el equipo y pérdida de futuros contratos.

II.2.3.1.2. En el hoyo

Genera alto riesgo de otros eventos no programados, mayor tiempo de exposición, pérdida de la sección del hoyo y pérdida del pozo.

II.2.3.1.3. En la operadora

Genera incremento en el costo del pozo, retraso en la producción, pérdida de productividad.

II.2.4. Fallas en la Sarta de Perforación

Se causa una interrupción en las operaciones planeadas debido a fuerzas que se encuentran por debajo de la resistencia mínima de cedencia, como fatigas de la tubería, fuga en la conexión, agrietamiento por sulfuro y falla en la soldadura, y fuerzas por encima de esta resistencia, como tensión, torque, combinación de tensión y torque, colapso y estallido.

II.2.5. Arremetida

Se define como el desbordamiento de fluidos de la formación hacia el hoyo, ocurre cuando la presión ejercida por la columna hidrostática en el hoyo es menor que la ejercida por la columna de la formación.

Las manifestaciones de la arremetida se captan en la superficie por el aumento del volumen de fluido en el tanque, la magnitud de este volumen adicional de fluido descargado da idea de la gravedad de la situación. La apreciación precoz del tipo de fluido desbordado ayudará a poner en ejecución uno de los varios métodos adecuados de contención, cuya finalidad es permitir adicionar al fluido de perforación el peso requerido y bombearlo al hoyo ya que mientras tanto se controla el comportamiento del flujo por el espacio anular para descargar la arremetida inocuamente.

Toda arremetida que no pueda ser controlada termina en reventón, con sus graves consecuencias de posibles daños personales, destrucción segura de equipos y hasta posible pérdida del pozo.

II.2.6. Operaciones de Pesca

Durante la perforación de un pozo siempre está presente la posibilidad de que desafortunadamente se queden en el hoyo componentes de la sarta de perforación u otras herramientas utilizadas en las diferentes tareas de obtención de datos o pruebas del pozo, ocasionando lo que generalmente se llaman tareas de pesca, referidas a sacar la pieza que obstaculiza la continuidad de las operaciones.

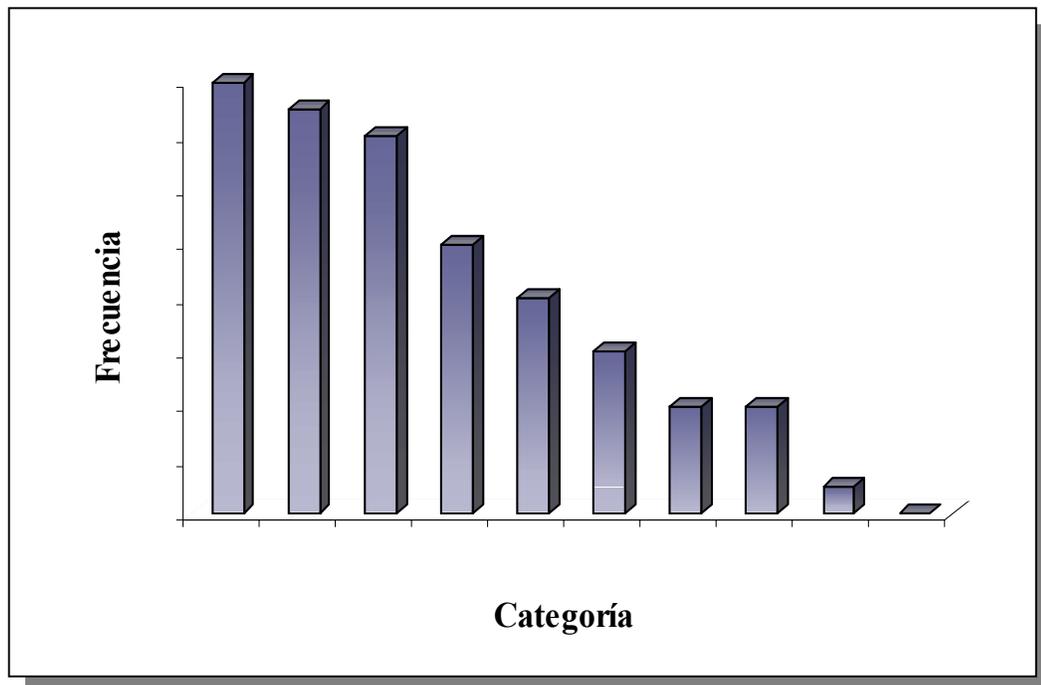
Generalmente la tarea de pesca es sencilla pero otras veces se puede tornar tan difícil de solucionar que termina en la opción de desviar el hoyo.

II.3. Herramientas Estadísticas para la Evaluación de Datos

II.3.1. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es un gráfico de barras verticales que muestra la importancia relativa de todos los problemas o condiciones a fin de seleccionar el punto de inicio para la solución de los mismos o para la identificación de la causa fundamental de un problema. (Ver figura 2.4).

Figura 2.4. Diagrama de Pareto.



Dentro de los diversos usos de diagramas de Pareto se encuentran:

- Identifica los problemas más importantes a través del uso de diferentes escalas.
- Analiza los diferentes grupos de datos.

- Mide el impacto de los cambios hechos en un proceso.
- Desglosa ampliamente las causas en partes específicas.

II.3.2. Histogramas

El histograma es una herramienta de diagnóstico muy importante que revela la cantidad de variación propia de un proceso, es decir, proporciona una vista panorámica de la variación de la distribución de los datos (representación gráfica de una tabla de frecuencias).

El histograma permite conocer:

- Si la dispersión de la curva cae dentro de las especificaciones, de lo contrario, que cantidad cae fuera de las mismas² (Variabilidad).
- Si la curva está centrada en el lugar debido o hacia que lado se agrupan la mayoría de los datos² (Sesgo). (Ver figuras 2.5 y 2.6).

Figura 2.5. Histograma. Variabilidad

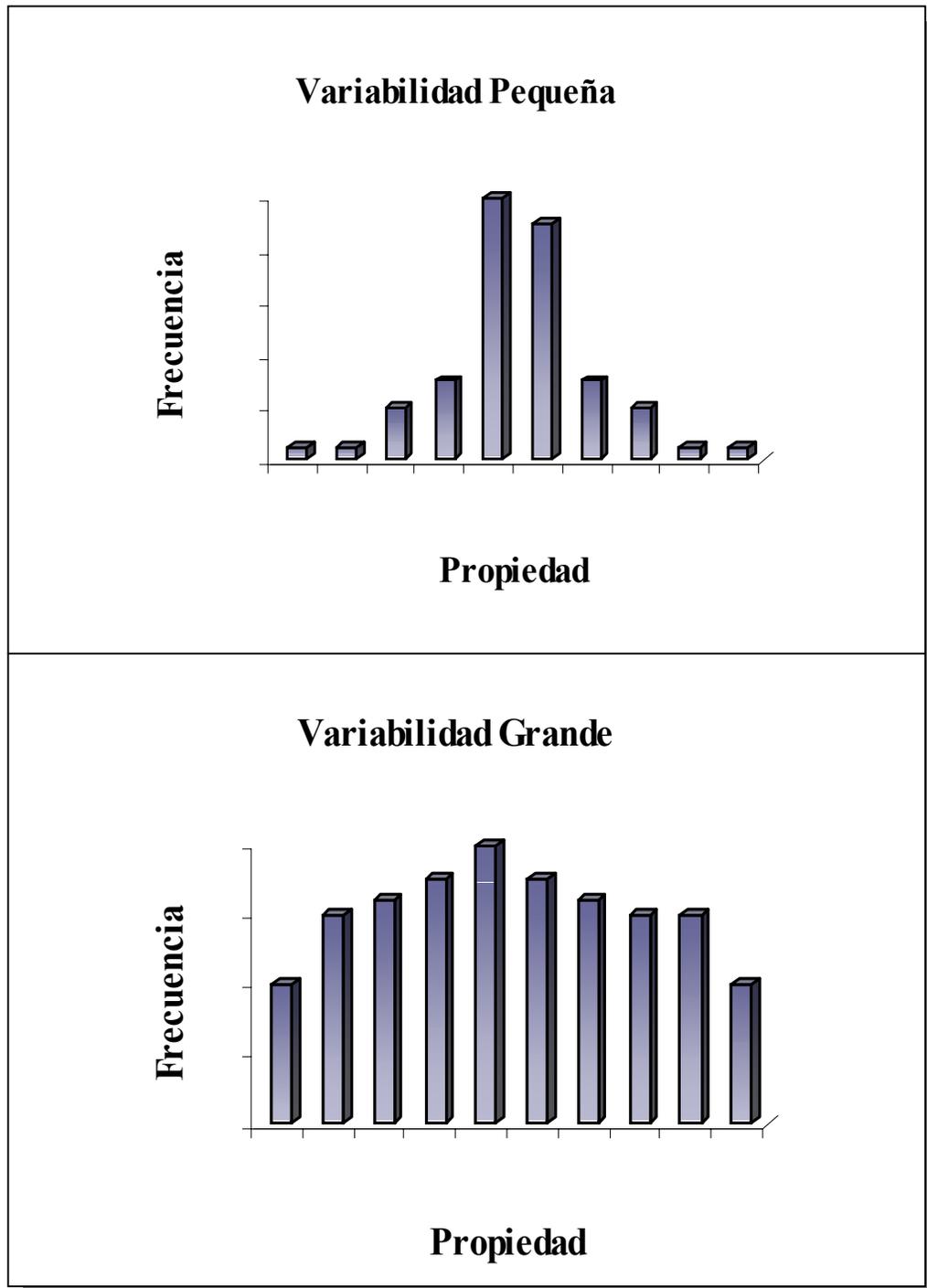
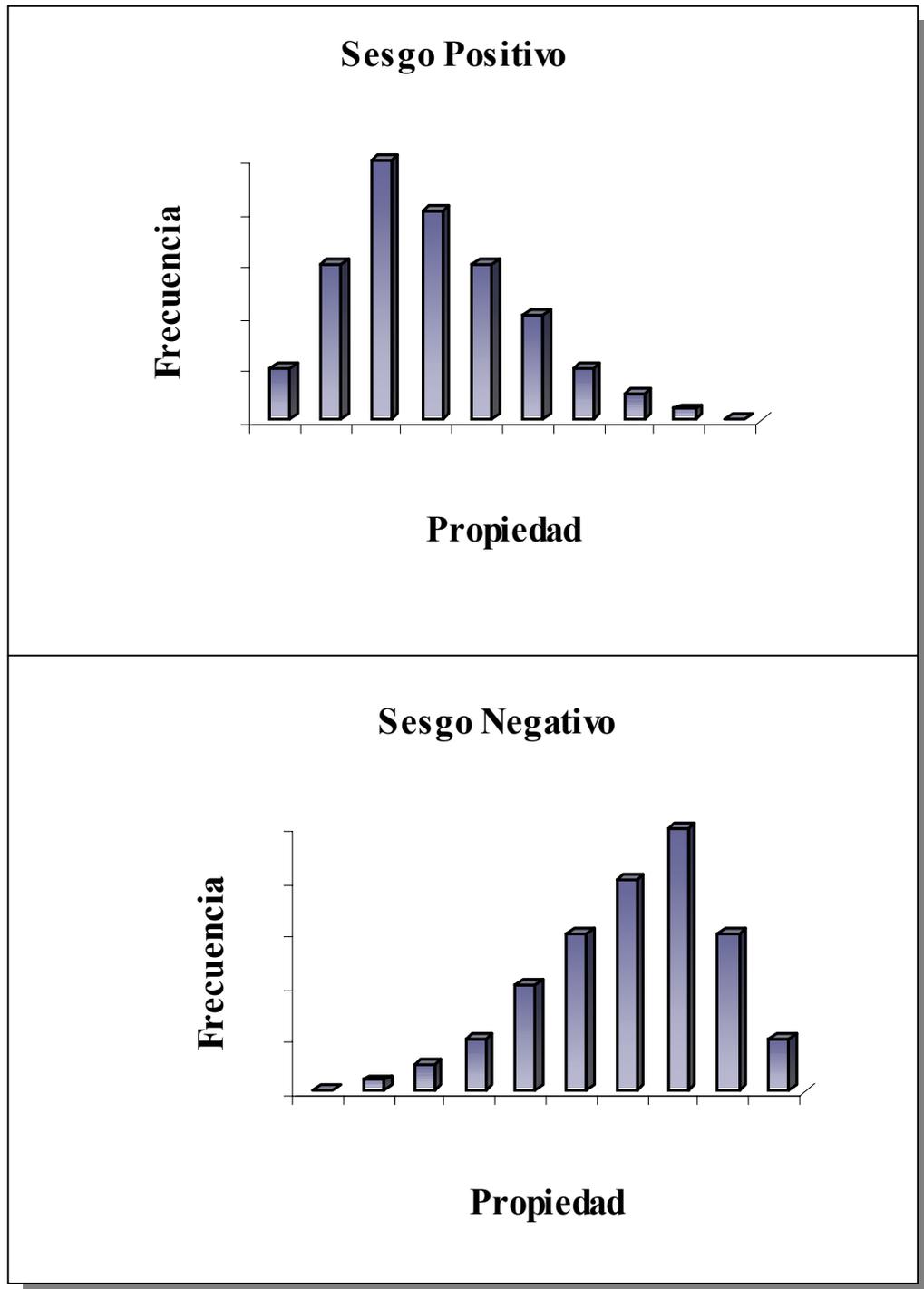


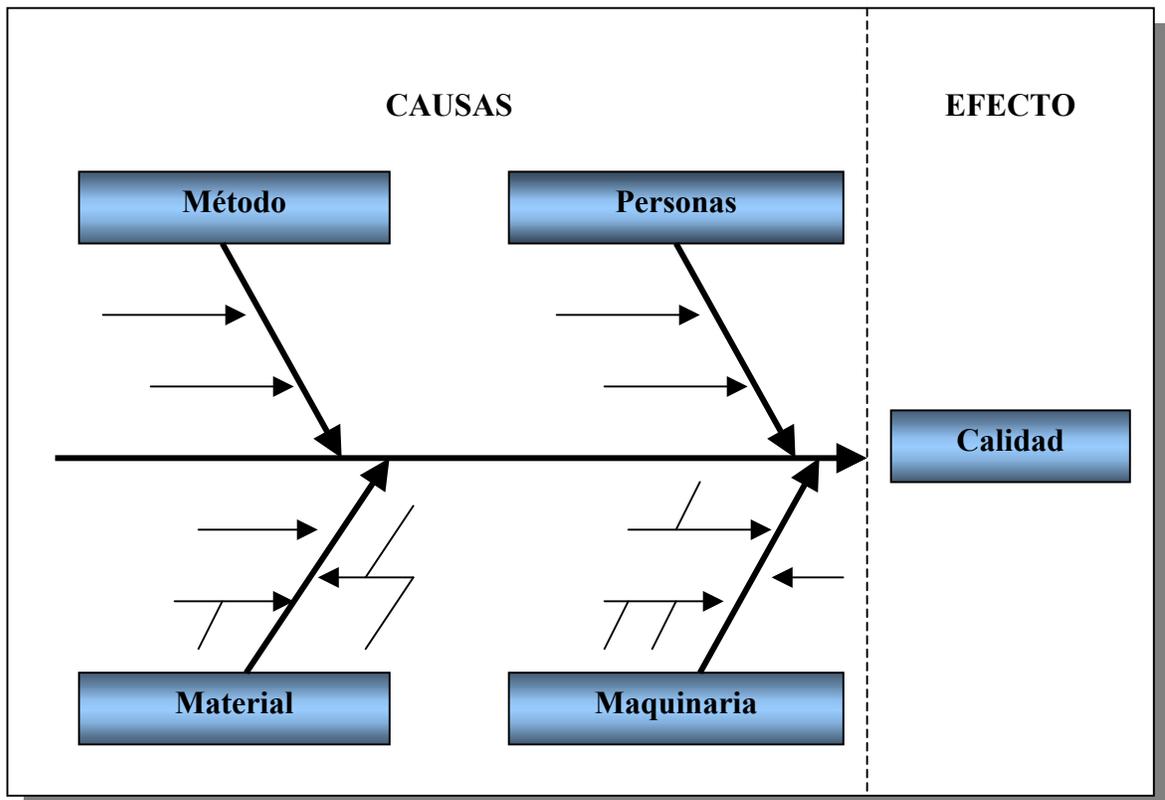
Figura 2.6. Histograma. Sesgo.



II.3.3. Diagrama Causa y Efecto

Representa la relación entre algún efecto y todas las posibles causas que lo influyen. Para cada efecto generalmente surgirán varias categorías de causas principales que pueden ser resumidas en personas, maquinarias, métodos y materiales. Un diagrama de causa y efecto bien detallado, permite identificar y seleccionar las causas más comunes para un análisis mayor. Un ejemplo de esta herramienta estadística se observa en la figura 2.7.

