

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE POZOS MEDIANTE EL MÉTODO DE CONTROLES ESTADÍSTICOS DE PROCESOS**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
para optar al Título de  
Ingeniero de Petróleo  
Por los Brs. Expósito R. Juan L.  
Novoa D. Joel A.

CARACAS, OCTUBRE 2002

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE POZOS MEDIANTE EL MÉTODO DE CONTROLES ESTADÍSTICOS DE PROCESOS**

TUTOR ACADÉMICO: ING. NORBERTO BUENO

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
para optar al Título de  
Ingeniero de Petróleo  
Por los Brs. Expósito R. Juan L.  
Novoa D. Joel A.

CARACAS, OCTUBRE 2002

*Quiero dedicar,  
con todo mi corazón y con toda mi alma este trabajo,  
a mi Mamita y a mi Papá, los cuales son la  
fuente de mi inspiración y de aliento  
para seguir adelante, sin ellos  
no hubiese sido posible  
llegar hasta el final*

*Joel Alexander*

*a mis Padres:  
Papá y Mamá, todos los éxitos que Dios  
me otorgue en la vida serán siempre  
dedicado a ustedes, los seres más  
importantes de mi vida*

*Juan Luis*

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios y la Virgen*, por darme a unos padres, a una hermana y a una familia, como la que me dio

*A El Pajarraco*, por toda su paciencia, por abrirme las puertas de su casa y permitirme entrar y ser parte de ella y por enfrentar conmigo este difícil reto, como lo fue este TEG

*A mi Mamita linda*, por dedicar su vida a mí, por entenderme y aceptarme tal y como soy con todos mis defectos y virtudes y sobre todas las cosas amarme tanto como me ama. Gracias Mamita!

*A Monchito*, por darme todo su apoyo, por querer siempre lo mejor para mí, por aguantarse y aceptar todas mis malcriadeces y aguantarse mi mal humor. Gracias mi Monchito.

*A Maria Grabiela*, mi gordita consentida por compartir conmigo los padres que tenemos.

*A Norberto Bueno*, que no solo se comportó como mi profesor sino como un gran amigo, sin usted este proyecto no hubiese sido posible.

*A mis Abuelitos Mami y Papi*, por criarme de la manera en que lo hicieron, dándome todo el amor del mundo.

*A mis tíos*; Ana, Sonia, Maruja y Lolita por hacerme sentir el hombre más afortunado del mundo al tener unas tías como ustedes.

*A mi Abuelita Melba*, por abrirme las puertas de su casa y de su corazón, te lo agradeceré por el resto de mi vida.

*A mi tío Oscar*, por quererme y consentirme tanto desde que era un “pelao” como dice él.

*A mis primos*, Mariela, Odelis, Jhan, Magali, Gutu, Alberto, Lorena, Pelusa, Marielena por ser parte de esa gran familia.

*A mi hermano Ernesto*, por acompañarme en las buenas y en las malas, en las verdes y en las maduras, jamás se me olvidarán todas nuestras aventuras.

*A Cesar y al Chino*, por compartir conmigo todo el proceso de aprendizaje tanto académico como personal, por calarse todos mis despechos, mis penas y mis sueños.

*A Ima*, por ser una persona tan incondicional y por estar siempre dispuesta a ayudar a quien lo necesite. Por favor nunca cambies y sigue siendo la persona transparente, abierta y pura de corazón y alma. Gracias.

*A Raúl y Reynaldo*, por ser personas tan incondicionales y arriesgarse por nosotros sin importar las consecuencias.

*A Patricia, Sandrita, Omar, Ondina, Frank (Neón), Tania*, por ser tan grandes amigos y compartir estos últimos años en los que vivimos inolvidables experiencias juntos.

A la Escuela de Petróleo y a todos los profesores que intervinieron en mi formación académica.  
Gracias a todos.

*Joel Alexander*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios y la Virgen, por brindarme la oportunidad de disfrutar de este maravilloso logro en compañía de mi Familia y Amigos

A Joel (Jowel), por brindarme el honor de ser su amigo e invitarme a la realización de este nuestro TEG, gracias, pero no te acostumbres HERMANO

A mi Papá, por ser el mejor ejemplo de vida que cualquier ser humano pueda tener y por brindarme siempre tu amor y tu apoyo

A mi Mamá, por ser quien eres, por ser el apoyo de mi vida y mantenerme siempre en el camino correcto, para ti es este título

A mis Hermanos, Alex y Pili, ustedes siempre serán parte de mi, gracias por su apoyo, los quiero infinitamente

A mis Sobrinos, Alejandro, Manuela, Ricardo, Javier y Johanna por ser la alegría de la casa y mantenernos a todos vivos, los quiero

A Vanessa, gracias por estar siempre aquí, confiar en mí y demostrarme siempre tu amor, TE AMO más allá de Plutonio

A Nancy y Pablito, gracias por ser parte de nosotros y regalarme tan hermosos sobrinos, siempre gracias

A Ima, por ser más que una amiga, se que me quedaría corto con cualquier agradecimiento, simplemente GRACIAS

A Alirio M., por ser un hermano para mí, siempre estaré agradecido de tus consejos y de mostrarme la Ingeniería de Petróleo y los juegos de béisbol

A Cesar, Coco, tu palabra y tu espíritu siempre me han servido de apoyo y ejemplo, gracias

A toda mi familia por todo el apoyo y los buenos momentos que me regalan a diario

Cesar, Reinaldo, Raul, Jorge, Roberto, Nando, mis amigos del alma, gracias por siempre echarme una mano cuando hacia falta, considérenme siempre su hermano

Carla, Rob, Rafa, Cansin, gracias por hacer de la carrera una reunión de buenos e incondicionales amigos

Profesor Martín Essenfeld, gracias por brindarme su apoyo para la elaboración del TEG y por permitirme el orgullo de considerarlo mi amigo

Profesor Norberto Bueno, gracias por la colaboración en el desarrollo de este TEG y por demostrarme su amistad sincera

A todos mis Amigos, un millón de gracias por su ayuda a lo largo de mi carrera

A mi Colegio "San Agustín del Marques" por sembrar en mi unas bases sólidas para mi desarrollo personal y profesional y a los amigos que siempre tendré allí

A todos los Profesores que tomaron parte de mi formación, gracias por brindarme su experiencia

A la Escuela de Ingeniería de Petróleo y a la Universidad Central de Venezuela, por otorgarme el honor de convertirme en un profesional de primera y por dejarme ser un miembro más de la comunidad Ucevista

*Juan Luis*

**Exposito R., Juan L.**

**Novoa D., Joel A.**

## **MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE POZOS MEDIANTE EL MÉTODO DE CONTROLES ESTADÍSTICOS DE PROCESOS**

**Tutor Académico: Prof. Norberto Bueno. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de  
Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Petróleo. Año 2002, 140 p**

**Palabras Claves:** Calidad, Controles Estadísticos, Desperdicios, Estandarización, Gerencia de Calidad, Proceso de Construcción de Pozos