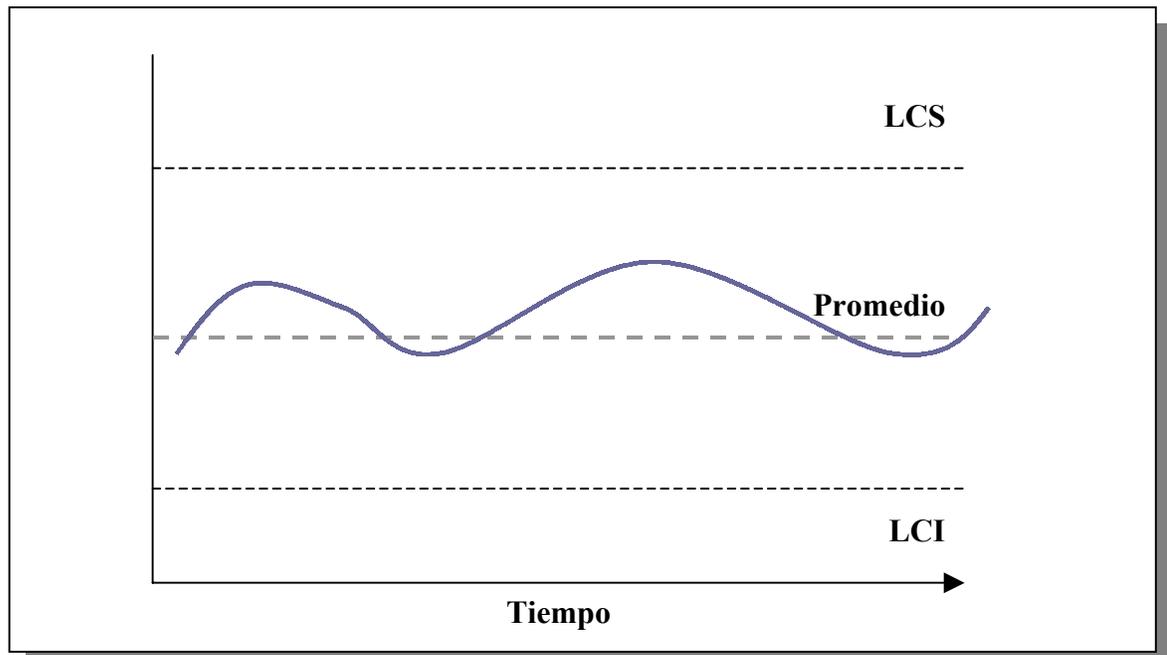
Figura 2.7. Diagrama Causa y Efecto.



II.3.4. Gráfico de Control

Es un gráfico que muestra la tendencia seguida por un proceso por medio de la representación visual de la data, con el fin de determinar si el mismo se encuentra fuera de control y si el promedio a largo plazo ha cambiado (cambios o tendencias) dentro de límites de control estadísticamente determinados. Estos límites se denominan límite de control superior (LCS) y límite de control inferior (LCI) y se colocan equidistantes a ambos lados de la línea que indica el promedio de un proceso. (Ver figura 2.8).

Figura 2.8. Gráfico de Control



La fluctuación de los puntos dentro de los límites resulta de causas comunes dentro del sistema y solo puede ser afectada si se cambia el sistema. Los puntos fuera de los límites se originan por causas especiales que no forman parte del funcionamiento normal del proceso o resulta de una combinación improbable de variables del proceso.



METODOLOGÍA

III. METODOLOGÍA

La metodología se realizó para identificar los principales factores que retrasan las operaciones de perforación, a través de la utilización de herramientas estadísticas que permitan realizar evaluaciones y comparaciones entre las áreas operacionales de estudio, con la finalidad de disminuir los tiempos de perforación depurando las actividades y enrumbando las operaciones hacia una mejora en la productividad y en las ganancias.

Lo que se busca es estandarizar las operaciones de perforación, en las áreas estudiadas, a partir de las actividades no productivas que poseen mayor índice de frecuencias mediante la obtención de parámetros que funcionen como bases para futuras perforaciones de pozos.

Para tal fin se dividió la metodología en ocho etapas bien definidas, que en conjunto corresponden a un completo análisis del problema planteado:

- Recopilación de la información
- Validación de los datos
- Selección de la muestra
- Descripción de la fase perforar
- Migración y categorización de los datos
- Análisis estadístico
- Identificación de las causas
- Presentación de las recomendaciones en vías de solucionar el problema planteado

III.1. Recopilación de la información

Esta fase de la metodología tiene como meta agrupar la información requerida para realizar la evaluación estadística.

Los datos estudiados se obtuvieron de la base de datos de PDVSA en perforación, denominada Drilling Information Measurements System (DIMS). El DIMS obtiene la información directamente de la localización donde se ubica el taladro a través de la red interna de la compañía perforadora, en este caso PDVSA. Esta base de datos proporciona sumarios de operaciones, reportes diarios de perforación, completación, y reentrada, dependiendo de la operación que se la haya aplicado al pozo.

En el presente caso en particular se tomaron los pozos que se encontraban siendo perforados en el Oriente del país y que además poseían la información cargada en la base de datos DIMS. Por lo tanto se recopiló la información a partir de los reportes de perforación por ser ésta la operación a optimizar.

III.2. Validación de los datos

La validación de los datos persigue la depuración de la información para obtener una muestra de limpieza considerable que permita realizar un análisis que ofrezca como resultado conclusiones reales de lo que está ocurriendo en las áreas actualmente, ayudando a tomar las medidas necesarias que indiquen la mejor solución al problema y de este modo poder inferir en el comportamiento de las operaciones de perforación a corto y mediano plazo.

Para ésta etapa de la metodología se procedió a revisar día por día el sumario de operaciones de perforación de los pozos prospectos a ser evaluados verificando que la información contenida estuviese completa y también que no existieran incoherencias en cuanto a secuencia de etapas, actividades, y sub-actividades. Para realizar esta revisión se procedió de acuerdo a los siguientes pasos:

- Leer día por día el sumario de operaciones de los pozos prospectos, si se encontraban días que contuvieran espacios en blanco o que presentaran incongruencias en cuanto a la secuencia de las actividades, se procede al siguiente paso.
- Si el pozo se encontraba en operaciones para el momento de la revisión, se procedió a verificar la información obtenida en el DIMS directamente con el ingeniero encargado de cargar la información en la base de datos. Como la mayoría de las veces se dificultaba la comunicación, se tomó la decisión de trabajar sólo con las etapas y actividades de la fase perforar ya que las mayores dificultades se presentaban en los espacios de llenado correspondientes a las sub -actividades.
- Se realizó la selección de datos representativos para la aplicación de las herramientas de estadística y posterior evaluación.
- Mediante la utilización de comandos contenidos en el DIMS, los cuales permiten filtrar diferentes informaciones, se elaboraron historias de pozos similares a los sumarios pero que reflejan sólo las etapas y actividades de los tiempos no productivos en la fase perforar.

III.3. Selección de la Muestra

Los pozos escogidos para la evaluación corresponde a una muestra de 34 pozos correspondientes a tres meses de estudio en un intervalo de tiempo que inicia el 23/07/2002 y finaliza el 23/10/2002, pertenecientes al Oriente del país distribuidos entre las áreas operacionales Punta de Mata, San Tomé, Anaco y Maturín como se muestra en la Tabla 3.1:

ÁREA OPERACIONAL	# POZOS
Punta de Mata	3
San Tomé	22
Anaco	5
Maturín	4

Tabla 3.1. Número de pozos por área seleccionada.

III.4. Descripción de las etapas y actividades de la fase perforar

En esta parte del estudio, se identificaron las actividades no productivas para cada pozo, hoyo y área, según la Metodología de Construcción de Pozos seguida por PDVSA, para clasificar los problemas operacionales y sus respectivos tiempos. Las siguientes, son las actividades que se deben tomar en cuenta en la clasificación de la data:

III.4.1. Actividades comunes no productivas en las etapas de la fase perforar

Estas actividades son las identificadas en cada uno de los pozos de la muestra seleccionada y se nombran a continuación:

- Condiciones ambientales
- Paro cívico/sindical/legal
- Reparaciones PDVSA
- Reparaciones contratista
- Esperas PDVSA
- Esperas contratista

- Atascamiento de tubería
- Pérdida de circulación
- Control de arremetida
- Pesca
- Otros

III.4.2. Actividades No productivas para cada etapa de la fase perforación

Esta fase está constituida por tres etapas que son nombradas a continuación:

III.4.2.1. Etapa perforar

III.4.2.1.1. Actividades no productivas

- Reacondicionar hoyo
- Reacondicionar fluido
- Fallas en la sarta de perforación
- Desvíos
- Complejidad geológica
- Fallas de revestidores
- Falla de integridad de formación
- Fallas medidas de desviación / presión / temperatura

- Actividades no productivas comunes

III.4.2.2. Etapa Evaluación Geológica y Petrofísica

III.4.2.2.1. Actividades no productivas

- Fallas de registros
- Fallas de núcleos
- Actividades no productivas comunes

III.4.2.3. Etapa Revestidores

III.4.2.3.1. Actividades no productivas

- Fallas en la corrida de revestidores
- Fallas de Cementación
- Fallas de registros
- Fallas de cabezal y válvulas impide reventones
- Actividades no productivas comunes

III.5. Migración y categorización de los datos

Para facilitar el análisis de los datos, en esta fase de la metodología se procedió a cargar los datos filtrados en el DIMS en hojas de cálculo del programa Excel, en las cuales se especifica la distribución de tiempos perfectamente desglosada para cada etapa y actividad no productiva de la fase perforar.

Esta migración y categorización de la data en hojas de Excel, permite obtener una mejor visión de los tiempos no productivos así como también de las

actividades que los generan. Además proporciona herramientas que simplifican el análisis estadístico de una data tan extensa como la que se maneja en este Trabajo Especial de Grado.

III.6. Análisis estadístico

Esta fase consiste en la aplicación de herramientas básicas de estadística que proveen el escenario adecuado para la evaluación del comportamiento de los distintos pozos seleccionados, estimando las fallas que presentan mayores pesos estadísticos de acuerdo al tipo de hoyo donde se observaron (conductor, de superficie, intermedio 1, intermedio 2 y producción), y al área operacional a la que pertenezcan.

La idea es identificar la tendencia que siguen para clasificarlos y obtener proyecciones de lo que puede ocurrir en las actividades de perforación de un pozo en las distintas áreas contenidas en este Trabajo Especial de Grado, para luego tomar las prevenciones necesarias resultando en la optimización de las operaciones.

Para tal fin se utilizaron las herramientas estadísticas descritas a cabalidad en el Marco Teórico del presente Trabajo Especial de Grado.

El análisis estadístico se llevó a cabo siguiendo la metodología que se expone a continuación:

- Inicialmente se realizaron diagramas de pareto de porcentaje de tiempos no productivos para cada pozo, igualmente se realizó este diagrama para cada área según el tiempo no productivo en días, con el objeto de identificar los pozos y áreas más problemáticos.
- Seguidamente se construyó un diagrama de pareto de porcentajes de tiempos improductivos tanto a nivel del hoyo (tiempo problema) como en superficie (tiempo perdido).

- Luego se llevo a cabo un gráfico de control de tiempos de la fase perforar de toda la muestra seleccionada, a fin de definir si el proceso se encuentra fuera de control.
- Seguidamente se elaboró un histograma de frecuencia para determinar el intervalo de tiempo de perforación con mayor índice de ocurrencia.
- A continuación se realizó un diagrama causa – efecto para identificar detalladamente las causas del aumento de los tiempos de perforación.
- Posteriormente se ejecutó un diagrama de pareto que muestra los tiempos no productivos para cada tipo de hoyo perforado, con el propósito de identificar el más ineficiente.
- Para cada tipo de hoyo y área se realizó un diagrama de pareto que muestra la frecuencia de actividades no productivas, además de uno que muestra dichas actividades con sus tiempos asociados.
- Finalmente para cada hoyo y área se realizó una tabla que muestra los pesos estadísticos de cada actividad, con el fin de identificar que problema genera mayor impacto en las operaciones de perforación y de este modo minimizarlo.

III.7. Identificación de las causas

La identificación de las causas representa una de las fases más importantes de esta metodología, ya que a partir de ella se realizan las conclusiones y recomendaciones del problema que se evalúa.

Para la realización de esta etapa de la metodología se utilizaron herramientas como diagramas de pareto, gráficos de control y diagramas causa-efecto, que identifican claramente las causas de los tiempos no productivos en las operaciones de perforación así como también las posibles soluciones factibles de aplicar.

III.8. Presentación de recomendaciones

Mediante los resultados arrojados en la identificación de las causas y posibles soluciones se procedió a la elaboración de recomendaciones cuyo objetivo fundamental es eliminar al máximo la presencia de tiempos no productivos con la finalidad de optimizar las operaciones obteniendo como resultado un incremento en la productividad, además de la reducción de costos.



ANÁLISIS DE RESULTADOS

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis estadístico de los datos recopilados de acuerdo a la metodología de este Trabajo Especial de Grado arrojó los resultados que se presentan a continuación.

El diagrama de pareto de porcentaje de horas dedicadas a actividades no productivas en cada uno de los pozos, se observa en la figura 4.1, en donde se aprecia que el porcentaje de tiempos no productivos oscila entre un valor mínimo de 0,84% y un máximo de 42,01%.

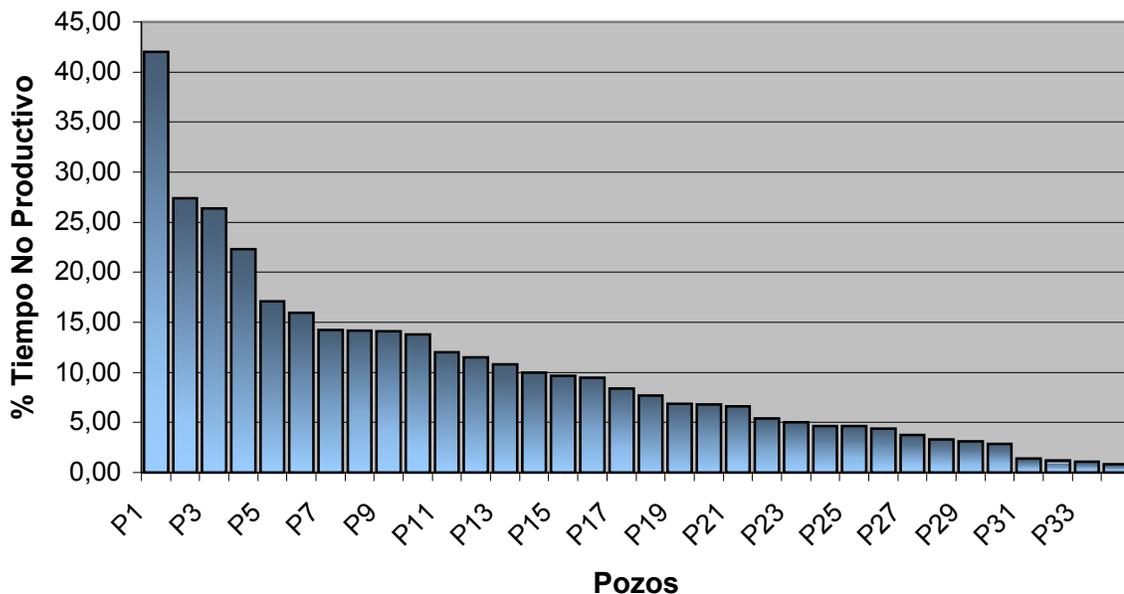


Figura 4.1 Diagrama de pareto de porcentajes de tiempos no productivos en cada pozo

La figura 4.2 presenta un diagrama de pareto de tiempos no productivos por área operacional, donde se muestra que una mayor cantidad de días no productivos se consumieron en Maturín con un total de 70 días, mientras que San Tomé se presenta como el área que posee menor cantidad de tiempos no productivos con un total de 40 días.

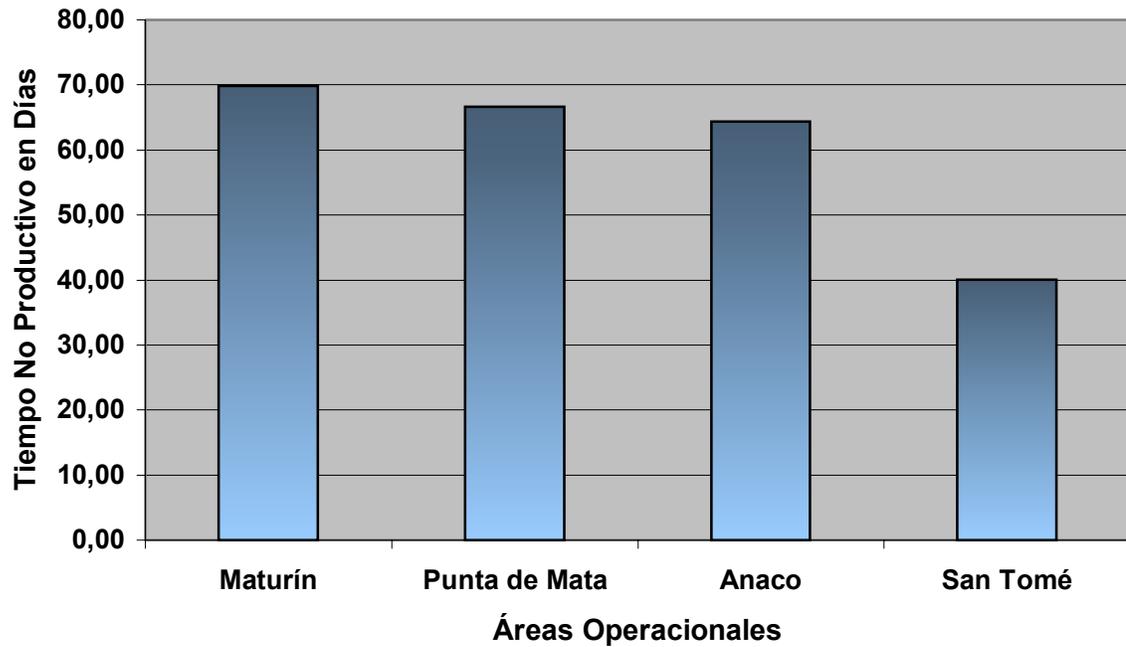


Figura 4.2 Diagrama de pareto de tiempos no productivos por área

A través de la Figura 4.3 se observa el porcentaje de tiempos no productivos que representan tiempos problemas, el cual fue de 53,4% así como también el porcentaje que refleja tiempo perdido con un valor de 46,6%.

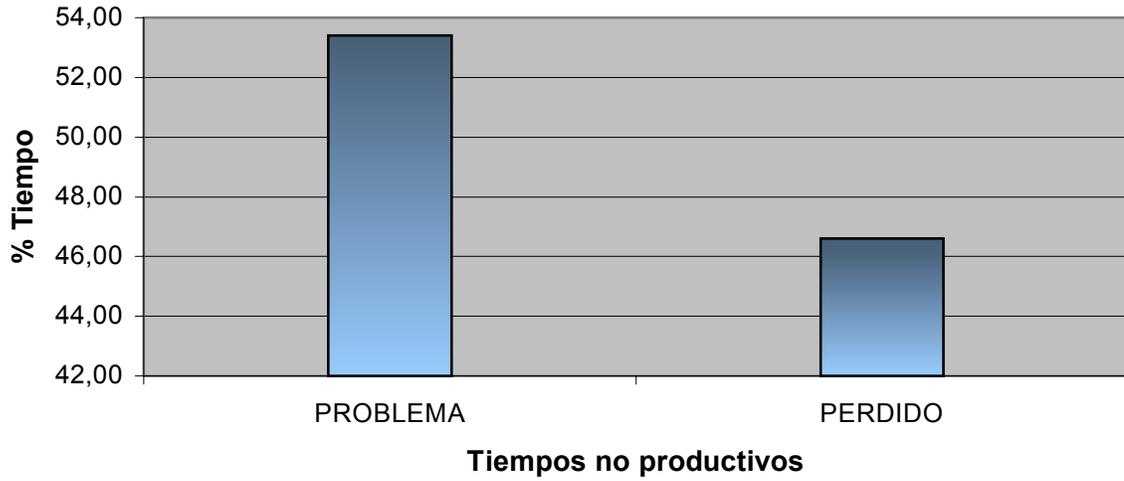


Figura 4.3 Porcentaje de tiempos problemas y tiempos perdidos

La figura 4.4 ofrece un estudio más detallado ya que determina que la media del proceso de la fase perforar, es de 51,13 días, el límite de control superior es de 91,58 días y el límite de control inferior es de 10,68 días, reflejando que el proceso se encuentra fuera de control ya que existen pozos cuyos tiempos de perforación están fuera de los límites superior e inferior del gráfico de control.

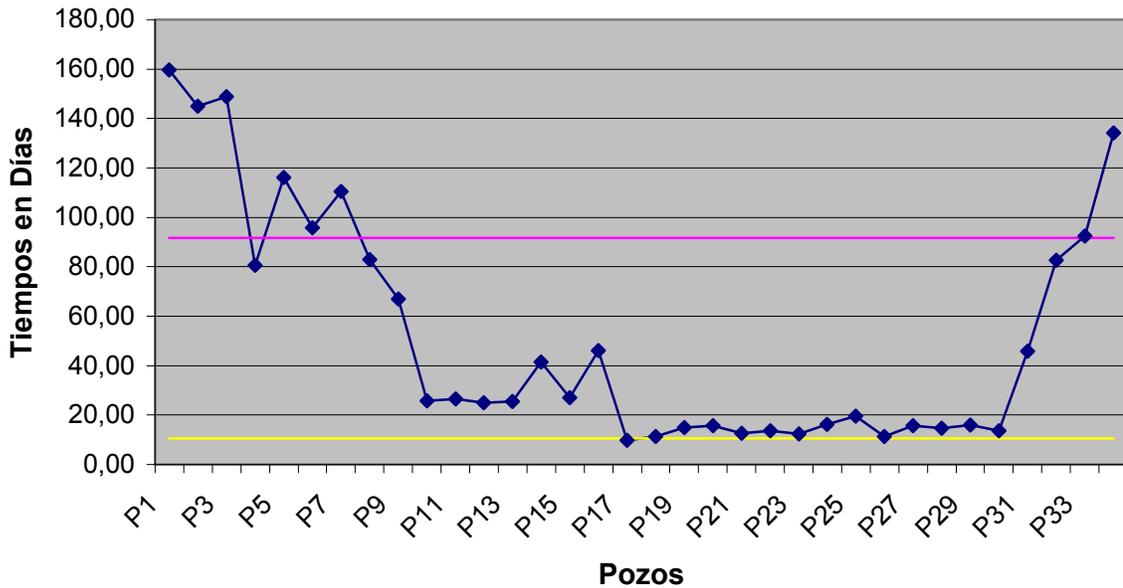


Figura 4.4 Gráfico de control para la fase perforar

El gráfico de control indica que en la muestra estudiada, se encuentran ocho pozos cuyos valores de tiempos de perforación están por encima del límite superior de control de 91,58 días, mientras que uno presenta tiempo de perforación por debajo del límite inferior del proceso, que es 10,68 días. Los cálculos de los valores utilizados para efectuar el gráfico de control del proceso se encuentran en el apéndice de cálculos tipos.

La variación en el comportamiento de los pozos estudiados en cuanto a tiempo de perforación, indica que existe presencia de causas que de uno u otro modo descontrolan el proceso de la fase perforar. Dichas causas requieren del estudio detallado que conducen a su perfecta identificación para lograr erradicarlas en lo posible alcanzando la depuración del proceso.

El siguiente gráfico estudiado es un histograma de frecuencia de la fase perforar, que se muestra en la Figura 4.5, éste indica que dicha fase se ha realizado con mayor frecuencia en un intervalo de tiempo comprendido entre 9,88 y 34,85 días, además de representar este lapso de tiempo los pozos más eficientes en el área

estudiada por ser los que presentan una menor cantidad de tiempo requerido para realizar las operaciones inherentes a la perforación. Por lo antes expuesto el pozo más eficiente de la muestra seleccionada tuvo un tiempo de perforación de 9,88 días.

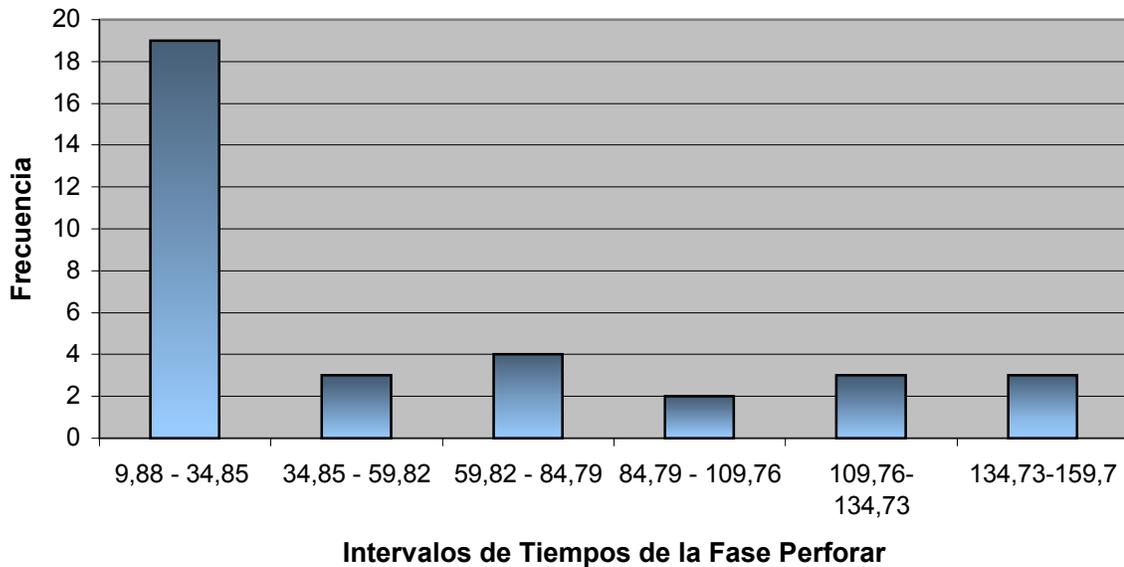


Figura 4.5 Histograma de frecuencia de los tiempos de la fase perforar

También se presentan un número importante de pozos, 16 en total, cuyos tiempos de perforación aumentaron con respecto al rango de menor tiempo (9,88 – 34,85), lo cual hace indispensable profundizar el estudio estadístico para determinar las causas de dicho incremento.

La Figura 4.6 muestra un diagrama causa-efecto que identifica detalladamente las causas del aumento de los tiempos de perforación. En el mismo se observa que en todas las fases de las operaciones de perforación (hoyo conductor, hoyo de superficie, hoyo intermedio 1, hoyo intermedio 2, hoyo de producción), estuvieron presentes diversas fallas afectando la productividad del proceso.

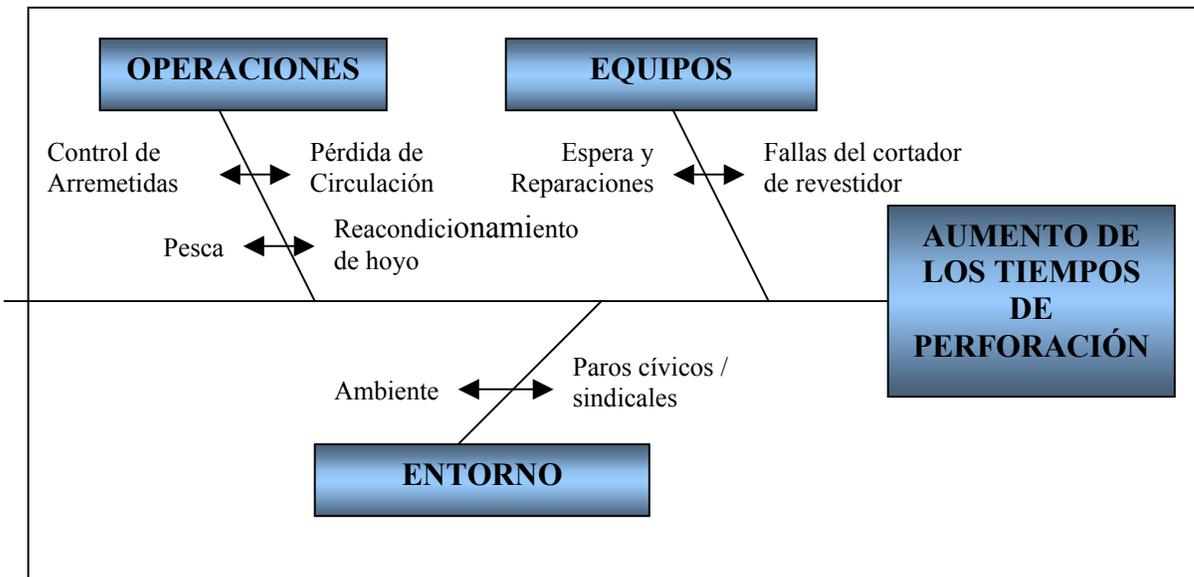


Figura 4.6 Diagrama causa-efecto de la fase perforar

El diagrama de pareto siguiente (figura 4.7), muestra los tiempos no productivos en cada fase de los hoyos perforados.

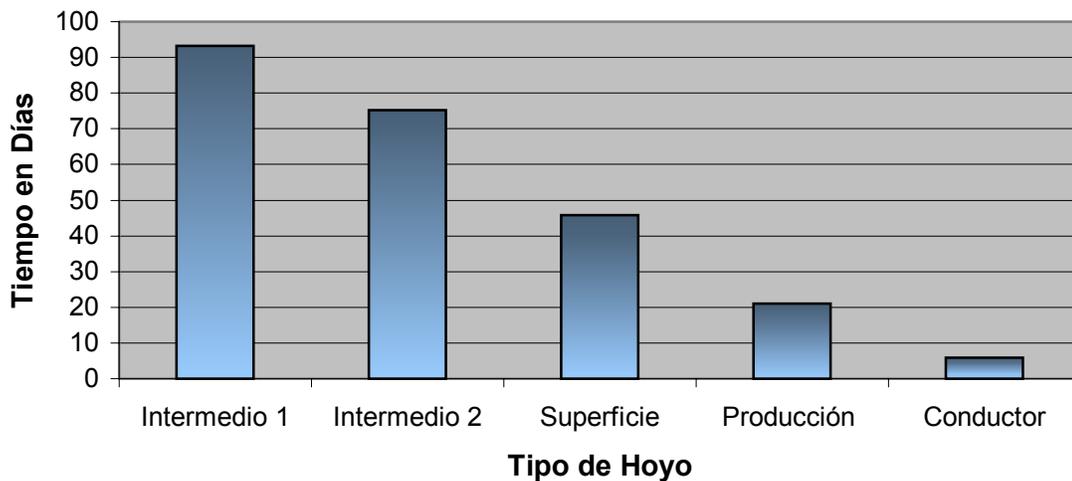


Figura 4.7 Diagrama de pareto de tiempos no productivos por tipo de hoyo

A través del diagrama de Pareto de tiempos no productivos respecto al tipo de hoyo, se observa que existe una mayor cantidad de días empleados en actividades no productivas para el hoyo intermedio 1, esto sugiere que en esta etapa se producen más fallas que en las demás etapas de la perforación. En la fase del hoyo de intermedio 2, también ocurrieron una gran cantidad de problemas operacionales lo cual se refleja en la extensa cantidad de días no productivos, igualmente sucede, con menor intensidad, en la fase del hoyo de superficie. Así mismo la perforación del hoyo conductor resultó ser la más eficiente debido a la poca cantidad de tiempo no productivo. Por lo tanto se dividió el estudio según las respectivas fases de perforación, para así obtener un análisis más específico y detallado.

IV.1 Fases de la Perforación

IV.1.1 Perforación del Hoyo Conductor

Como se mencionó anteriormente la fase de perforación que resulta más eficiente en la muestra estudiada es la del hoyo conductor, sin embargo presenta fallas que deben identificarse para atacarlas correctamente.

Para identificar las fallas más frecuentes ocurridas en esta etapa, se procedió a realizar un Diagrama de Pareto como lo muestra la figura 4.8.

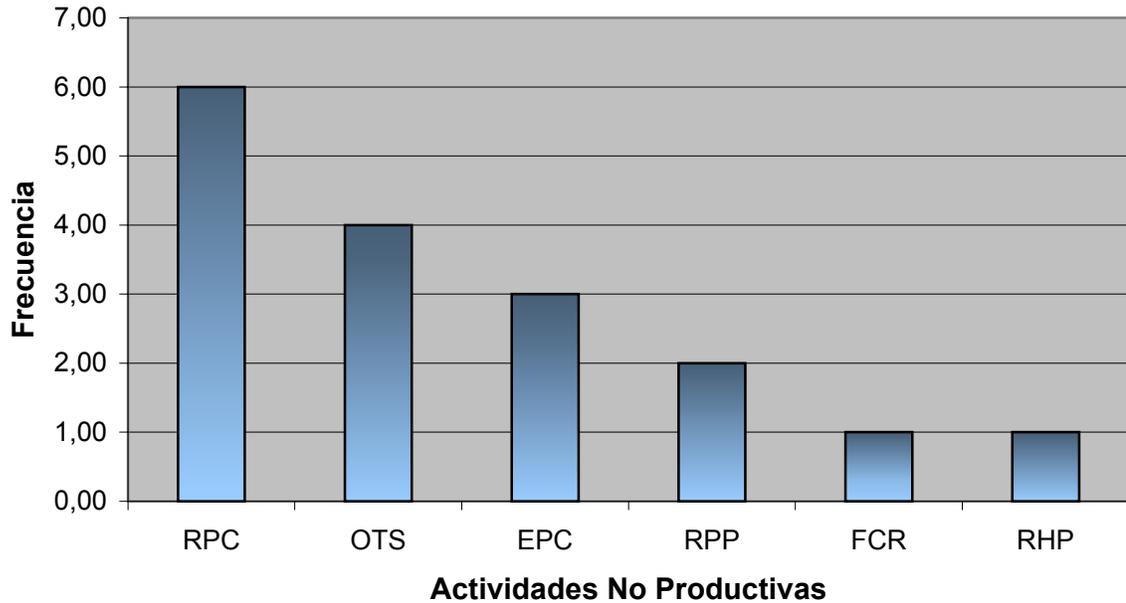


Figura 4.8 Diagrama de pareto de frecuencia de actividades no productivas en el hoyo conductor

De acuerdo al diagrama presentado, la actividad no productiva que presenta mayor índice de frecuencia son las relacionadas con reparaciones de equipos de perforación a cargo de las compañías de servicios (RPC). Así mismo se observa que las actividades relacionadas con tiempos improductivos y que se encuentran descritas en la metodología para la construcción de pozos como Otros (OTS), presenta también un alto índice de frecuencia ocupando el segundo lugar de actividades con mayor índice de ocurrencia. Seguidamente se encuentran las esperas por suministro de equipos por parte de las compañías de servicios (EPC), las reparaciones de equipos de perforación a cargo de PDVSA (RPP), y las que presentan menor índice de ocurrencia en este tipo de hoyo son las relacionadas con las actividades de reacondicionamiento del hoyo (RHP) y fallas en el cortador del revestidor (FCR).

Para analizar la cantidad de tiempo que se empleó en las fallas operacionales del hoyo conductor se realizó un diagrama de pareto de actividades no productivas y de sus respectivos tiempos, mostrado en la figura 4.9.