**Resumen:** El presente Trabajo Especial de Grado fue realizado con el objetivo de estandarizar en lo posible las distintas fases del proceso de Construcción de Pozos, mediante una revisión sistemática y continua de las mismas, como una manera de identificar y eliminar los desperdicios y las causas que los ocasionan. Este mejoramiento continuo de los procesos es lo que actualmente se conoce como Gerencia de Calidad. La misma utiliza como principal herramienta los controles estadísticos de procesos. Esta herramienta está basada en la recolección, análisis e interpretación de datos, con el objeto de utilizarlos para medir la magnitud y grado de variación de los desperdicios que afectan la calidad del proceso. La metodología tiene como objetivo identificar aquellos desperdicios que influyen de manera significativa sobre el proceso, con el fin de lograr una integración de todas las fases. Ello debe permitir el establecimiento de patrones de operación, que permitirán optimizar futuros trabajos de perforación y completación de pozos mejorando el tiempo de respuesta para la toma de decisiones y minimizando los costos operacionales. Finalmente, a través del uso de estas herramientas estadísticas se lograron identificar los factores que afectan directamente al proceso y aplicar los correctivos necesarios para desarrollar un "Proceso Modelo" basado en las fases más eficientes que fueron estudiadas.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	i
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	ii
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	1
<b>2. ÁREA EN ESTUDIO: Lago de Maracaibo.....</b>	3
2.1. Generalidades del Campo.....	3
2.2. Ubicación .....	3
2.3. Estratigrafía y Litología.....	4
2.4. Estudio Geológico.....	6
2.4.1. Estructura.....	7
<b>3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	9
<b>4. MARCO TEÓRICO.....</b>	12
4.1. Procesos de Construcción de Pozos.....	12
4.1.1. Suposiciones del Proceso de Construcción de Pozos.....	12
4.1.2. Sistemas que Integran los Taladros de Perforación.....	13
4.1.2.1. Sistema de Levantamiento.....	13
4.1.2.1.1. Equipos de Levantamiento.....	13
4.1.2.1.2. Estructura de Soporte.....	13
4.1.2.1.2.1. Equipos de Perforación en agua.....	13
4.1.2.2. Sistema de Rotación.....	19
4.1.2.3. Sistema de Circulación.....	19
4.1.2.4. Sistema de Potencia.....	19
4.1.2.5. Sistema de Seguridad.....	20
4.2. Estandarización de los Procesos.....	20
4.2.1. Objetivos de la Estandarización.....	21
4.2.2. Tiempos Operación.....	22
4.2.2.1. Tiempo Productivo.....	22
4.2.2.1.1. Productivo Planificado.....	23
4.2.2.1.1. Productivo Adicional.....	23
4.2.2.2. Tiempo no Productivo.....	23
4.2.2.2.1. Tiempo Problema.....	23
4.2.2.2.2. Tiempo Perdido.....	23
4.3. Gerencia de Calidad.....	24
4.4. Métodos Estadísticos para la solución de Problemas.....	27
4.4.1. Diagrama de Flujo de Procesos.....	28
4.4.2. Tormenta de Ideas.....	29
4.4.3. Diagrama de Causa – Efecto.....	30
4.4.4. Diagrama de Pareto.....	32
4.4.5. Gráfico de Control.....	34
4.4.5.1. Utilidad de los Gráficos de Control.....	35

4.4.6. Histograma de Frecuencia.....	37
4.4.7. Gráfico de Tendencia.....	39
<b>5. METODOLOGÍA.....</b>	<b>41</b>
5.1. Recopilación de la información.....	42
5.2. Validación de los Datos.....	42
5.3. Población y Muestra de los Pozos Estudiados.....	43
5.4. Descripción y secuencia de las Fases, Etapas, Actividades y Sub-actividades que forman parte en la Construcción de Pozos.....	43
5.4.1. Actividades Comunes.....	44
5.4.1.1. Actividades Comunes, Productivas.....	44
5.4.1.2. Actividades Comunes, No Productivas.....	45
5.4.2. Fases del Proceso de Construcción de Pozos.....	47
5.4.2.1. Fase Mudar.....	47
5.4.2.1.1. Etapa Desvestir.....	48
5.4.2.1.1.1. Actividades Productivas Mudanza, Etapa Desvestir.....	48
5.4.2.1.1.2. Actividades no Productivas, Mudanza, Etapa Desvestir.....	49
5.4.2.1.2. Etapa Transportar.....	49
5.4.2.1.2.1. Actividades Productivas, Mudanza, Etapa Transportar.....	49
5.4.2.1.2.2. Actividades no Productivas, Mudanza, Etapa Transportar.....	50
5.4.2.1.3. Etapa Vestir.....	50
5.4.2.1.3.1. Actividades Productivas, Mudanza, Etapa Vestir.....	50
5.4.2.1.3.2. Actividades no Productivas, Mudanza, Etapa Vestir.....	51
5.4.2.1.4. Etapa Mantenimiento.....	51
5.4.2.1.4.1. Actividades Productivas, Mudanza, Etapa Mantenimiento.....	51
5.4.2.1.4.2. Actividades no Productivas, Mudanza, Etapa Mantenimiento.....	52
5.4.2.2. Fase Perforar.....	52
5.4.2.2.1. Actividades Productivas, Perforar, Etapa Perforación.....	52
5.4.2.2.2. Actividades no Productivas, Perforar, Etapa Perforación.....	54
5.4.2.3. Fase Evaluación Geológica / Petrofísica.....	55
5.4.2.3.1. Actividades Productivas Evaluación Geológicas / Petrofísica.....	56
5.4.2.3.2. Actividades no Productivas Evaluación Geológicas / Petrofísica.....	57
5.4.2.4. Fase Revestir.....	57
5.4.2.4.1. Etapa Revestidores.....	58

5.4.2.4.1.1. Actividades Productivas, Revestir, Etapa Revestir.....	58
5.4.2.4.1.2. Actividades no Productivas, Revestir, Etapa Revestir.....	58
5.4.2.4.2. Etapa Cementar.....	59
5.4.2.4.2.1. Actividades Productivas, Revestir, Etapa Cementar.....	59
5.4.2.4.2.2. Actividades no Productivas, Revestir, Etapa Cementar.....	60
5.4.2.5. Fase Completar.....	61
5.4.2.5.1. Etapa Completación.....	61
5.4.2.5.1.1. Actividades Productivas, Completar, Etapa Completación.....	61
5.4.2.5.1.1. Actividades no Productivas, Completar, Etapa Completación.....	62
5.5. Elaboración de los Diagramas de Flujo de las Fases.....	63
5.6. Distribución de Tiempos.....	64
5.7. Identificación de Causas.....	64
5.8. Simulación del Proceso Modelo.....	65
<b>6. ELABORACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE FLUJO DE LAS FASES.....</b>	<b>66</b>
6.1. Diagrama de Flujo de la Fase Mudanza.....	66
6.2. Diagrama de Flujo de la Fase de Perforación del Hoyo de Superficie.....	67
6.3. Diagrama de Flujo de la Fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie.....	68
6.4. Diagrama de Flujo de la Fase de Perforación del Hoyo de Producción.....	69
6.5. Diagrama de Flujo de la Fase de Evaluación Geológica y Petrofísica.....	70
6.6. Diagrama de Flujo de la Fase de Revestimiento del Hoyo de Producción.....	71
6.7. Diagrama de Flujo de la Fase de Completación.....	72
<b>7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>73</b>
7.1. Análisis de la Fase Mudanza.....	76
7.2. Análisis de la Fase de Perforación del Hoyo de Superficie.....	81
7.3. Análisis de la Fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie.....	87
7.4. Análisis de la Fase de Perforación del Hoyo de Producción.....	93
7.5. Análisis de la Fase de Evaluación Geológica y Petrofísica.....	110
7.6. Análisis de la Fase de Revestimiento del Hoyo de Producción.....	115
7.7. Análisis de la Fase de Completación.....	120
7.8. Condiciones Ambientales.....	125
7.9. Simulación del Proceso Modelo.....	127