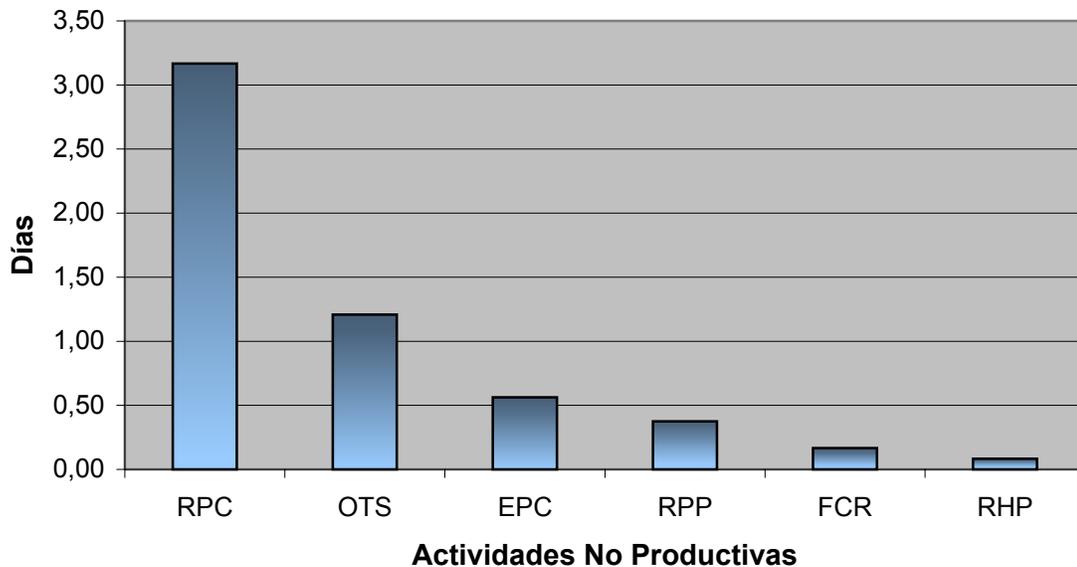


Figura 4.9 Diagrama de pareto de actividades no productivas y sus tiempos, en el hoyo conductor

La actividad que consumió mayor cantidad de tiempo es la de reparaciones de equipos a cargo de la contratista con 3,17 días, seguidamente se encuentra aquellas actividades no productivas que no poseen clasificación dentro de la metodología de construcción de pozos descrita en el Marco Teórico del presente Trabajo Especial de Grado, con 1,21 días, las esperas del suministro de equipos por parte de las compañías de servicios consumió 0,56 días, las reparaciones de equipos a cargo de PDVSA gastaron 0,38 días, el tiempo empleado en reparar las fallas del cortador del revestidor fue de 0,17 días y el empleado en el reacondicionamiento del hoyo fue de 0,08 días.

Con el propósito de evaluar que actividad no productiva ofrece mayor impacto a la perforación del hoyo conductor se realizó una tabla con los pesos estadísticos de cada problema. La tabla 4.1 muestra que las actividades de reparaciones de equipos a cargo de las contratistas, ofrecen un mayor impacto en el aumento de los tiempos de perforación del hoyo conductor.

Problemas	Tiempo en Días	Frecuencia	Peso Estadístico
RPC	3,17	6	19,02
OTS	1,21	4	4,84
EPC	0,56	3	1,68
RPP	0,38	2	0,76
FCR	0,17	1	0,17
RHP	0,08	1	0,08

Tabla 4.1 Peso estadístico de los problemas en la perforación del hoyo conductor

IV.1.2 Perforación del Hoyo de Superficie

En la figura 4.7 se observa que el tiempo empleado para resolver problemas en el hoyo de superficie es de 45,89 días, que, a pesar de no ser el más alto de todos, representa una cantidad importante de días de retraso en la perforación de dicho hoyo.

Para analizar la etapa de perforación del hoyo de superficie, se procedió de igual modo que con el hoyo conductor. Se realizaron dos diagramas de pareto, uno que refleja la frecuencia de las fallas ocurridas y el otro la cantidad de tiempo en días que consumieron estas fallas. Tal es el caso de la figura 4.10 y 4.11 respectivamente.

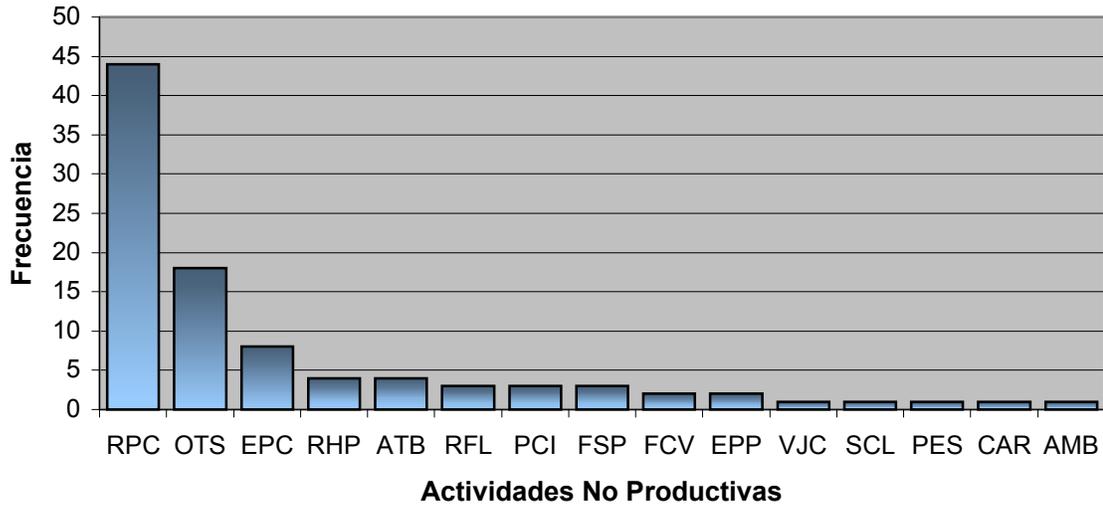


Figura 4.10 Diagrama de pareto de frecuencia de actividades no productivas en la perforación del hoyo de superficie

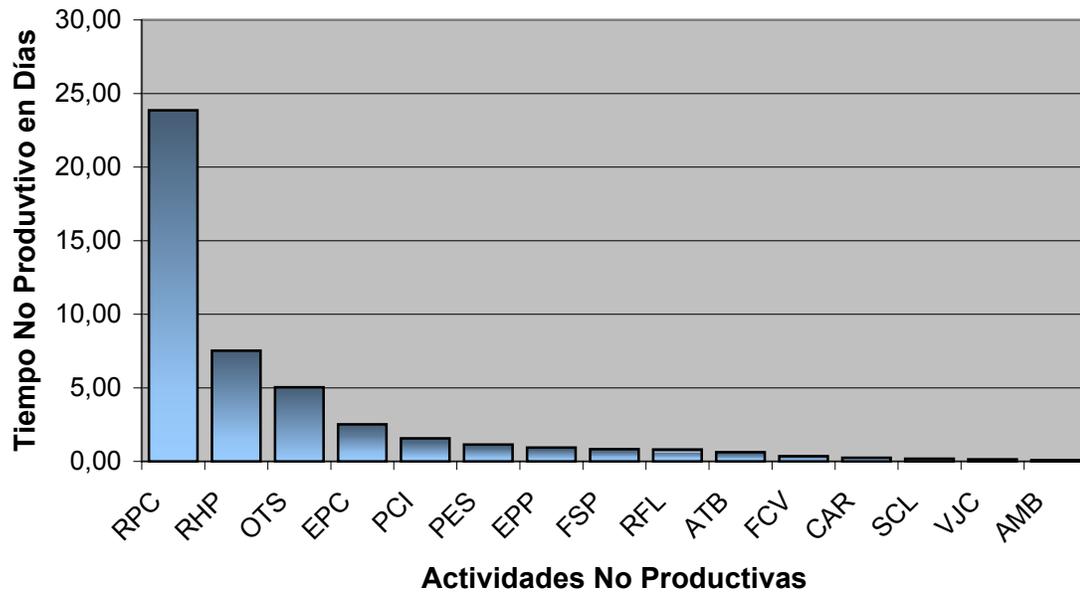


Figura 4.11 Diagrama de pareto de actividades no productivas y sus tiempos en el hoyo de superficie

De la figura 4.10 se obtiene que la actividad no productiva más frecuente es reparaciones en los equipos de perforación a cargo de las contratistas, estas reparaciones consumen la mayor cantidad de tiempo improductivo de la perforación del hoyo de superficie, como se muestra en la figura 4.11. En orden descendiente de frecuencia se tiene que la segunda actividad no productiva que se llevó a cabo en el hoyo de superficie es otras reparaciones que no pertenecen a ninguna clasificación en la metodología de construcción de pozos descrita en el Marco Teórico del presente Trabajo Especial de Grado, y que consumieron 5,04 días, luego se observa que los tiempos asociados a esperas de suministro de equipos a cargo de las empresas proveedoras de servicios tardaron 2,52 días, seguidamente las actividades de reacondicionamiento de hoyo y la pega de tubería (ATB) presentaron igual índice de frecuencia, sin embargo la primera consumió 7,52 días, mientras que la segunda 0,63 días, en este mismo orden se encontró que las actividades de reacondicionamiento de fluidos (RFL), las de pérdida de circulación (PCI) y las fallas en la sarta de perforación (FSP) se repitieron la misma cantidad de veces en el hoyo de superficie, con un tiempo asociado de 0,81 ; 1,56 y 0,83 días respectivamente. Luego están las fallas del cortador del revestidor y las esperas de suministro de equipos a cargo de PDVSA (EPP), con tiempos de 0,35 y 0,94 días respectivamente. Por último las actividades que presentaron menor índice de frecuencia son los viajes cortos (VJC) realizados con la finalidad de verificar las condiciones del hoyo, con un tiempo asociado de 0,15 días, las actividades de pesca (PES) con un tiempo de 1,15 días, las actividades realizadas para el control de arremetidas (CAR) con un tiempo de 0,25 días, la paralización de actividades a causa de condiciones ambientales (AMB) con un tiempo de 0,08 días y los paros cívicos y sindicales (SCL) con 0,19 días asociados.

Luego se realizó una tabla de pesos estadísticos de cada una de las actividades para evaluar el impacto de las mismas en las operaciones de perforación del hoyo de superficie, donde se muestra que las actividades con mayores pesos estadísticos son las reparaciones a cargo de las contratistas y los

reacondicionamientos de hoyo, aunque esta última con menor impacto que la primera.

Problemas	Tiempo en Días	Frecuencia	Peso Estadístico
RPC	23,86	44	1049,84
RHP	7,52	4	30,08
OTS	5,04	18	90,72
EPC	2,52	8	20,16
PCI	1,56	3	4,68
PES	1,15	1	1,15
EPP	0,94	2	1,88
FSP	0,83	3	2,49
RFL	0,81	3	2,43
ATB	0,65	4	2,6
FCV	0,35	2	0,7
CAR	0,25	1	0,25
SCL	0,19	1	0,19
VJC	0,15	1	0,15
AMB	0,08	1	0,08

Tabla 4.2 Pesos estadísticos de los problemas en la perforación del hoyo de superficie

IV.1.3 Perforación del Hoyo Intermedio 1

La figura 4.7 muestra que la perforación del hoyo intermedio 1 presentó más fallas que las perforaciones de los demás hoyos, con un tiempo asociado a estas fallas de 93,29 días, colocando a esta fase de la perforación en principal candidata para la optimización de actividades.

Para realizar un estudio más detallado de las fallas que afectan los tiempos de perforación del hoyo intermedio, se procedió a realizar dos diagramas de pareto que reflejan la frecuencia de estas fallas y el tiempo asociado a las mismas mostrados en las figuras 4.12 y 4.13 respectivamente.

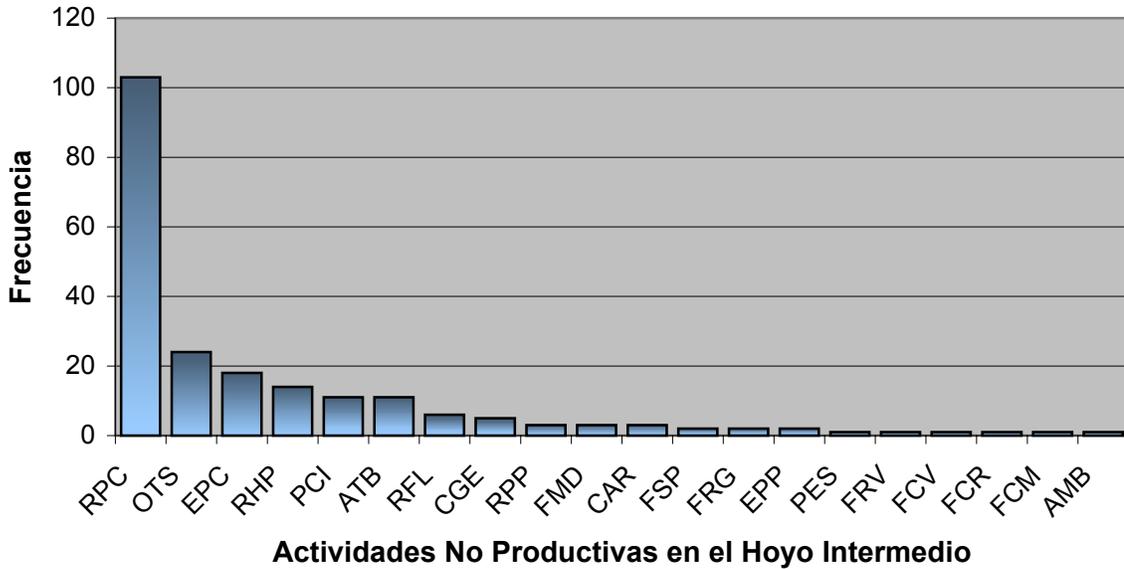


Figura 4.12 Diagrama de pareto de frecuencia de actividades no productivas en el hoyo intermedio 1

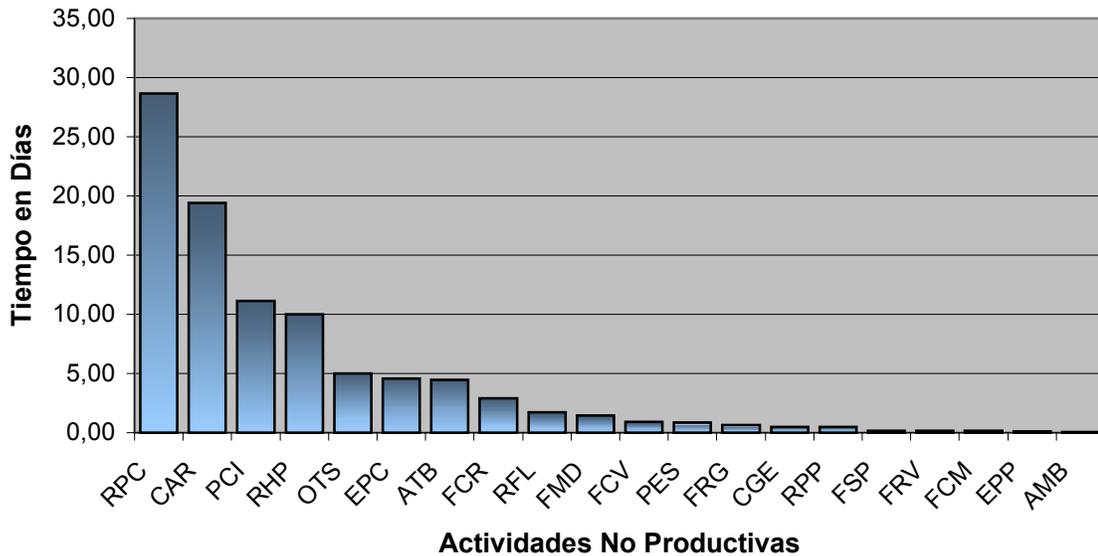


Figura 4.13 Diagrama de pareto de tiempos asociados a actividades no productivas en el hoyo intermedio 1

La actividad que presenta mayor índice de frecuencia es, al igual que en la fase de perforar hoyo conductor y hoyo de superficie, las reparaciones de equipos a cargo de las compañías de servicios con un tiempo asociado de 28,67 días, el más alto de todos los tiempos asociados a las demás fallas. En orden descendiente de frecuencia se encuentran las fallas denominadas otros por la metodología para la construcción de pozos, con un tiempo asociado de 5,02 días, luego están las esperas de equipos a cargo de las contratistas, con un tiempo asociado de 4,58 días, las actividades relacionadas a reacondicionamiento del hoyo, con un tiempo de 10 días, la pérdida de circulación y el atascamiento de tubería con igual índice de frecuencia pero con tiempos asociados distintos, 11,10 días y 4,48 días respectivamente, las actividades inherentes al reacondicionamiento del fluido, con un tiempo en días de 1,71, las complejidades geológicas (CGE) que no se tomaron en cuenta al momento de realizar el programa del pozo, con un tiempo asociado de 0,46 días, las reparaciones de equipos a cargo de PDVSA, las fallas en la toma de medida de desviación, presión y temperatura (FMD), y las actividades de control de arremetida, con igual número de ocurrencias pero

distinto tiempo asociado, 0,46, 1,44 y 19,42 días respectivamente, las fallas en la sarta de perforación, las encontradas en la toma de registros (FRG) y las esperas de suministro de equipos por parte de PDVSA con misma cantidad de frecuencia y tiempos asociados distintos, 0,19, 0,65 y 0,10 días respectivamente, por último están las de menor índice de frecuencia como fallas en los revestidores (FRV), fallas en el cabezal o en las válvulas impide reventones (FCV), fallas en el cortador del revestidor, fallas de cementación (FCM), actividades de pesca, y retrasos a causa de las condiciones ambientales, con tiempos asociados de 0,17; 0,92; 2,92; 0,15; 0,83 y 0,04 respectivamente.

En la tabla 4.3 se observa que la actividad con mayor peso estadístico es la reparación de equipos a cargo de la contratista, siendo ésta la que influye de un modo determinante en los retrasos operacionales, ya que las demás actividades tienen pesos estadísticos muy por debajo del valor de 2953,01.

Problema	Tiempo en Días	Frecuencia	Pesos Estadísticos
RPC	28,67	103	2953,01
OTS	5,02	24	120,48
EPC	4,58	18	82,44
RHP	10	14	140
PCI	11,10	11	122,1
ATB	4,48	11	49,28
RFL	1,71	6	10,26
CGE	0,46	5	2,3
RPP	0,46	3	1,38
FMD	1,44	3	4,32
CAR	19,42	3	58,26
FSP	4,5	2	9
FRG	0,65	2	1,3
EPP	2,5	2	5
PES	0,83	1	0,83
FRV	4	1	4
FCV	0,92	1	0,92
FCR	2,92	1	2,92
FCM	3,5	1	3,5
AMB	1	1	1

Tabla 4.3 Pesos estadísticos de los problemas en la perforación el hoyo intermedio 1

IV.1.4 Perforación del Hoyo Intermedio 2

La perforación del hoyo intermedio 2 se encuentra en segundo lugar en cuanto a días de tiempo asociado a actividades no productivas, con 75,21 días, lo que lo hace un potencial candidato para la aplicación de técnicas que persigan mejorar la eficiencia de esta operación.

Para evaluar las actividades no productivas más frecuentes que ocurrieron en la perforación de este hoyo se utilizó un diagrama de pareto representado en la figura 4.14. Como no basta sólo con conocer la frecuencia con la cual ocurren los problemas se realizó otro diagrama de pareto, que identifique la cantidad de días asociados a todas las fallas presentadas, el cual se observa en la figura 4.15.

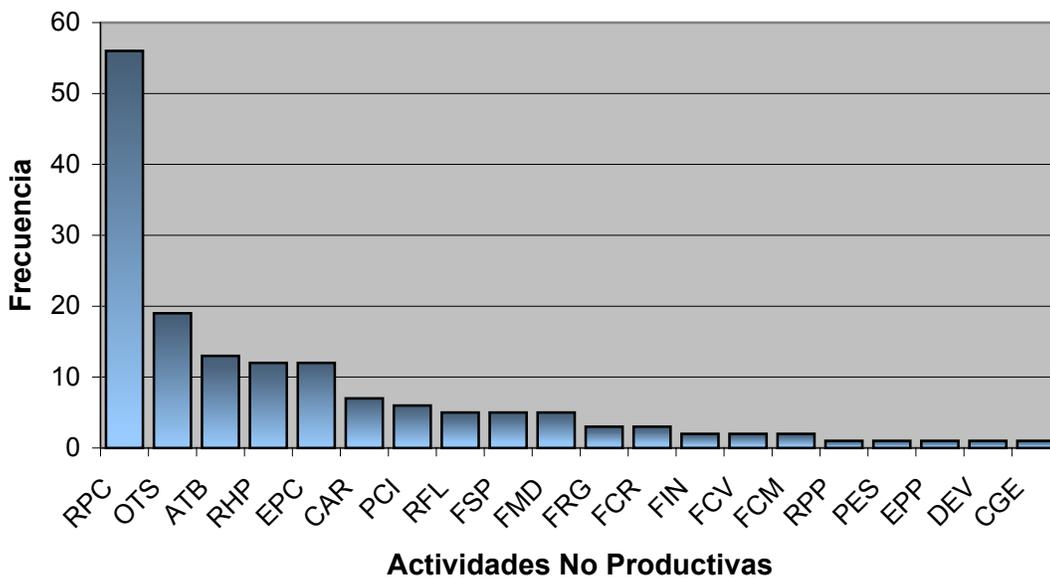


Figura 4.14. Diagrama de pareto de frecuencia de actividades no productivas en la perforación del hoyo intermedio 2

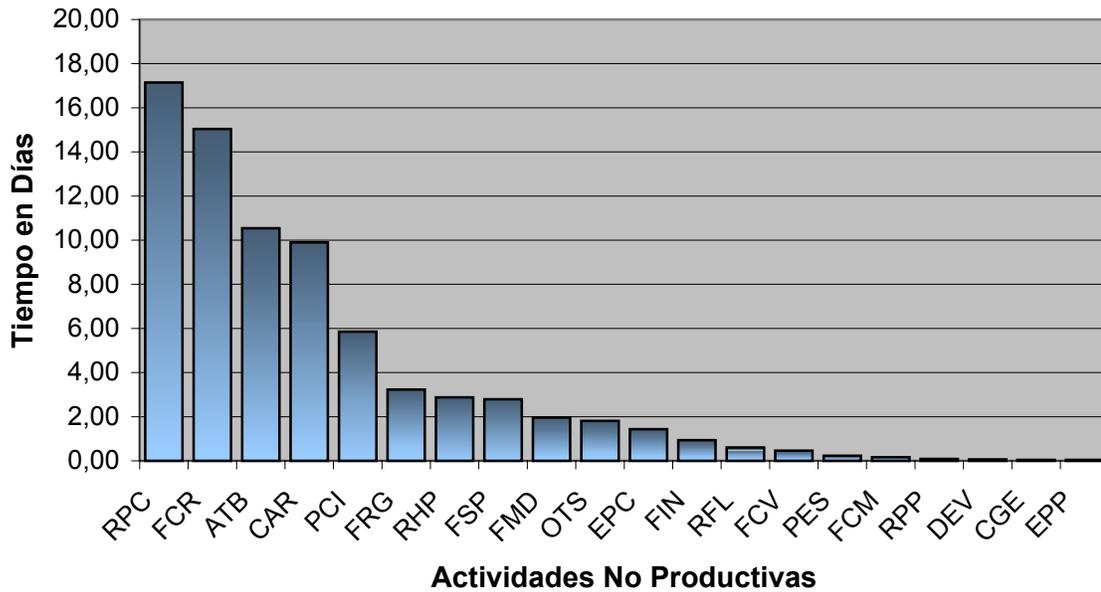


Figura 4.15. Diagrama de Pareto de actividades no productivas y sus tiempos asociados para la perforación del hoyo intermedio 2

En la figura 4.14 se observa que la actividad no productiva más frecuente en la perforación de este hoyo es la relacionada con las reparaciones de los equipos de perforación suministrados por la compañía de servicios a cargo de la operación, con una frecuencia de ocurrencias de 56 veces. Igualmente sucede en la figura 4.15, donde esta actividad presenta la mayor cantidad de tiempo asociado a ejecutar dichas reparaciones. Cabe resaltar que las demás actividades no productivas no presentan grandes índices de frecuencias si se comparan con esta actividad.

Los tiempos asociados a aquellas fallas que no pertenecen a ningún renglón en específico y que se denomina otros según la metodología para la construcción de pozos, presentan un índice de frecuencia de 19, y una cantidad de tiempo asociado de 1,81 días. Siguiendo un orden descendiente de frecuencia de ocurrencia, se encuentra el atascamiento de tubería con una frecuencia de 13, y un tiempo asociado de 10,54 días, le siguen las actividades de

reacondicionamiento del hoyo y esperas por suministro de equipos a cargo de la contratista con una frecuencia de 12 y un tiempo asociado de 2,88 y 1,44 respectivamente. Las arremetidas ocurrieron 7 veces en este tipo de hoyo, con un tiempo asociado de 9,90 días. Las pérdidas de circulación tienen una frecuencia de ocurrencia de 7 con un tiempo asociado de 5,85 días. Los reacondicionamientos de fluidos se realizaron 5 veces y presentaron un tiempo asociado de 0,6 días, así mismo las fallas en la sarta de perforación y en las tomas de medidas de desviación, presión y temperatura tienen una frecuencia de 5 y tiempos asociados de 2,79 y 1,96 respectivamente. También se presentaron fallas en las tomas de registros y en el cortador del revestidor, con una frecuencia de 3 cada una, y tiempos asociados de 3,23 y 15,04 días respectivamente. Las fallas en las ejecuciones de la prueba de integridad de la formación (FIN), en el cabezal y en las válvulas impide reventones, así como también las fallas en la cementación, tuvieron un índice de frecuencia de 2 cada una y unos tiempos asociados de 0,94; 0,46 y 0,17 días respectivamente. Las actividades de reparación de equipos y de espera de suministros por parte de PDVSA, las operaciones de pesca, los desvíos (DEV) y las complejidades geológicas presentadas debido a omisiones en el programa original del pozo, tuvieron menores índice de frecuencia, 1 vez cada una, y unos tiempos asociados de 0,08; 0,04; 0,23; 0,06, y 0,04 respectivamente, siendo estas actividades las de menor impacto en los retrasos de las operaciones de perforación del hoyo intermedio 2.

Después de analizar las frecuencias de las actividades no productivas y sus tiempos asociados, se realizó una tabla de pesos estadísticos para determinar que actividades ofrecen un mayor impacto en los retrasos operacionales.

En la tabla 4.4 se puede observar que las actividades no productivas que ofrecen un mayor impacto en el retraso de las operaciones, son las reparaciones a cargo de las contratistas, los atascamientos de tubería, las pérdidas de circulación, los reacondicionamientos de hoyo, el control de arremetidas y las denominadas otros.

Problema	Tiempos en Días	Frecuencia	Peso Estadístico
RPC	17,5	56	980
OTS	1,81	19	34,39
ATB	10,39	13	135,07
RHP	2,88	12	34,56
EPC	1,44	12	17,28
CAR	9,96	7	69,72
PCI	5,85	6	35,1
RFL	0,6	5	3
FSP	2,79	5	13,95
FMD	1,96	5	9,8
FRG	3,23	3	9,69
FCR	15,04	3	45,12
FIN	0,94	2	1,88
FCV	0,46	2	0,92
FCM	0,17	2	0,34
RPP	0,08	1	0,08
PES	0,23	1	0,23
RPP	0,04	1	0,04
DEV	0,06	1	0,06
CGE	0,04	1	0,04

Tabla 4.4 Pesos estadísticos de los problemas en la perforación del hoyo intermedio 2

IV.1.5 Perforación del Hoyo de Producción

La perforación del hoyo para la colocación de la camisa de producción, fue una de las que menos problemas presentó, (ver figura 4.7), con un total de 21,06 días de actividades no productivas.

A continuación se presentan dos diagramas de pareto que reflejan la frecuencia de actividades no productivas en esta fase y el tiempo asociado a dichas actividades, estos son las figuras 4.16 y 4.17 respectivamente.

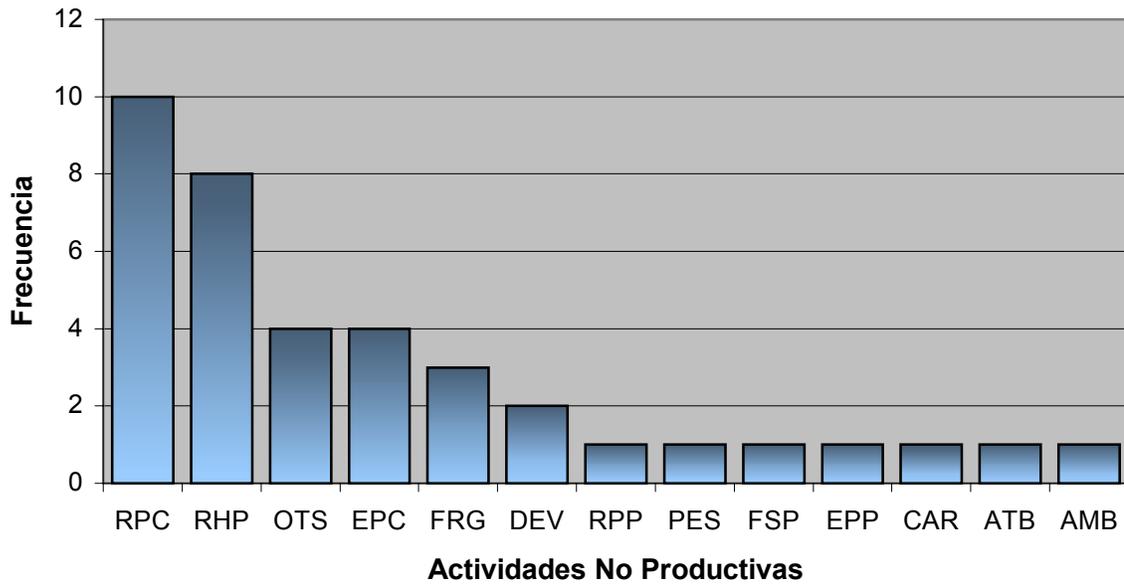


Figura 4.16. Diagrama de pareto de frecuencia de actividades no productivas en la perforación del hoyo de producción

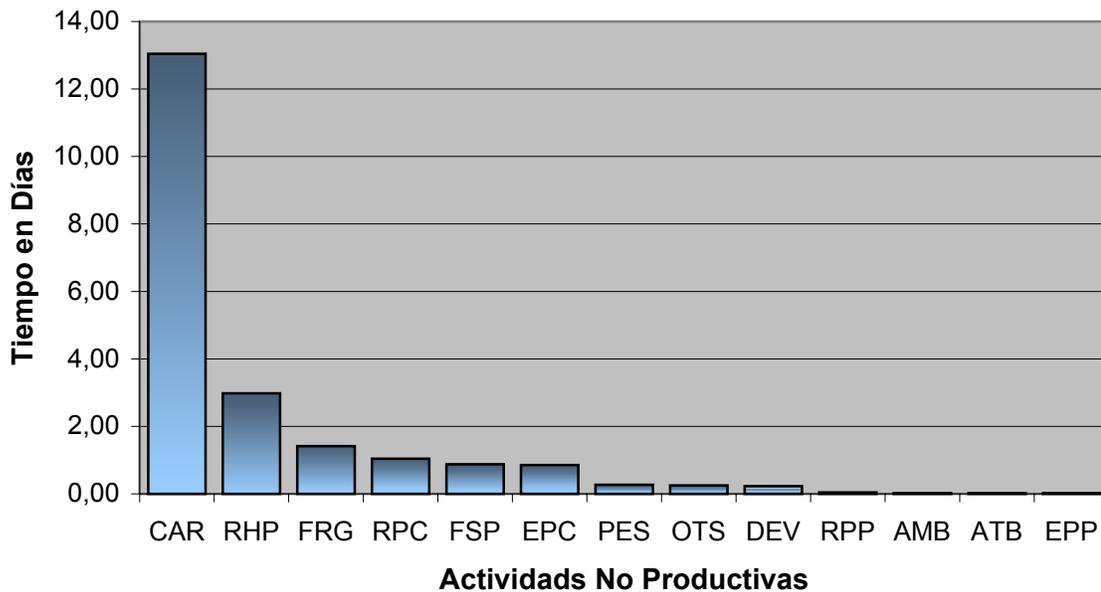


Figura 4.17. Diagrama de pareto de actividades no productivas y sus tiempos asociados la perforación del hoyo de producción

Al analizar estos dos diagramas se observa que la actividad más frecuente es la relacionada con las reparaciones de equipos por parte de las compañías de servicio, con una frecuencia de 10 y un tiempo asociado de 1,04 días, ésto indica que no es la de mayor tiempo asociado, siendo estas las actividades para el control de arremetidas que tienen un tiempo asociado de 13,04 días pero una frecuencia de 1, reflejando que sólo ocurrió una arremetida en este hoyo. Las actividades de reacondicionamiento de fluidos tienen una frecuencia de 8, y un tiempo asociado de 2,98 días. Las actividades de espera de suministro de equipos por parte de los contratistas y otras actividades, presentan una frecuencia de 4 y un tiempo asociado de 0,25 y 0,85 días respectivamente. Se presentaron 3 veces fallas en las tomas de registros con un tiempo de 1,42 días. Se contabilizaron 2 desvíos con un tiempo asociado de 0,23 días. Las actividades como reparaciones de equipos y esperas de suministros por parte de PDVSA, así como también las operaciones de pesca, atascamientos y fallas de la sarta de perforación y retrasos

debido a condiciones ambientales, presentaron una frecuencia de 1, y tiempos asociados de 0,04; 0,02; 0,27; 0,02; 0,88 y 0,02 respectivamente.

Con la finalidad de determinar que actividades generan mayor impacto en los tiempos de perforación del hoyo para la colocación de la camisa de producción, se realizó una tabla de pesos estadísticos de las actividades no productivas. En dicha tabla (ver tabla 4.5), se observa que los reacondicionamientos de hoyo, las reparaciones a cargo de los contratistas, y el control de arremetidas, producen mayores retrasos en la perforación de la fase de producción.

Problemas	Tiempo en Días	Frecuencia	Peso Estadístico
RPC	1,04	10	10,4
RHP	2,98	8	23,84
OTS	0,25	4	1
EPC	0,85	4	3,4
FRG	1,42	3	4,26
DEV	0,23	2	0,46
RPP	0,04	1	0,04
PES	0,27	1	0,27
FSP	0,88	1	0,88
EPP	0,02	1	0,02
CAR	13,04	1	13,04
ATB	0,02	1	0,02
AMB	0,02	1	0,02

Tabla 4.5 Pesos estadísticos de los problema en la perforación del hoyo de producción

Luego de estudiar los problemas en cada una de las fases de la perforación, se procedió a realizar el mismo estudio respecto a las áreas operacionales estudiadas, como son Punta de Mata, San Tomé, Maturín, y Anaco, con la finalidad de recomendar las acciones a tomar para disminuir los tiempos de perforación.