<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	129
8.1. Fase Mudanza.....	130
8.2. Fase de Perforación Hoyo de Superficie.....	130
8.3. Fase Revestimiento del Hoyo de Superficie.....	131
8.4. Fase Perforación del Hoyo de Producción.....	131
8.5. Fase de Evaluación Geológica y Petrofísica.....	132
8.6. Fase de Revestimiento del Hoyo de Producción.....	132
8.7. Fase de Completación.....	132
8.8. Condiciones Ambientales.....	133
<b>9. RECOMENDACIONES.....</b>	134
<b>10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	136
<b>11. GLOSARIO DE TÉRMINOS.....</b>	138
<b>12. ANEXOS.....</b>	I

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 2.1.-Características Generales del Yacimiento.....	6
Tabla 5.1.-Distribución de Pozos por año.....	43
Tabla 7.1.-Media de la Fase de Mudanza. Tabla comparativa.....	78
Tabla 7.2.-Media de la Fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie Tabla Comparativa.....	90
Tabla 7.3.-Comparación de los tiempos perforando y problemas Respecto a la Media.....	101
Tabla 7.4.-Marca de la primera Clase de cada Fase.....	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Columna Estratigráfica del Campo en estudio.....	4
Figura 2.2. Mapa Estructural del Área de Estudio.....	8
Figura 3.1. Tiempo promedio por año de Construcción de Pozos Para el Área de Estudio Gráfico de Tendencia.....	9
Figura 3.2. Tiempo Promedio de las distintas Fases del Proceso De Construcción de Pozos Diagrama de Pareto.....	11
Figura 4.1. Auto – Elevadizo (Jack – up).....	15
Figura 4.2. Gabarra Tender.....	17
Figura 4.3. Gabarra Integral.....	18
Figura 4.4. Niveles de Operaciones de un Proceso cualquiera.....	21
Figura 4.5. Tiempos de Operación.....	22
Figura 4.6. Diagrama de Flujo.....	29
Figura 4.7. Diagrama Causa – Efecto.....	31
Figura 4.8. Diagrama de Pareto.....	33
Figura 4.9. Gráfico de Control.....	36
Figura 4.10. Histograma de Frecuencia.....	39
Figura 4.11. Gráfico de Tendencia.....	40
Figura 5.1. Metodología a Desarrollar Diagrama de Flujo.....	41
Figura 5.2. Fases del Proceso de Construcción de un Pozos Diagrama de Flujo.....	44
Figura 6.1. Fase Mudanza Diagrama de Flujo.....	66
Figura 6.2. Fase de Perforación del Hoyo de Superficie Diagrama de Flujo.....	67
Figura 6.3. Fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie Diagrama de Flujo de la.....	68
Figura 6.4. Fase de Perforación del Hoyo de Producción Diagrama de Flujo.....	69
Figura 6.5. Fase de Evaluación Geológica y Petrofísica Diagrama de Flujo .....	70
Figura 6.6. Fase de Revestimiento del Hoyo de Producción Diagrama de Flujo.....	71
Figura 6.7. Fase de Completación Diagrama de Flujo.....	72
Figura 7.1. Tiempo de Construcción de Pozos Gráfico de Control.....	74
Figura 7.2. Procesos de Construcción de Pozos Gráfico de Control.....	74
Figura 7.3. Tormenta de Ideas del Proceso de Construcción de Pozos. Diagrama Causa-Efecto.....	75
Figura 7.4. Tiempos Promedios por año de la Fase de Mudanza Gráfico de Tendencia.....	76

---

Figura 7.5. Tiempo de la Fase de Mudanza.	
Gráfico de Control.....	77
Figura 7.6. Fase de Mudanza	
Histograma de Frecuencia.....	78
Figura 7.7. Tiempos Productivos y no Productivos Fase de Mudanza	
Diagrama de Pareto.....	79
Figura 7.8. Tormenta de Ideas de la Fase de Mudanza.	
Diagrama Causa-Efecto.....	80
Figura 7.9. Problemas de la Fase de Mudanza	
Diagrama de Pareto.....	80
Figura 7.10. Tiempos promedio por año de la Fase de Perforación del Hoyo de Superficie	
Gráfico de Tendencia.....	82
Figura 7.11. Tiempos de la Fase de Perforación del Hoyo de Superficie	
Gráfico de Control.....	83
Figura 7.12. Fase de Perforación del Hoyo de Superficie	
Histograma de Frecuencia.....	84
Figura 7.13. Tiempos Productivos y no Productivos de la Fase de Perforación del Hoyo de Superficie.	
Gráfico de Pareto.....	84
Figura 7.14. Tormenta de Ideas de la Fase de Perforación del Hoyo de Superficie	
Diagrama Causa-Efecto.....	85
Figura 7.15. Problemas de la Fase de Perforación del Hoyo de Superficie	
Diagrama de Pareto.....	86
Figura 7.16. Experiencia de los Miembros de las Cuadrillas	
Diagrama de Pareto.....	87
Figura 7.17. Tiempo promedio por año de la Fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie	
Gráfico de Tendencia.....	88
Figura 7.18. Tiempos de la Fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie	
Gráfico de Control.....	89
Figura 7.19. Fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie	
Histograma de Frecuencia.....	90
Figura 7.20. Tiempos Productivos y no Productivos de la Fase de Perforación del Hoyo de Superficie.	
Diagrama de Pareto.....	91
Figura 7.21. Tormenta de Ideas de la Fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie	
Diagrama Causa-Efecto.....	91
Figura 7.22. Problemas de la Fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie	
Diagrama de Pareto.....	92
Figura 7.23. Corrida del Revestimiento del Hoyo de Producción	
Expresado en Juntas por Hora	
Gráfico de Tendencia.....	93
Figura 7.24. Tiempo promedio de la Fase del Proceso de Construcción de Pozos	