IV. 2 Problemas presentados en cada área operacional

El área operacional que tiene una mayor cantidad de tiempo asociado a problemas en la perforación es Maturín, con 70 días, seguidamente se encuentra Punta de Mata con un tiempo de actividades no productivas de 67 días, luego Anaco con 64 días y por último San Tomé con un tiempo asociado de 40 días

A continuación se evaluará cada área por separado.

IV.2.1 Maturín

El área operacional Maturín es el área que posee mayor cantidad de tiempo no productivo de actividades. La figura 4.18 refleja la frecuencia de cada uno de los problemas presentados en Maturín, mientras que la figura 4.19 refleja la cantidad de días consumidos por dichos problemas.

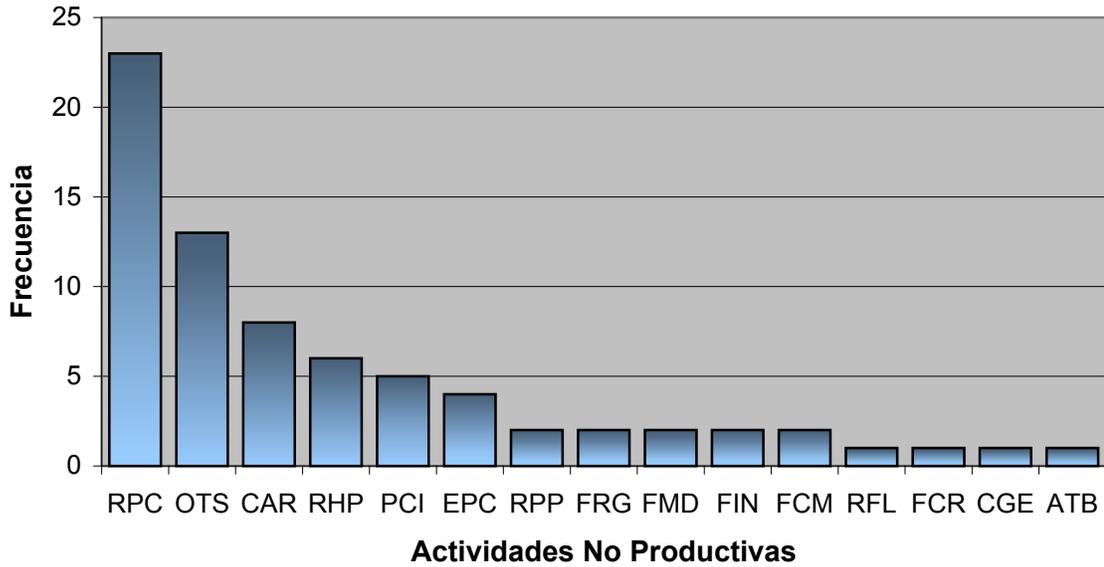


Figura 4.18. Diagrama de pareto de frecuencia de actividades no productivas en Maturín

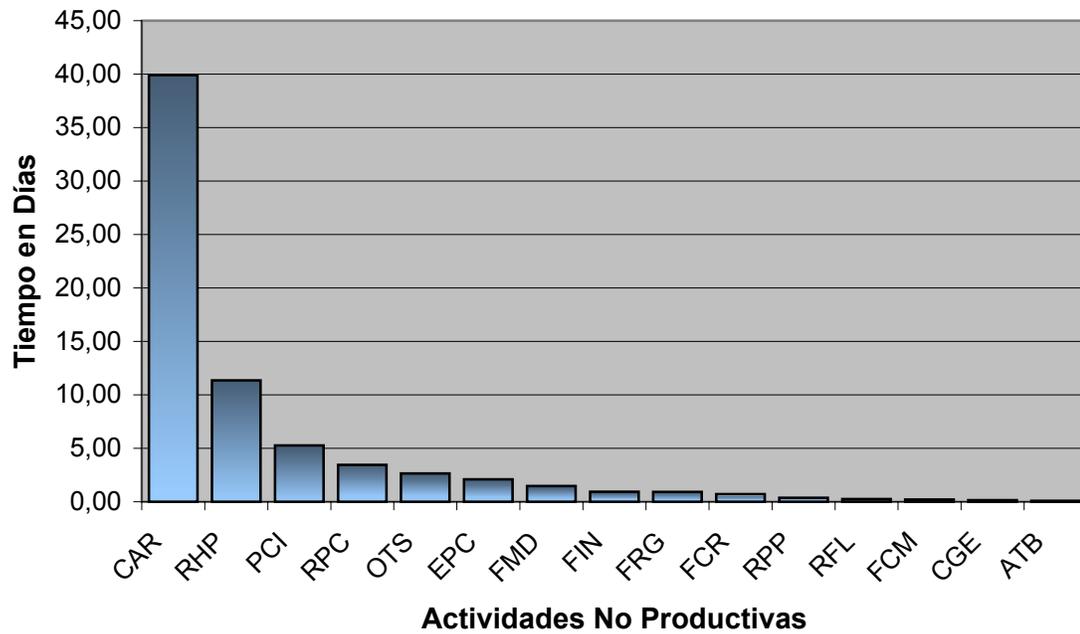


Figura 4.19. Diagrama de pareto de actividades no productivas y sus tiempos asociados en Maturín

En los Diagramas realizados, se observa que la actividad no productiva más frecuente es la relacionada con las reparaciones de equipos a cargo de las contratistas con una frecuencia de 23, y un tiempo asociado de 3,46 días. Sin embargo, el problema con mayor tiempo asociado es el control de arremetidas, el cual se presentó 8 veces en el área. Las actividades clasificadas como otros, aparecieron 13 veces con un tiempo asociado de 2,65 días. Las actividades relacionadas con el reacondicionamiento del hoyo poseen una frecuencia de 6 y un tiempo de 11,35 días. Se presentaron 5 pérdidas de circulación con un tiempo de 5,27 días. Las esperas de suministros de equipos por parte de las compañías de servicios, se registraron 4 veces, con un tiempo consumido de 5,27 días. Las reparaciones por parte de PDVSA, las fallas en la toma de registros y de medidas de desviación, presión y temperatura, así como también las fallas en la práctica de la prueba de integridad y en la cementación, ocurrieron 2 veces en esta área, con unos tiempos de 0,38; 0,92; 1,48; 0,94 y 0,91 respectivamente.

Seguidamente se procedió a realizar una tabla de pesos estadísticos de cada actividad no productiva, para determinar cual de todas genera mayor impacto en los tiempos de perforación.

En la tabla 4.6 se observa que las actividades que generan mayor impacto en las operaciones de perforación en el área de Maturín, son los reacondicionamientos de hoyos, el control de arremetidas, las pérdidas de circulación, y las reparaciones a cargo de las empresas de servicio.

Problemas	Tiempos en Días	Frecuencia	Peso Estadístico
RPC	3,46	23	79,58
OTS	2,65	13	34,45
CAR	39,92	8	319,36
RHP	11,35	6	68,1
PCI	5,27	5	26,35
EPC	2,10	4	8,4
RPP	0,38	2	0,76
FRG	0,92	2	1,84
FMD	1,48	2	2,96
FIN	0,94	2	1,88
FCM	0,21	2	0,42
RFL	0,25	1	0,25
FCR	0,71	1	0,71
CGE	0,15	1	0,15
ATB	0,08	1	0,08

Tabla 4.6 Pesos estadísticos de los problemas en las operaciones de perforación en Maturín

IV.2.2 Punta de Mata

A continuación se elaboraron dos diagramas de pareto, uno de frecuencia de fallas y el otro de los tiempos asociados a dichas fallas, los cuales se observan en las figuras 4.20 y 4.21 respectivamente.

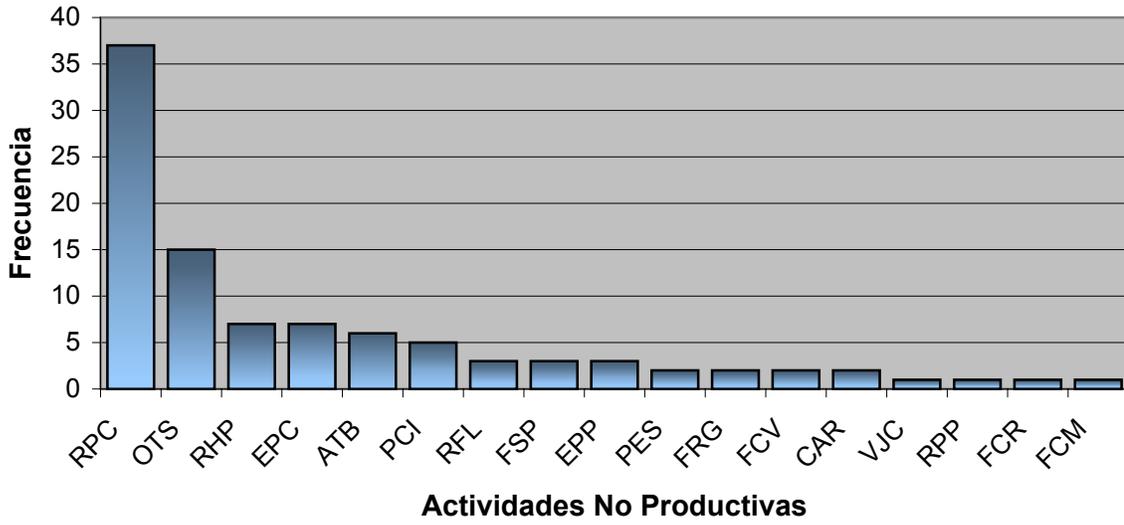


Figura 4.20. Diagrama de pareto de frecuencia de actividades no productivas en Punta de Mata

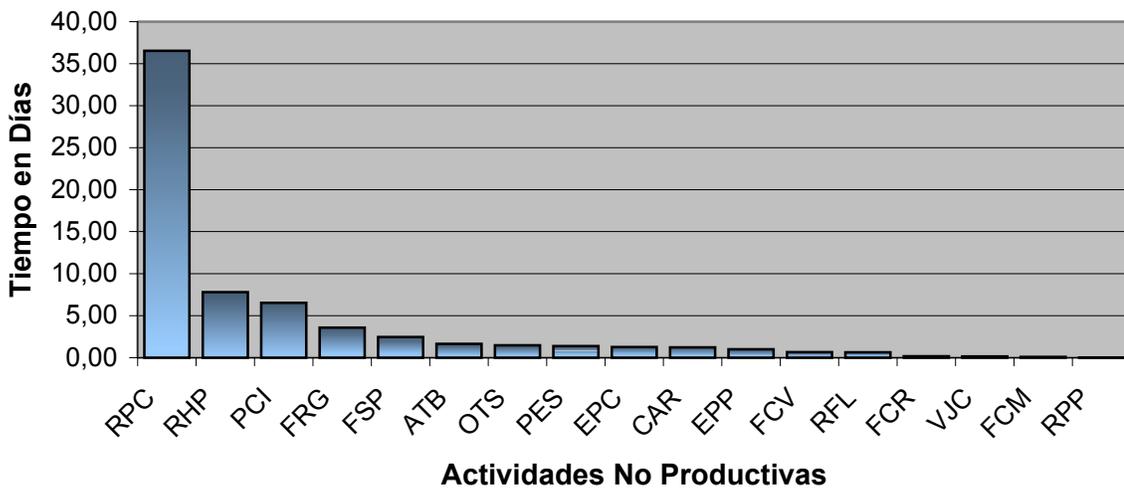


Figura 4.21. Diagrama de pareto de actividades no productivas y sus tiempos en Punta de Mata

En Punta de Mata la actividad que ocurrió con más frecuencia fue la correspondiente a las reparaciones de los equipos realizadas por la contratista o empresa de servicio, la misma se registró 37 veces, con un tiempo de 36,53 días, que es la mayor cantidad de tiempo consumido en el área, seguidamente se encuentran las actividades no productivas clasificadas como otros, con una frecuencia de 15 y un tiempo asociado de 1,48 días. Todas las demás actividades presentaron menores índices de frecuencia. Entre las que ocurrieron 7 veces se encuentran los reacondicionamientos de hoyo y las esperas por suministros de equipos por parte de las contratistas, con tiempos de 7,81 y 1,27 días respectivamente. El atascamiento de tubería ocurrió 6 veces con un tiempo de 1,65 días. Entre las fallas que se registraron 3 veces se encuentran los reacondicionamientos de fluido, las fallas en la sarta de perforación y las esperas de suministros de equipos, con tiempos de 0,65; 2,46 y 1,00 respectivamente. Las actividades de pesca, las fallas en la toma de registros, las fallas en el cabezal y válvulas impide reventones y las actividades para el control de arremetidas, ocurrieron 2 veces cada una, con tiempos de 1,38; 3,8; 0,67 y 1,23 días. Los viajes cortos, las reparaciones a cargo de PDVSA, las fallas en el cortador del revestidor y las fallas en la cementación, son las actividades que poseen menor frecuencia ya que sólo ocurrieron una vez cada una, con unos tiempos asociados de 0,15; 0,02; 0,17 y 0,10 respectivamente.

En la tabla 4.7 se observa que la actividad no productiva que produce mayor impacto en las operaciones de perforación en Punta de Mata, es la reparación de equipos a cargo de las contratistas. El impacto de las demás actividades no es relevante ya que sus pesos estadísticos son muy pequeños respecto al valor del peso estadístico de las reparaciones a cargo de contratistas.

Problemas	Tiempos en Días	Frecuencia	Peso Estadístico
RPC	36,33	37	1351,61
OTS	1,48	15	22,2
RHP	7,81	7	54,67
EPC	1,27	7	8,89
ATB	1,65	6	9,9
PCI	6,54	5	32,7
RFL	0,65	3	1,95
FSP	2,46	3	7,98
EPP	1	3	3
PES	1,38	2	2,76
FRG	3,58	2	7,16
FCV	0,67	2	1,34
CAR	1,23	2	2,46
VJC	0,15	1	0,15
RPP	0,02	1	0,02
FCR	0,17	1	0,17
FCM	0,10	1	0,10

Tabla 4.7 Pesos estadísticos de los problemas en las operaciones de perforación en Punta de Mata

IV.2.3 Anaco

El análisis de esta área es similar a los anteriores. Se realizó un Diagrama de Pareto de frecuencia de actividades no productivas (ver figura 4.22) y otro de los tiempos asociados a esas actividades, (ver figura 4.23).

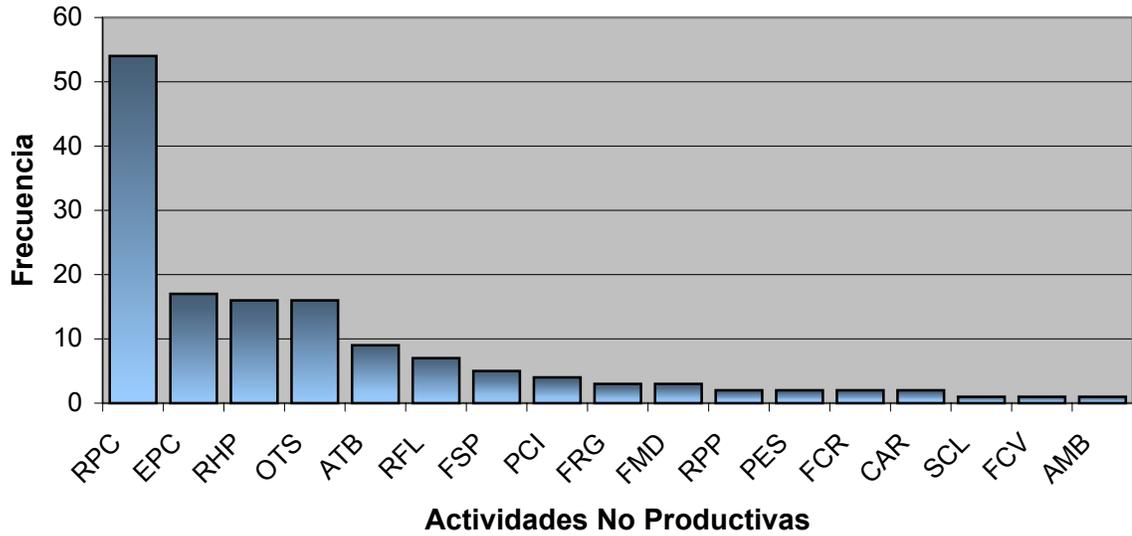


Figura 4. 22. Diagrama de pareto de frecuencia de actividades no productivas en Anaco

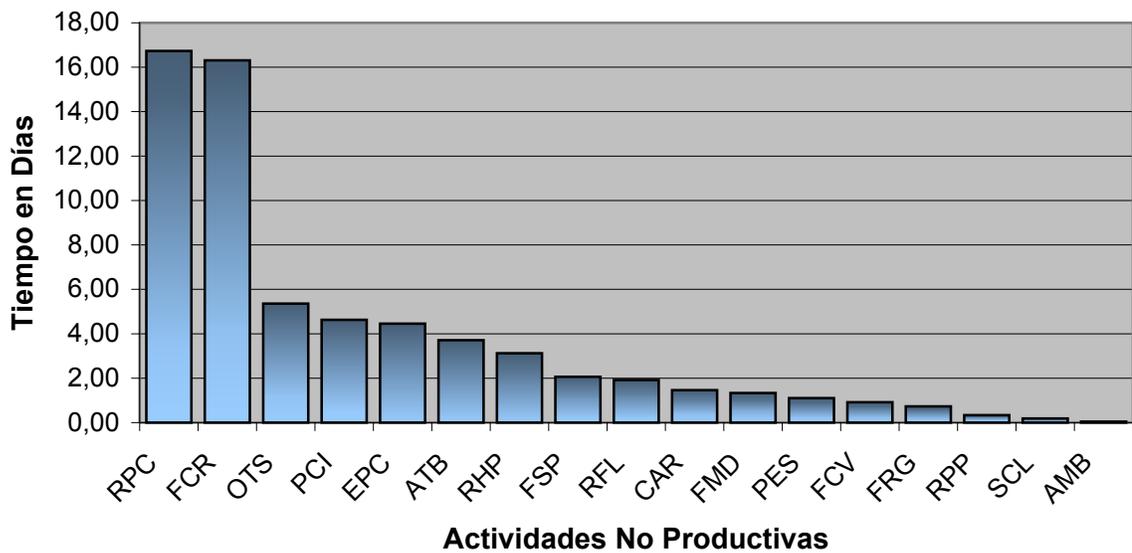


Figura 4.23. Diagrama de pareto de actividades no productivas y sus tiempos asociados en Anaco

Las reparaciones de equipos a cargo de las empresas contratistas, siguen siendo las de mayor frecuencia y mayor tiempo asociado. En Anaco esta actividad tiene una frecuencia de 54 y un tiempo de 16,73 días. La actividad que le sigue en orden descendiente de frecuencia, es la espera de suministro de equipos a cargo de las contratistas, con una frecuencia de 17 y un tiempo asociado de 4,46 días. Los reacondicionamientos de hoyos y las clasificadas como otros, poseen una frecuencia de 16, y un tiempo asociado de 3,13 y 5,35 respectivamente. El atascamiento de tubería, los reacondicionamientos de fluidos, las fallas en la sarta de perforación, y las pérdidas de circulación se registraron 9, 7, 5 y 4 respectivamente, con tiempos de 3,71; 1,92; 2,06 y 4,63 días correspondientemente. Las fallas en las tomas de registros y en la toma de medidas de desviación, presión y temperatura, se registraron 3 veces cada una, con tiempos de 0,73 y 1,33 días respectivamente. Las reparaciones a cargo de PDVSA, consumieron un tiempo de 0,33 días, las actividades de pesca uno de 1,10 días, las fallas en el cortador del revestidor consumieron 16,31 días y las actividades para el control de arremetidas consumieron un tiempo de 1,46 días, todas estas presentaron una frecuencia de 2.

Los paros sindicales, las fallas en el cabezal y válvulas impide reventones y las condiciones ambientales se registraron una vez cada una, con tiempos de 0,19; 0,92 y 0,04 respectivamente, siendo estas las de menor frecuencia en Anaco.

Para conocer que actividad genera mayor impacto en las operaciones de perforación en Anaco, se realizó una tabla que muestra el peso estadístico de cada uno de los problemas presentados.

En la tabla 4.8 se observa que las reparaciones a cargo de las contratistas, tienen mayor peso específico que las demás fallas ocurridas en Anaco. Sin embargo, los atascamientos de tubería, las esperas de suministro de equipos a cargo de las contratistas, los reacondicionamientos de hoyo, las fallas en el cortador del revestidor y las pérdidas de circulación, impactan significativamente sobre el

aumento de los tiempos no productivos en las operaciones de perforación en esta área.

Problemas	Tiempos en Días	Frecuencia	Peso específico
RPC	16,73	54	903,42
EPC	4,46	17	75,82
RHP	3,13	16	50,08
OTS	5,35	16	85,6
ATB	3,71	9	33,39
RFL	1,92	7	13,44
FSP	2,06	5	10,3
PCI	4,63	4	18,52
FRG	0,73	3	2,19
FMD	1,33	3	3,99
RPP	0,33	2	0,66
PES	1,10	2	2,2
FCR	16,31	2	32,62
CAR	1,46	2	2,86
SCL	0,19	1	0,19
FCV	0,92	1	0,92
AMB	0,04	1	0,04

Tabla 4.8 Pesos estadísticos de los problemas en las operaciones de perforación en Anaco

IV.2.4 San Tomé

San Tomé representa el área más eficiente de todas las áreas estudiadas, ya que su tiempo no productivo posee el menor valor obtenido.

A continuación se realizaron dos diagramas de pareto, uno basado en la frecuencia de actividades (ver figura 4.24) , y el otro en el tiempo consumido por ellas (ver figura 4.25)

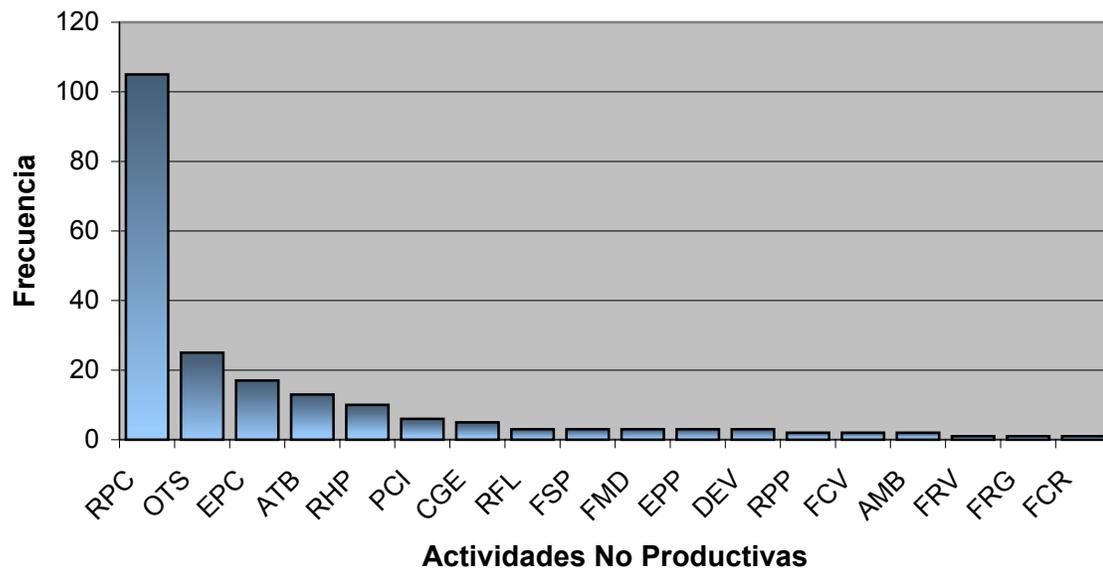


Figura 4.24 Diagrama de pareto de frecuencia de actividades no productivas en San Tomé

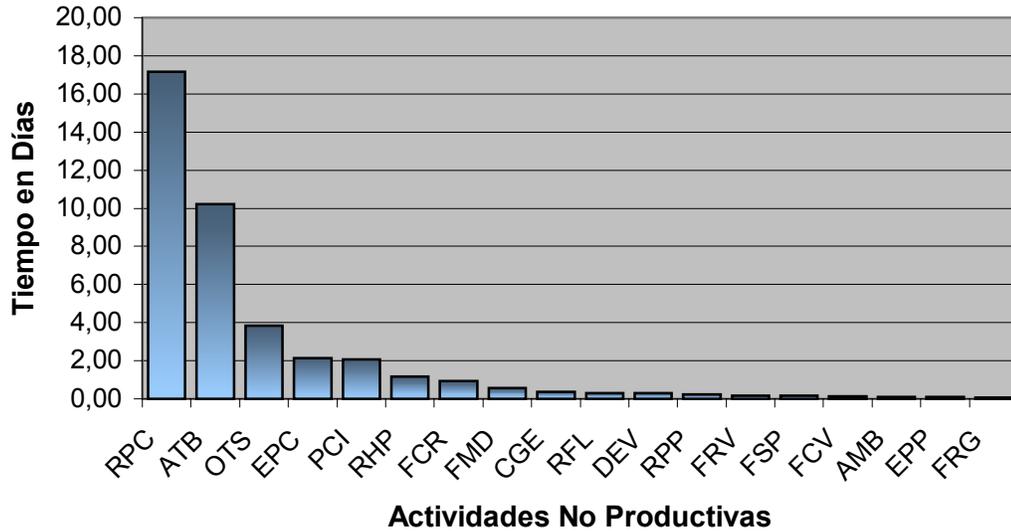


Figura 4.25. Diagrama de pareto de actividades no productivas y sus tiempos en San Tomé

La actividad más frecuente y de mayor cantidad de tiempo asociado en San Tomé, es, como en todas las demás áreas, la relacionada con aquellas reparaciones de los equipos a cargo de las compañías de servicios, con una frecuencia de 105, y un tiempo asociado de 17,17 días. Luego se encuentra las actividades clasificadas como otros de acuerdo a la metodología de construcción de pozos, con una frecuencia de 25 y un tiempo de 3,85 días. Los tiempos de espera de suministro de equipos a cargo de las contratista son de 2,13 días y se registraron un total de 17 veces. El atascamiento de tubería ocurrió 13 veces con un tiempo de 10,23 días. Los reacondicionamientos de hoyos se registraron 10 veces, con un tiempo de 1,17 días. En San Tomé ocurrieron 6 pérdidas de circulación con un tiempo asociado de 2,08 días, mientras que los retrasos a causa de complejidad geológica ocurrieron 5 veces con un tiempo asociado de 0,35 días. Los reacondicionamientos de fluidos, las fallas en la sarta de perforación, las fallas en la toma de medidas de desviación, presión y temperatura, las esperas de suministro de equipos a cargo de PDVSA y los desvíos realizados, presentan una frecuencia de 3, y unos tiempos asociados de 0,31; 0,17; 0,58; 0,10 y 0,29 días

respectivamente. Las reparaciones a cargo de PDVSA, las fallas en el cabezal y los retrasos por condiciones ambientales desfavorables, se registraron 2 veces cada una, con tiempos de 0,23; 0,15 y 0,10 respectivamente. Las actividades que presentaron menor índice de frecuencia, son las fallas de revestidores, las fallas en la toma de registros y las fallas en el cortador del revestidor, las cuales se registraron una vez, con un tiempo de 0,17; 0,06 y 0,94 respectivamente.

En la tabla 4.8 se observa que la actividad no productiva que genera mayor impacto en el aumento de los tiempos de perforación en San Tomé, es la reparación de equipos de perforación a cargo de las compañías de servicio, con un valor de peso específico de 1802,85; mientras que las demás actividades generan poco impacto debido al poco peso estadístico que representan.

Problema	Tiempo en Días	Frecuencia	Peso Estadístico
RPC	17,17	105	1802,85
OTS	3,85	25	96,25
EPC	2,13	17	36,21
ATB	10,23	13	132,99
RHP	1,17	10	11,7
PCI	2,08	6	12,48
CGE	0,35	5	1,75
RFL	0,31	3	0,93
FSP	0,17	3	0,51
FMD	0,58	3	1,74
EPP	0,10	3	0,3
DEV	0,29	3	0,87
RPP	0,23	2	0,46
FCV	0,15	2	0,3
AMB	0,10	2	0,2
FRV	0,17	1	0,17
FRG	0,06	1	0,06
FCR	0,94	1	0,94

Tabla 4.9 Peso estadístico de los problemas en las operaciones de perforación en San Tomé.



CONCLUSIONES

V. CONCLUSIONES

- La aplicación de herramientas estadísticas determinó las fallas operacionales que retrasan las actividades de perforación en las áreas San Tomé, Punta de Mata, Anaco y Maturín.
- Se detectaron fallas en la carga de la base de datos de perforación (DIMS), esto obstaculiza el proceso de análisis y aplicación de las medidas correctivas adecuadas.
- La actividad que generó mayor impacto, según el peso estadístico, y tiempos no productivos elevados en las áreas San Tomé, Punta de Mata y Anaco, es la relacionada con las reparaciones de equipos de perforación a cargo de las compañías de servicio. Esto mismo ocurrió en la perforación de los hoyos conductor, de superficie, intermedio uno e intermedio dos.
- En el caso del área Maturín, la actividad no productiva de mayor peso estadístico resultó ser el control de arremetidas y para el caso del hoyo de producción, el reacondicionamiento de hoyos, sin embargo, para ambos casos el control de arremetida fue la actividad con mayor tiempo improductivo.
- El atascamiento de tubería tuvo un impacto relativamente alto en las áreas operacionales Anaco y San Tomé al igual que durante la perforación del hoyo intermedio uno y dos.
- Mas del 50% de la muestra estudiada, correspondiente a dieciocho pozos, presentan tiempos de perforación entre 9,88 y 34,85 días, lo cual representa el mejor tiempo de la muestra total.
- La perforación del hoyo intermedio resultó la más ineficiente en cuanto a tiempo no productivo, seguido de la perforación del hoyo intermedio dos, mientras que la actividad más eficiente fue durante la perforación del hoyo conductor.

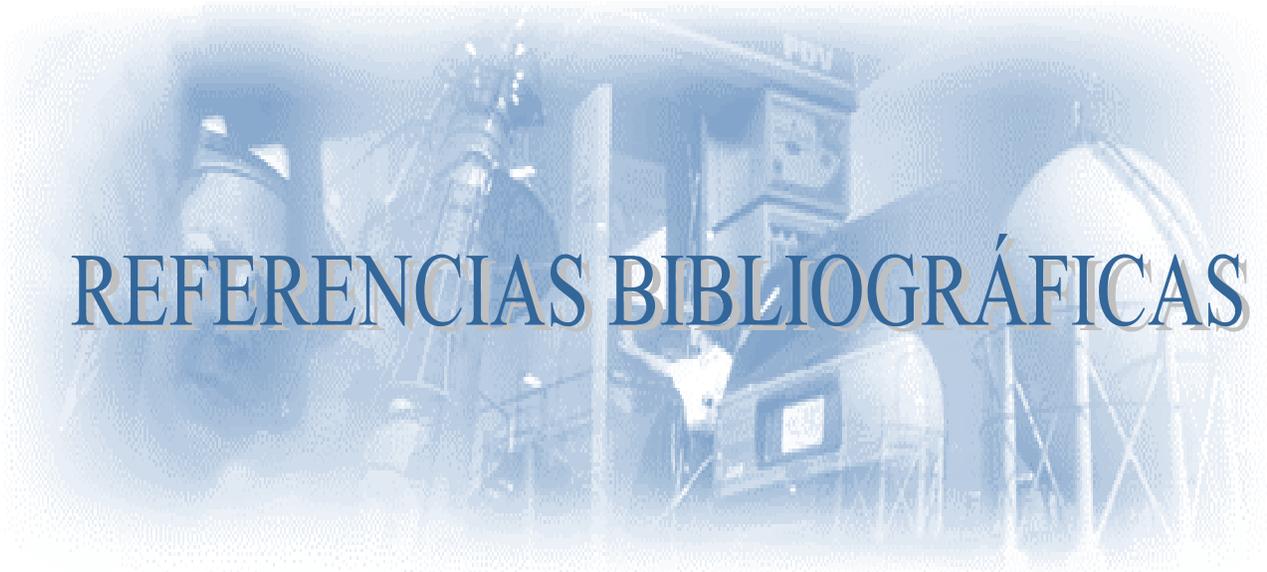


RECOMENDACIONES

VI. RECOMENDACIONES

En base a las conclusiones del estudio realizado, se recomienda lo siguiente:

- Supervisar la carga de la data en la base de datos de perforación de PDVSA (DIMS), ya que se detectaron fallas en el llenado de las mismas.
- Realizar un estudio sobre el desempeño de las compañías de servicios contratadas por PDVSA, con el objeto de determinar las que resultan más eficientes.
- Efectuar un estudio geológico que complemente los resultados obtenidos, con el fin de generar soluciones a los problemas relacionados con atascamiento de tubería.
- Analizar los fluidos de perforación empleados en la fase de perforación, para solventar los problemas ocasionados por atascamientos de tubería, pérdidas de circulación y arremetidas.
- Elaborar un análisis más detallado de los problemas con mayor peso estadístico, determinados en este estudio, durante la perforación del hoyo intermedio, con el fin de minimizar el tiempo no productivo asociado a estos problemas, de igual forma para cada área operacional estudiada.
- Establecer mecanismos más estrictos de control durante la Fase de Perforación, con la finalidad de tomar acciones correctivas a tiempo y de este modo minimizar operaciones de reacondicionamiento de hoyo.
- Implementar los resultados obtenidos en este estudio en la Planificación de pozos, con el objeto de minimizar la diferencia entre los tiempos reales y planificados.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1).- PDVSA. ***Estandarización de Procesos de Construcción y Rehabilitación de Pozos***. PDVSA, 1999. 5-34 p.
- (2).-BRASSARD, Michael. ***Manual de herramientas básicas para el análisis de datos***. GOAL/QPC, 1990.16-29, 36-43, 52-63 p.
- (3).- CEPET. ***Manual de Herramientas para el Control Estadístico de Procesos***. PDVSA, 1989.
- (4).- SPIEGEL, Murria. ***Teoría y problemas de estadística***. México, 1970. 1, 27-31, 45-47 p.
- (5).- GOMEZ RONDON, Francisco. ***Estadística Metodológica***. EDICIONES FRAGO, 1993. 1-1 – 1-12, 3-1 – 3-14, 4-1 – 4-9, 5-1 – 5-14, 6-3, 6-10 – 6-15, 8-20 – 8-27 p.
- (6).- IMCO Services. ***Tecnología aplicada de lodos***.
- (7).- PDVSA. ***El pozo ilustrado***.