---

Gráfico de Tendencia.....	94
Figura 7.25. Tiempos promedios por año de la Fase de Perforación del Hoyo de Producción	
Gráfico de Tendencia.....	95
Figura 7.26. Fase de Perforación del Hoyo de Producción	
Histograma de Frecuencia.....	96
Figura 7.27. Tiempos de la Fase de Perforación del Hoyo de Producción	
Gráfico de Control.....	96
Figura 7.28. Tiempos Productivos y no Productivos de la Fase de Perforación del Hoyo de Producción	
Diagrama de Pareto.....	97
Figura 7.29. Tiempos de la Actividad de Instalar y Probar Válvulas Impide-Reventones	
Gráfico de Control.....	98
Figura 7.30. Experiencia de los miembros de las cuadrillas	
Diagrama de Pareto.....	100
Figura 7.31. Tiempo Perforando y Perdido por Problemas de la Fase de Perforación del Hoyo de Producción	
Diagrama de Pareto.....	102
Figura 7.31. Número de Mechas usadas por año	
Gráfico de Pareto.....	104
Figura 7.32. Tiempo Circulando Hoyo	
Gráfico de Control.....	105
Figura 7.33. Tiempo realizando Viajes.	
Gráfico de Control.....	107
Figura 7.34. Sacar Tuberías medidos en Juntas / hora.	
Gráfico de Control.....	108
Figura 7.35. Tormenta de Ideas de la Fase de Perforación del Hoyo de Producción	
Diagrama Causa-Efecto.....	109
Figura 7.36. Problemas de la Fase de Perforación del Hoyo de Producción	
Diagrama de Pareto.....	109
Figura 7.37. Tiempo promedio por año de la Fase de Evaluación Geológica y Petrofísica	
Gráfico de Tendencia.....	111
Figura 7.38. Fase de Evaluación Geológica y Petrofísica.	
Histograma de Frecuencias.....	112
Figura 7.39. Tiempos de la Fase de Evaluación Geológica y Petrofísica	
Gráfico de Control.....	112
Figura 7.40. Tiempos Productivos y no Productivos de la Fase de Evaluación Geológica y Petrofísica.	
Diagrama de Pareto.....	113
Figura 7.41. Problemas en la Fase de Evaluación Geológica y Petrofísica	
Gráfico de Pareto.....	114
Figura 7.42. Fase promedio por año de la fase	

---

Revestimiento del Hoyo de Producción.	
Gráfico de Tendencia.....	115
Figura 7.43. Fase de Revestimiento del Hoyo de Producción	
Histograma de Frecuencia.....	116
Figura 7.44. Tiempos de la Fase de Revestimiento del Hoyo de Producción	
Gráfico de Control.....	116
Figura 7.45. Tiempos Productivos y Tiempo no Productivos	
de la Fase de Revestimiento del Hoyo de Producción	
Diagrama de Pareto.....	117
Figura 7.46. Tormenta de Ideas de la Fase de Revestimiento del	
Hoyo de Producción	
Diagrama Causa-Efecto.....	118
Figura 7.47. Problemas en la Fase de Revestimiento	
del Hoyo de Producción	
Diagrama de Pareto.....	119
Figura 7.48. Tiempo promedio de Corrida del Revestimiento	
del Hoyo de Producción	
Gráfico de Tendencia.....	120
Figura 7.49. Tiempo promedio por año de la Fase de Completación	
Gráfico de Tendencia.....	121
Figura 7.50. Tiempos de la Fase de Completación.	
Gráfico de Control.....	122
Figura 7.51. Fase de Completación	
Histograma de Frecuencia.....	123
Figura 7.52. Tiempos Productivos y no Productivos promedio por año	
para la Fase de Completación.	
Diagrama de Pareto.....	123
Figura 7.53. Tormenta de Ideas de la Fase de Completación	
Diagrama Causa-Efecto.....	124
Figura 7.54. Distribución de los Tipos de Gabarra dentro de la Muestra	
Diagrama de Pareto.....	125
Figura 7.55. Pérdidas por mal tiempo por pozo para cada tipo de Gabarra	
Diagrama de Pareto.....	126
Figura 7.54. Proceso Modelo	
Curva de Progreso.....	125

CAPÍTULO 1  
**Introducción** 



## **1.- INTRODUCCIÓN**

A nivel mundial, la industria petrolera adelanta importantes avances tecnológicos que involucran todos sus componentes, pero en especial al proceso de construcción de pozos. Este involucra un número importante de fases (fase de mudanza, fase de perforación, fase de evaluación geológica, fase de revestimiento y fase de completación). Estas fases son recurrentes y su optimización esta directamente relacionada con el tiempo utilizado para su realización. Por consiguiente, es fundamental estandarizar cada fase que forma parte de la construcción de pozos. Para ello, se busca disminuir las ineficiencias de las distintas fases, mediante la utilización de elementos estadísticos que permitan establecer los rangos más apropiados para la aplicación de las “técnicas operacionales óptimas del área”.

Este mejoramiento continuo de los procesos es lo que actualmente se conoce como Gerencia de Calidad, la cual consiste en la revisión sistemática y continua de los procesos de trabajo de una organización, a fin de identificar y eliminar las ineficiencias o desperdicios crónicos y las causas que los originan.

La Gerencia de Calidad utiliza como principal herramienta el control estadístico de procesos, el cual consta de los siguientes pasos principales: la recolección, análisis e interpretación de datos. Así, el objetivo es utilizar estos métodos estadísticos para medir la magnitud y grado de variación de los desperdicios que afectan la calidad del proceso. La cuantificación de esta variación constituye el indicador que señala hacia donde ir y en qué concentrarse para lograr el mejoramiento continuo de los procesos de trabajo. En la medida en que el desperdicio sea reducido, el proceso irá mejorando, se estará logrando más calidad, se reducirán los costos y aumentará la productividad.

Es importante reconocer la necesidad de fortalecer el control estadístico de los procesos como un elemento primordial para mejorar la planificación operacional y el control de la gestión. Estos, son claves para asegurar los aumentos en la productividad, y de esta manera responder mejor aún a las demandas actuales.

Tomando en cuenta que la competencia dentro de la industria petrolera cada día es mayor, es requisito indispensable para los nuevos profesionales, como generación emergente de la industria, conocer y utilizar metodologías que permitan aumentar la eficiencia de la misma. Por consiguiente, este Trabajo Especial de Grado ha sido realizado con el principal objetivo de probar y utilizar la metodología de control de calidad, que permitirá el estudio y mejoramiento de las distintas fases de la construcción de pozos para así acercarnos cada día más a la eficiencia deseada.

CAPÍTULO 2  
**Área de Estudio** 



## 2. ÁREA DE ESTUDIO

### 2.1. GENERALIDADES DEL CAMPO UTILIZADO PARA PROBAR LA METODOLOGÍA<sup>(1)</sup>

El Campo de Estudio está ubicado en la región central del Lago de Maracaibo. Su explotación comenzó en 1958, y produce crudos provenientes de las formaciones Mioceno, Eoceno "B" y Eoceno "C", los cuales resultaron con una gravedad de entre 23 y 41° API.

El Campo está conformado por yacimientos muy complejos y heterogéneos debido a las características del ambiente sedimentario de deposición. La heterogeneidad es debida a que el ambiente sedimentario es próximo costero, en el cual se desarrollan una gran variedad de sub-ambientes que originan una serie de estructuras sedimentarias, algunas de poca extensión lateral. La complejidad sedimentológica se refleja luego en los diferentes comportamientos de producción, producto de los factores estructurales y estratigráficos. Para los yacimientos C-2 y C-3 tiene más importancia el factor estratigráfico que el estructural, de allí que algunos pozos ubicados estructuralmente buzamiento abajo tengan mejores propiedades petrofísicas.

### 2.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA<sup>(1)</sup>

Este Campo se encuentra ubicado en la parte Central del Lago de Maracaibo. La empresa Phillips Petroleum. Co. perforó el primer pozo exploratorio en Agosto de 1958, el cual encontró acumulaciones de hidrocarburos a nivel de las areniscas de la Formación Misoa del Eoceno. El pozo descubridor en el área alcanzó una profundidad total de 14122 pies, penetrando hasta la Formación Mito Juan de edad Cretácico Superior.

### 2.3. ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA <sup>(2)</sup>

La estratigrafía de la zona está conformada por sedimentos pocos consolidados de la Formación La Puerta de edad Mioceno Superior, continuando con las Formaciones Lagunillas del Mioceno Medio y La Rosa con su miembro basal Santa Bárbara del Mioceno Inferior. Posteriormente, en contacto discordante, se encuentra la Formación Misoa de edad Eoceno Medio-Inferior, parcialmente erosionada a partir de la unidad C-2.

La siguiente columna estratigráfica es la que representa típicamente el área del campo en estudio (Figura 2.1).

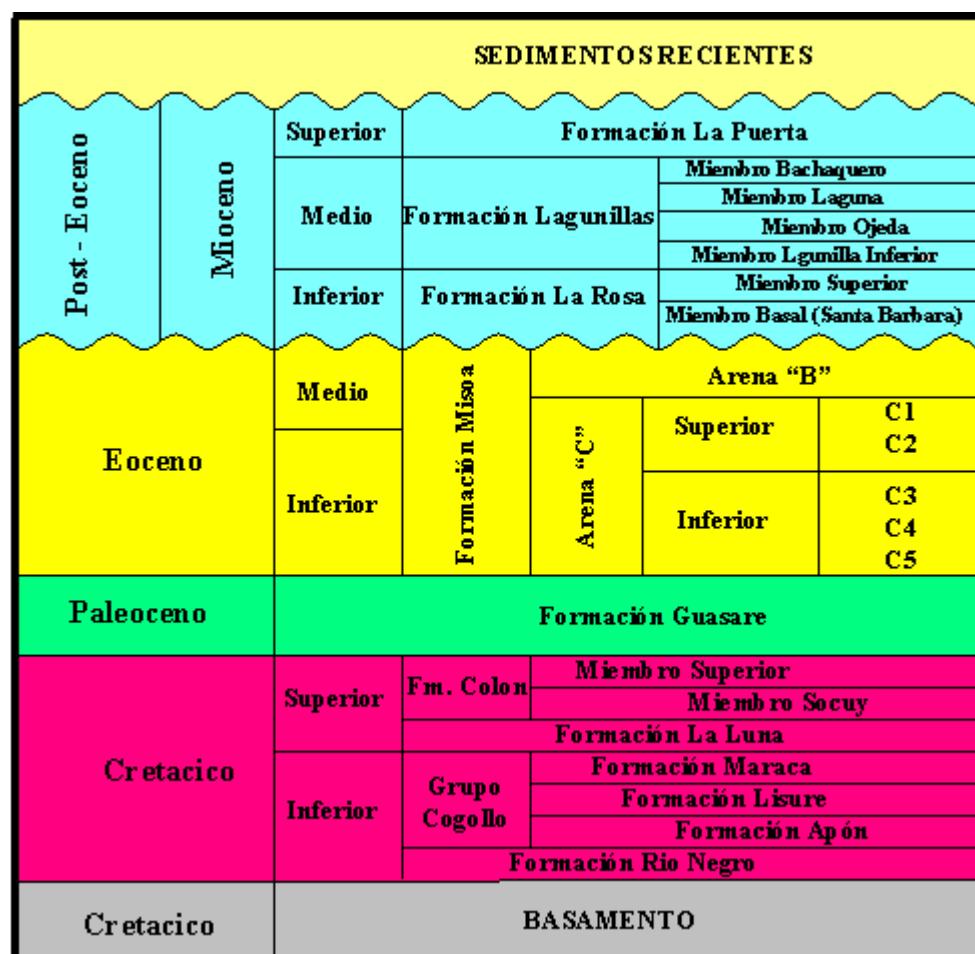


Figura 2.1.- Columna estratigráfica del Campo en Estudio<sup>(1)</sup>

La litología de cada una de las formaciones que atraviesan los pozos perforados en el campo, es la siguiente:

#### **a. Formación La Puerta**

Está formada casi exclusivamente de lutitas moteadas, con unas pocas láminas delgadas de arena. La sección inferior presenta una serie de capas de guijarros que muestran pulimentos por la acción del viento.

#### **b. Formación Lagunillas**

Está caracterizada por areniscas poco consolidadas intercaladas con arcillas, lutitas y algunos lignitos. Esta formación está compuesta por varios miembros que reflejan el cambio de ambiente de marino somero a deltáico fluvial.

#### **c. Formación la Rosa**

Está constituida por arcillas ferruginosas intercaladas con cantidades variables de areniscas, generalmente de ambiente marino. La Formación la Rosa presenta dos miembros; las lutitas de la Rosa, representadas por lutitas gruesas marinas con intercalaciones locales de arenas y Santa Bárbara, representadas por arenas basales con intercalaciones de arcillas laminares.

#### **d. Formación Misoa**

Esta compuesta por areniscas, limolitas y lutitas con algunas capas de calizas en su parte interior. Las areniscas presentan granos de diversos tamaños, se presentan en forma general de color blanco y en forma de granos finos degradando a limolitas, duras, micáceas, frecuentemente carbonosas. Las calizas que aparecen en la parte inferior de intercalaciones delgadas, generalmente bioclásticas ygradando a una arenisca calcárea.

## 2.4. ESTUDIO GEOLÓGICO

El Campo elegido para adelantar este estudio consta de 16 yacimientos, siendo los de mayor interés los pertenecientes al Eoceno "C". La Formación Misoa del Eoceno C es la principal productora del campo, y de allí se obtiene crudo de gravedad comprendida entre 23 y 41 ° API. En este campo la permeabilidad media varía de 10 a 1000 md., en arenas que presentan porosidad entre 17 a 23%.