NOMENCLATURA

VIII. NOMENCLATURA

DP	Drill Piper
HW	Heavy Weight
MWD	Measurement While Drilling
LWD	Logging While Drilling
VIR	Válvula Impide Reventones
LCS	Límite de Control Superior
LCI	Límite de Control Inferior
RPC	Reparaciones por Contratistas
OTS	Otros
EPC	Espera por Contratista
RHP	Reacondicionamiento del Hoyo
ATB	Atascamiento de Tubería
RFL	Reacondicionamiento de Fluidos
PCI	Pérdida de Circulación
FSP	Falla en la Sarta de Perforación
FCV	Falla en el Cabezal y Válvulas Impide Reventones
EPP	Espera por PDVSA

VJC	Viajes Cortos
RPP	Reparaciones por PDVSA
SCL	Paro Cívico Sindical / Legal
PES	Pesca
CAR	Control de Arremetida
AMB	Condiciones Ambientales
FCR	Fallas en el Cortador del Revestidor
FCM	Fallas en la Cementación
FMD	Fallas en la Toma de Medidas de Desviación/Presión/Temperatura
FRV	Fallas de Revestidor
CGE	Complejidad Geológica
DEV	Desvíos
FIN	Fallas en la Prueba de Integridad de la Formación
FRG	Fallas en la Toma de Registros
P1	Pozo 1



GLOSARIO DE TÉRMINOS

IX. GLOSARIO

- **Atascamiento de tubería:** consiste en la no movilidad de la tubería debido a la adherencia de la misma a las paredes del hoyo. Las causas más comunes son por presión diferencial e inestabilidad del hoyo.
- **Cabezal del Pozo:** ensamblaje superficial del pozo compuesto por válvulas de control, reductores de flujo, medidores de presión, etc.
- **Desinstalar:** consiste en desconectar las líneas, cabezales y cualquier tipo de ensamblaje utilizado en las operaciones del pozo.
- **Drill Pipe (D.P):** Tubería de Perforación utilizada en los pozos, en secciones de unos nueve metros de largo. Para acelerar el trabajo de sacar tubería de perforación del hoyo para cambios de mecha, se desenrosca de tres en tres tubos (triples). El lodo desciende por dentro de la tubería.
- **Ensamblaje de fondo:** conjunto de herramientas utilizadas en las operaciones de perforación, pueden ser de pesca, de limpieza o de servicios. Están ubicadas en la parte final de la tubería de perforación.
- **Estadística:** se define como la ciencia o conjunto de métodos científicos, que tienen por objeto la obtención, la recolección, agrupación, tabulación, análisis e interpretación de los datos, obtenidos de una población o de una muestra de dicha población, y que sirve de instrumento de apoyo a las diversas ciencias, en la elaboración de los métodos teóricos que tratan de explicar dicha realidad de los fenómenos físicos, químicos, biológicos, sociales, económicos, etc.
- **Estandarizar:** Tipificar, ajustar a un tipo, modelo o norma.
- **Heavy Weight (H.W):** Tubería pesada (portamechas) de perforación de acero y de grandes espesores de pared, a través de los cuales pasa el fluido

de perforación. Se colocan en el fondo de la sarta justo arriba de la mecha con la función de darle peso a la mecha.

- **Multishot:** Registro de desviación que se utiliza al final de la perforación.
- **Measure While Drilling (M.W.D.):** Herramienta que se utiliza durante la perforación que permite realizar mediciones al mismo tiempo que se perfora (Temperatura, presiones, etc).
- **Pérdida de circulación:** flujo de fluidos del hoyo a la formación. Ocurre debido a que la presión hidrostática es mayor a la presión de la formación.
- **Perforar:** abrir un conducto desde la superficie de la tierra hasta el subsuelo, con el fin de localizar hidrocarburos y posteriormente producirlos.
- **Pescar:** recuperar objetos perdidos en el pozo.
- **Revestidor:** tubería de acero que se introduce y cementa en los pozos de petróleo o gas a medida que la perforación va progresando.
- **Singleshot:** registro de desviación que se utiliza cada vez que se saca la mecha.
- **Tiempo perdido:** período acreditable a eventos o actividades en las operaciones de taladro, que retardan el avance de la construcción de un pozo de acuerdo a lo planificado. Este tiempo está asociado a eventos logísticos y superficiales.
- **Tiempo problema:** período acreditable a eventos o actividades en las operaciones de taladro, que retardan el avance de la construcción de un pozo de acuerdo a lo planificado. Éste es inherente a las condiciones del hoyo.

- **Top Drive:** Es la nueva tecnología de perforación la cual está sustituyendo a la mesa rotatoria y consiste en la perforación desde arriba mediante un mecanismo especial. Se perfora por parejas.
- **Tubería continua (coiled tubing):** tubería continua de acero enrollada en un carrito, que permite realizar las operaciones de perforación o rehabilitación de una forma, más rápida y segura.
- **Válvulas Impide Reventones (VIR):** Son válvulas de seguridad o dispositivos de cierre que se colocan en las conexiones externas de un pozo durante la perforación para prevenir un reventón.



APÉNDICES

X. APÉNDICES

X.1. Cálculos tipos

X.1.1. Cálculo tipo para el gráfico de control

El cálculo de la media y límites de control fue realizado con las ecuaciones correspondientes descritas más adelante y en base a los datos que se presentan a continuación.

Pozo	Días Perf.
P1	159,69
P2	145,00
P3	148,94
P4	80,70
P5	116,10
P6	95,75
P7	110,46
P8	83,00
P9	66,85
P10	25,65
P11	26,46
P12	25,00
P13	25,46
P14	41,50
P15	27,00
P16	46,00
P17	9,88
P18	11,31
P19	14,83
P20	15,58

Pozo	Días Perf.
P21	12,71
P22	13,75
P23	12,35
P24	16,34
P25	19,52
P26	11,26
P27	15,67
P28	14,79
P29	15,85
P30	13,55
P31	45,71
P32	82,57
P33	92,56
P34	134,25

Tabla 10.1. Tiempos de perforación por pozo

Como el tamaño de la muestra es considerablemente grande, para el cálculo de la media se dividió la muestra en 11 sub – grupos, de 3 pozos cada uno excepto el último grupo que contiene 4 pozos. A cada sub - grupo se le calculó la media y con ellas se calculó la media de toda la muestra. A continuación se muestra el cálculo tipo para el primer sub – grupo.

Pozo	Días Perf.
P1	159,69
P2	145
P3	148,94

Tabla 10.2. Días de perforación de los pozos del primer subgrupo

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n=5} X_i}{n} = \frac{159,69 + 145 + 148,94}{3} = 151,21 \text{ días}$$

De igual forma se obtuvo la media de los otros 14 sub – grupos, reflejados en la tabla que sigue a continuación.

Sub – grupo	Media (Días)
1	151,21
2	97,52
3	86,77
4	25,70
5	31,32
6	22,40
7	14,37
8	14,15
9	15,48
10	14,73
11	88,77

Tabla 10.3. Tabla de promedios de cada subgrupo

A partir de estos valores se cálculo la media de todo el proceso.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n=15} X_i}{n} = \frac{151,21 + 97,52 + 86,77 + 25,70 + 31,32 + 22,40 + 14,37 + 14,15 + 15,48 + 14,73 + 88,77}{11} =$$

51,13

Para el cálculo del límite superior de control, necesitamos el rango (R) del proceso, éste se calcula con la siguiente fórmula:

$$R = X \max - X \min$$

Para la Fase Perforar del Proceso de Construcción de Pozos los valores se registran en la siguiente tabla:

Nombre Del Pozo	Tiempos de Perforación (días)	
P1	159,69	Máximo
P17	9,88	Mínimo

Tabla 10.4. Tiempos máximos y mínimos de perforación

$$R = 159,69 - 9,88 = 149,81 \text{ días}$$

Además, también es necesario utilizar el factor para los límites de control A_2 , que se muestra en la siguiente tabla.

Número de Sub - Grupos	A ₂
2	1,88
3	1,02
4	0,73
5	0,58
6	0,48
7	0,42
8	0,37
9	0,31
10	0,29
11	0,27
12	0,25
13	0,24
14	0,23
15	0,21
16	0,2
17	0,19

Tabla 10.5. Factor A₂ para gráficos de control

Para el tamaño de 11 sub – grupos, A₂ es 0,27 entonces, el límite superior de control es:

$$LSC_{\bar{x}} = \bar{X} + R * A_2 = 51,13 + (149,81 * 0,27) = 91,58 \text{ días}$$

y el límite inferior de control es:

$$LIC_{\bar{x}} = \bar{X} - R * A_2 = 51,13 - (149,81 * 0,27) = 10,68 \text{ días}$$

X.1.2. Cálculo tipo para el Histograma de Frecuencia

Para el cálculo de las clases del histograma de frecuencia de la fase perforación del Proceso de Construcción de Pozos, se procedió de la forma siguiente:

- El tamaño de la muestra, n , es igual a 34 pozos
- El Rango es $R= 149.81$ días, calculado en el punto anterior del apéndice
- La cantidad de clases fue calculada de la siguiente manera:

$$k = \sqrt{n} = \sqrt{34} = 5,83 \approx 6$$

- La amplitud de las clases es:

$$A = \frac{R}{k} = \frac{149.81}{6} = 24,97$$

- Los límites de las clases se muestran en la siguiente tabla:

Clases (k)	Límite Inferior (Días)	Límite Superior (Días)
1	9,88	34,85
2	34,85	59,82
3	59,82	84,79
4	84,79	109,76
5	109,76	134,73
6	134,73	159,70

Tabla 10.6. Límite inferior y superior para cada clase

- La distribución de los datos se muestra a continuación

Clases (k)	Límite Inferior (Días)	Límite Superior (Días)	Frecuencia
1	9,88	34,85	19
2	34,85	59,82	3
3	59,82	84,79	4
4	84,79	109,76	2
5	109,76	134,73	3
6	134,73	159,70	3

Tabla 10.7. Distribución de frecuencias

X.2. Tablas de Resultados

Tipo de problemas no productivos	Tiempo (%)
H	46,6
S	53,4

Tabla 10.8. Porcentaje de tiempos problema y tiempos perdidos

Área operacional	Tiempo (días)
Maturín	70
Punta de Mata	67
Anaco	64
San Tomé	40

Tabla 10.9. Tiempos no productivos por área

Tipo de Hoyo	Tiempo (días)
Intermedio 1	92
Intermedio 2	76
Superficie	48
Producción	21
Conductor	7

Tabla 10.10. Tiempos no productivos por tipo de hoyo

Actividades no productivas	Tiempo (días)
EPC	0,56
FCR	0,17
OTS	1,21
RHP	0,08
RPC	3,17
RPP	0,38

Tabla 10.11. Actividades no productivas y sus tiempos en el hoyo conductor

Actividades no productivas	Frecuencia
EPC	3
FCR	1
OTS	4
RHP	1
RPC	6
RPP	2

Tabla 10.12. Frecuencia de actividades no productivas en el hoyo conductor

Actividades no Productivas	Tiempos (días)
AMB	0,04
ATB	4,48
CAR	19,42
CGE	0,46
EPC	4,58
EPP	0,10
FCM	0,15
FCR	2,92
FCV	0,92
FMD	1,44
FRG	0,65
FRV	0,17
FSP	0,19
OTS	5,02
PCI	11,10
PES	0,83
RFL	1,71
RHP	10,00
RPC	28,67
RPP	0,46

Tabla 10.13. Actividades no productivas y sus tiempos en el hoyo intermedio 1

Actividades no Productivas	Frecuencia
AMB	1
ATB	11
CAR	3
CGE	5
EPC	18
EPP	2
FCM	1
FCR	1
FCV	1
FMD	3
FRG	2
FRV	1
FSP	2
OTS	24
PCI	11
PES	1
RFL	6
RHP	14
RPC	103
RPP	3

Tabla 10.14. Frecuencia de actividades no productivas en el hoyo Intermedio 1

Actividades no Productivas	Tiempo (días)
AMB	0,08
ATB	0,63
CAR	0,25
EPC	2,52
EPP	0,94
FCV	0,35
FSP	0,83
OTS	5,04
PCI	1,56
PES	1,15
RFL	0,81
RHP	7,52
RPC	23,86
SCL	0,19
VJC	0,15

Tabla 10.15. Actividades no productivas y sus tiempos en el hoyo de superficie

Actividades no productivas	Frecuencia
AMB	1
ATB	4
CAR	1
EPC	8
EPP	2
FCV	2
FSP	3
OTS	18
PCI	3
PES	1
RFL	3
RHP	4
RPC	44
SCL	1
VJC	1

Tabla 10.16. Frecuencia de actividades no productivas en el hoyo de superficie

Actividades no Productivas	Tiempo (días)
ATB	10,54
CAR	9,90
CGE	0,04
DEV	0,06
EPC	1,44
EPP	0,04
FCM	0,17
FCR	15,04
FCV	0,46
FIN	0,94
FMD	1,96
FRG	3,23
FSP	2,79
OTS	1,81
PCI	5,85
PES	0,23
RFL	0,60
RHP	2,88
RPC	17,15
RPP	0,08

Tabla 10.17. Actividades no productivas y sus tiempos en el hoyo intermedio 2

Actividades no Productivas	Frecuencia
ATB	13
CAR	7
CGE	1
DEV	1
EPC	12
EPP	1
FCM	2
FCR	3
FCV	2
FIN	2
FMD	5
FRG	3
FSP	5
OTS	19
PCI	6
PES	1
RFL	5
RHP	12
RPC	56
RPP	1

Tabla 10.18. Frecuencia de actividades no productivas en el hoyo intermedio 2

Actividades no Productivas	Tiempo (días)
AMB	0,02
ATB	0,02
CAR	13,04
DEV	0,23
EPC	0,85
EPP	0,02
FRG	1,42
FSP	0,88
OTS	0,25
PES	0,27
RHP	2,98
RPC	1,04
RPP	0,04

Tabla 10.19. Actividades no productivas y sus tiempos en el hoyo de producción

Actividades no Productivas	Frecuencia
AMB	1
ATB	1
CAR	1
DEV	2
EPC	4
EPP	1
FRG	3
FSP	1
OTS	4
PES	1
RHP	8
RPC	10
RPP	1

Tabla 10.20. Frecuencia de actividades no productivas en el hoyo de producción

Actividades no Productivas	Tiempo (días)
AMB	0,04
ATB	3,71
CAR	1,46
EPC	4,46
FCR	16,31
FCV	0,92
FMD	1,33
FRG	0,73
FSP	2,06
OTS	5,35
PCI	4,63
PES	1,10
RFL	1,92
RHP	3,13
RPC	16,73
RPP	0,33
SCL	0,19

Tabla 10.21. Actividades no productivas y sus tiempos en el área operacional Anaco

Actividades no Productivas	Frecuencia
AMB	1
ATB	9
CAR	2
EPC	17
FCR	2
FCV	1
FMD	3
FRG	3
FSP	5
OTS	16
PCI	4
PES	2
RFL	7
RHP	16
RPC	54
RPP	2
SCL	1

Tabla 10.22. Frecuencia de actividades no productivas en el área operacional Anaco

Actividades no Productivas	Tiempo (días)
ATB	0,08
CAR	39,92
CGE	0,15
EPC	2,10
FCM	0,21
FCR	0,71
FIN	0,94
FMD	1,48
FRG	0,92
OTS	2,65
PCI	5,27
RFL	0,25
RHP	11,35
RPC	3,46
RPP	0,38

Tabla 10.23. Actividades no productivas y sus tiempos en el área operacional Maturín

Actividades no Productivas	Frecuencia
ATB	1
CAR	8
CGE	1
EPC	4
FCM	2
FCR	1
FIN	2
FMD	2
FRG	2
OTS	13
PCI	5
RFL	1
RHP	6
RPC	23
RPP	2

Tabla 10.24. Frecuencia de actividades no productivas en el área operacional Maturín

Actividades no Productivas	Tiempo (días)
ATB	1,65
CAR	1,23
EPC	1,27
EPP	1,00
FCM	0,10
FCR	0,17
FCV	0,67
FRG	3,58
FSP	2,46
OTS	1,48
PCI	6,54
PES	1,38
RFL	0,65
RHP	7,81
RPC	36,53
RPP	0,02
VJC	0,15

Tabla 10.25. Actividades no productivas y sus tiempos en el área operacional Punta de Mata

Actividades no Productivas	Frecuencia
ATB	6
CAR	2
EPC	7
EPP	3
FCM	1
FCR	1
FCV	2
FRG	2
FSP	3
OTS	15
PCI	5
PES	2
RFL	3
RHP	7
RPC	37
RPP	1
VJC	1

Tabla 10.26. Frecuencia de actividades no productivas en el área operacional Punta de Mata

Actividades no Productivas	Tiempo (días)
AMB	0,10
ATB	10,23
CGE	0,35
DEV	0,29
EPC	2,13
EPP	0,10
FCR	0,94
FCV	0,15
FMD	0,58
FRG	0,06
FRV	0,17
FSP	0,17
OTS	3,85
PCI	2,08
RFL	0,31
RHP	1,17
RPC	17,17
RPP	0,23

Tabla 10.27. Actividades no productivas y sus tiempos en el área operacional San Tomé

Actividades no Productivas	Frecuencia
AMB	2
ATB	13
CGE	5
DEV	3
EPC	17
EPP	3
FCR	1
FCV	2
FMD	3
FRG	1
FRV	1
FSP	3
OTS	25
PCI	6
RFL	3
RHP	10
RPC	105
RPP	2

Tabla 10.28. Frecuencia de actividades no productivas en el área operacional Punta de Mata