Las presiones originales en el campo para el yacimiento Eoceno "C" están en el orden de 5400 lpc, siendo común una presión de saturación 1700 lpc., mostrando que en general los yacimientos se encontraban subsaturados a condiciones iniciales. Los mecanismos de producción predominantes son: expansión roca / fluido, gas en solución y empuje hidráulico. Para el yacimiento Eoceno "C" (principal objetivo de los pozos del área) las saturaciones iniciales de petróleo están en el orden del 63 al 88 %. El petróleo original en sitio (POES) fue determinado en 1117,6 MMBls. Las reservas recuperables y remanentes son de 281,9 y 181,8 MMBls., respectivamente. Hasta diciembre de 1994 se habían producido 100,2 MMBls. de petróleo (10% del POES), proveniente principalmente de las arenas "C" de la formación Misoa y con un aporte minoritario de la Formación La Rosa y de las calizas del cretáceo.

Las características generales promedio de los yacimientos se muestra en la siguiente tabla (Tabla 2.1):

Tabla 2.1.- **Características generales de yacimiento<sup>(1)</sup>**

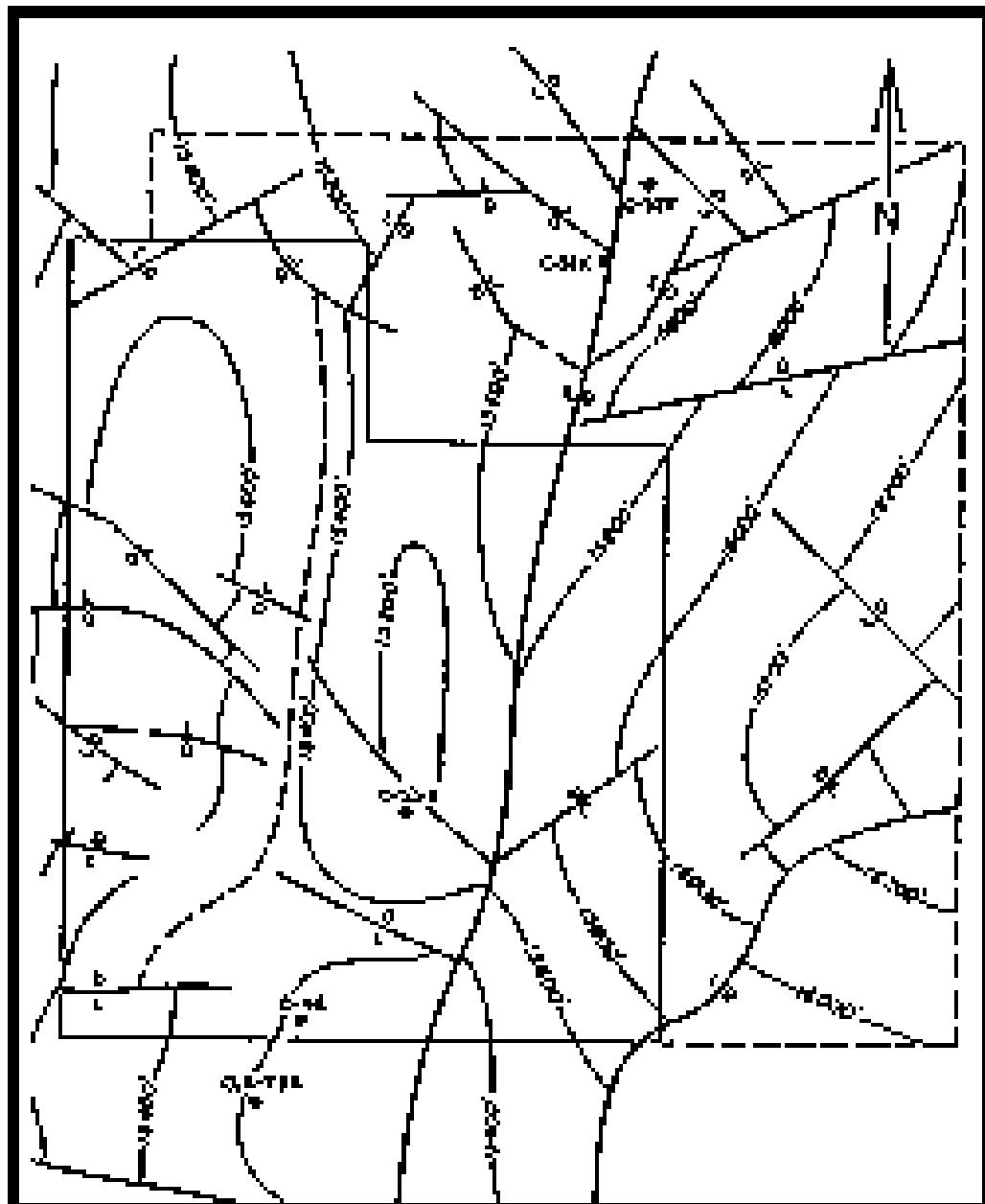
	Post - EOCENO	EOCENO "B"	EOCENO "C"
<b>Gravedad API</b>	24	24	23 – 41
<b>Presión Inicial (lpc)</b>	5400	5300	5450
<b>Permeabilidad (mD)</b>	40	210	10 – 1000
<b>Sat. de Petróleo (%)</b>	60	70	63 – 88
<b>Porosidad (%)</b>	20	20	17 – 23
<b>Bo (BY/BN)</b>	1,41	1,41	1,226 – 1,3
<b>Prof. Promedio (pies)</b>	12300	12000	12000
<b>POES (MMBN)</b>	46,6	34,1	1034,1
<b>Presión de Sat. (lpc)</b>			1700

#### **2.4.1. ESTRUCTURA <sup>(3) (4)</sup>**

El modelo estructural ha sido establecido por varios autores, partiendo de la interpretación de líneas sísmicas 2D y 3D, datos de pozos y distribución de fluidos. La estructura del Eoceno consta de un anticlinal fallado, el cual desarrolló su eje en la región central con una dirección NNE - SSO donde se presentan buzamientos moderados que varían entre 10° y 26°. El Flanco Este se caracteriza por presentar buzamientos suaves (2° a 7°) hacia el SE. En la Figura 2.2 se muestra un mapa-esquemático de estos rasgos estructurales principales. No se muestra un mapa estructural formal, por limitaciones de los operadores del área.

Los accidentes estructurales más relevantes son, en primer lugar, la Falla Central inversa, la cual buza al Este y de orientación NNE - SSO. En segundo lugar, se destaca la Falla Este, de orientación similar a la anterior pero de carácter normal, la cual fue afectada durante la compresión Post-Eoceno, buzando hacia el Oeste. Si bien la Falla Este presenta saltos verticales, éstos normalmente varían entre 100 y 300 pies. Esta falla presenta características de sello entre acumulaciones de la región Central y la del Este, esto basado en la distribución de fluidos, comportamiento de producción y datos de geoquímica de crudos.

El otro sistema de fallas existentes presenta orientación (NO-SE), casi perpendicular al sistema anterior y está constituido por fallas normales con saltos entre 100 y 300 pies. Este sistema de fallas (posiblemente asociado a un evento de extensión) es anterior al sistema NNE -SSO debido a que, en relaciones de corte de cada una de ellas, es desplazada tanto por la Falla Central como por la Falla Este.



CAPÍTULO 3

## Planteamiento del Problema



### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso de construcción de pozos es, sin duda, la etapa más costosa de toda la operación de desarrollo de un yacimiento, que incluye desde el descubrimiento del yacimiento hasta la comercialización del crudo. Debido a esta razón, es primordial optimizar al máximo dicha etapa para disminuir en lo posible los costos y así obtener el mayor nivel de ganancias del negocio. Por ello, en la actualidad, la industria petrolera requiere valerse de todos los medios posibles para reducir los tiempos de las fases que conforman la Construcción de los Pozos Petroleros.

La idea es estandarizar las distintas fases del proceso, mediante una revisión sistemática y continua, para identificar y eliminar tanto las ineficiencias como las causas que las ocasionan, para así disminuir los costos de las operaciones.

En la búsqueda de los factores importantes para la estandarización de los procesos de la industria petrolera, se hizo evidente que en el área geográfica elegida para adelantar el proyecto de este Trabajo Especial de Grado ha habido un aumento de los tiempos de Construcción de los Pozos, lo cual se muestra en el siguiente gráfico de tendencia (Figura 3.1).

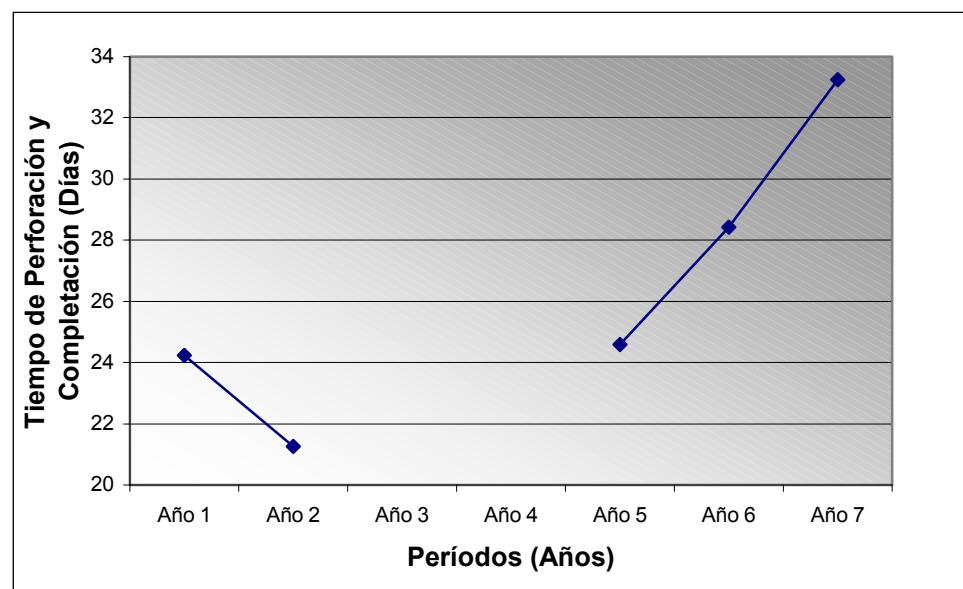


Figura 3.1.- **Tiempo promedio por año de Construcción de Pozos para el Área de Estudio - Gráfico de Tendencia**

Es evidente cómo en los dos primeros años de estudio la tendencia corresponde a lo que usualmente se ha denominado llamada “Curva de Aprendizaje” que se debiera cumplir en todos los procesos, en los cuales un mayor conocimiento del área donde se realiza la construcción del pozo y del tipo de labor que se ejecuta, trae consigo un mayor nivel de conocimiento y de experiencia, resultando esto en una mayor pericia y un menor tiempo invertido para realizar las actividades. Indudablemente esto no se cumple para esta zona, ya que a partir del año cinco (5) en adelante, los tiempos de ejecución del ciclo completo de tareas comienzan a aumentar.

Este gráfico muestra cómo los tiempos experimentan un aumento en más de 8 días entre los dos primeros años y los últimos tres. Es importante destacar que en los años tres (3) y cuatro (4) la actividad operacional en el área fue escasa. Por lo tanto, los pocos pozos construidos en esa época fueron descartados de la muestra. Además, las limitaciones de data no permitieron hacer más extenso el estudio para así poder abarcar el análisis de los pozos perforados en ese período.

De los resultados presentados en la gráfica anterior se hace evidente la importancia de realizar un estudio de los tiempos de las distintas fases para identificar los principales problemas que ocasionan un aumento de los mismos. Para dicha identificación se utilizarán distintas herramientas de carácter estadístico.

Inicialmente, con el fin de identificar las fases que ocasionan mayores tiempos, se elaboró un Diagrama de Pareto (Figura 3.2) con los Tiempos Promedios de ejecución de cada fase para toda la muestra.

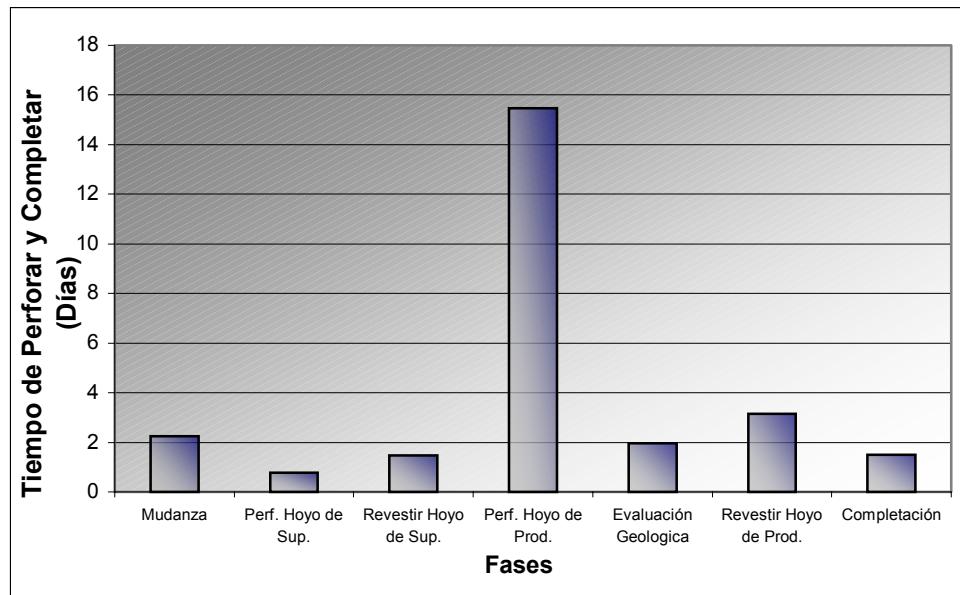


Figura 3.2.- **Tiempos Promedio de las distintas fases del Proceso de Construcción de Pozos - Diagrama de Pareto**

Como se muestra en la Figura 3.2, la fase del proceso que utiliza más tiempo es la Perforación del Hoyo de Producción. Por lo tanto, el mayor detalle del estudio se hará sobre dicha fase. Sin embargo, de igual manera se realizarán los análisis sobre todas las fases que forman parte de la Construcción del Pozo para así poder concluir acerca de cada una de ellas y recomendar los posibles correctivos para optimizar el proceso.

Por consiguiente, el objetivo fundamental de este Trabajo Especial de Grado es el de identificar, utilizando herramientas básicas de estadística, aquellos factores que influyen de manera significativa sobre los tiempos para la Construcción de Pozos. Una vez sean identificados estos factores se darán algunas recomendaciones con la intención de implementar los paliativos correspondientes para eliminar los desperdicios y consecuentemente disminuir los tiempos de ejecución.

CAPÍTULO 4  
**Marco Teórico** 



## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. PROCESOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS <sup>(5)(6)</sup>

Este proceso comprende una serie de fases inherentes a la perforación de un pozo, que permita 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 se ha dividido en diversas 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 que se prueba satisfactoriamente el árbol de navidad o se asegura el pozo.

Dichas fases están interrelacionadas con un inicio y un fin. Tienen además un objetivo específico y son recurrentes. En el presente estudio se evaluará estadísticamente la calidad de las actividades involucradas en la perforación. Esta revisión originará un mejoramiento de la calidad de gestión por la disminución progresiva de las fallas, defectos y repeticiones. Esto debe traer como consecuencia la eliminación de los desperdicios en las fases, la reducción de costos y un incremento de la motivación y satisfacción de los trabajadores involucrados en el sistema.

#### 4.1.1. SUPOSICIONES DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE POZOS

Entre los principales factores que rigen y condicionan la Construcción de Pozos se encuentran:

- Seguridad
- Conservación ambiental
- Costo mínimo
- Productividad del pozo

#### **4.1.2. SISTEMAS QUE INTEGRAN LOS TALADROS DE PERFORACIÓN**

El Proceso de Construcción consiste en perforar el hoyo hasta la profundidad requerida. Para tal fin, es necesario que el taladro esté dotado de diferentes equipos, los cuales representan los sistemas que integran los taladros de perforación. Estos sistemas son:

##### **4.1.2.1. SISTEMA DE LEVANTAMIENTO**

Soporta el sistema pesado de rotación proveyendo el equipo apropiado y las áreas de trabajo necesarias para levantar, bajar y suspender los pesos requeridos por el sistema de rotación. Esta constituido por:

**4.1.2.1.1. Equipos de levantamiento:** son equipos especializados para levantar, bajar y suspender la sarta de perforación (tubería de perforación, mechas, tuberías de revestimiento, etc), están localizados en áreas específicas dentro de la estructura de soporte. Estos equipos los conforman, entre otros, el malacate, el bloque corona, el bloque viajero, el gancho, los elevadores y la guaya de perforación.

**4.1.2.1.2. Estructura de soporte:** es el andamiaje capaz de soportar los enormes pesos de los equipos de trabajo usados en el sistema de rotación y provee el espacio de trabajo requerido para el uso de los equipos de levantamiento. La estructura esta constituida por: la planchada del taladro, subestructura y la torre de perforación (ver Anexo 1).

Existen diferentes tipos de torres de acuerdo al lugar donde se este perforando. Pueden ser: equipos de perforación en tierra o equipos de perforación costa afuera. Esta última opción exige adecuarse a una serie de normas que rigen su funcionamiento y que son de vital importancia para realizar una perforación en agua (ver Anexo 2).

**4.1.2.1.2.1. Equipos de perforación en agua:** comprende los equipos utilizados para perforar en agua. Los mismos poseen movilidad propia o son remolcados cuando se cambia de localidad. El medio ambiente es el factor determinante en cuanto a la elección

del tipo de equipo se refiere. La selección se basará en la profundidad del agua, tipo de olas, condiciones climáticas y ubicación de la localidad donde se va a perforar. Los tipos de estructuras para perforar en agua más utilizados en Venezuela son:

(A) equipo Auto-Elevadizo, (B) gabarra de perforación tipo Tender, (C) gabarra de perforación Integral.

**A. Equipo Auto-Elevadizo** (Jack Up): son las estructuras más utilizadas en operaciones en el agua. Pueden operar en aguas de hasta 350 pies. y son ideales para operar en áreas como el Golfo de México. La estructura consiste en un casco flotante y tres piernas mecánicas de gran altura, que se pueden elevar y bajar mediante un sistema mecánico. El equipo necesita ser remolcado con las patas en la posición elevada. Al llegar al lugar de la perforación, las mismas se bajan mecánicamente hasta apoyarse en el fondo del mar. Una vez que las patas han hecho contacto firme con el fondo marino, el casco se elevará mecánicamente por sobre el nivel de las aguas. La altura a la cual el equipo operará sobre las aguas dependerá de las condiciones climáticas. En la zona del Golfo es de 30 a 35 pies. En el Mar del Norte se trabaja a más de 90 pies debido a las condiciones imperantes. La Figura 4-1 ilustra un equipo Auto-Elevadizo.

#### **A.1. Ventajas del Equipo Auto-Elevadizo:**

- Estructura fija
- Operación menos costosa
- Área mínima expuesta a las olas
- Buena capacidad para operar en condiciones climática adversas

#### **A.2. Desventajas del Equipo Auto-Elevadizo:**

- Más difícil para remolcar
- Posee muchas partes móviles
- Limitado a 300 pies de agua

Figura 4.1. **Auto - Elevadizo (Jack Up)**

**B. Equipos Tender:** están constituidas por la cabria, la cual está unida a una subestructura, este conjunto recibe el nombre de "paquete". Además, consta de una gabarra separada en la cual están ubicados los tanques de lodo, bombas y otros equipos auxiliares. Este tipo de equipos utilizan cuatro anclas para mantenerlos en el sitio de perforación (Figura 4.2).

**B.1. Ventajas del Equipo Tender:**

- Se posiciona más rápido, ya que no utiliza boyas sino que directamente se lanzan las anclas
- Es más estable en los momentos donde hay mal tiempo

**B.2. Desventajas:**

- Necesitan fundaciones especiales de pilotes para poder colocar el paquete
- Se deben unir por mangueras ambas unidades y el paquete para poder funcionar
- Para mover el paquete se necesita de equipo especial

**C. Equipos Integrales:** son aquellas unidades donde la cabria está unida a la gabarra mediante dos vigas cantiliver. Para su fijación en el sitio de operación se requiere de la utilización de siete (7) boyas con sus respectivas anclas (Figura 4.3).

**C.1. Ventajas del Equipo Integral:**

- No necesitan un transporte adicional

**C.2. Desventajas del Equipo Integral:**

- En momentos de mal tiempo son muy inestables

Figura 4.2. **Gabarra Tender**

Figura 4.3. **Gabarra Integral**

#### **4.1.2.2. SISTEMA DE ROTACIÓN**

Está localizado en la parte central del sistema de perforación. Su función principal es hacer rotar la sarta de perforación y permitir que la mecha perfore un hoyo desde la superficie hasta la profundidad total. Está formado por los siguientes componentes: mesa rotatoria, buje maestro, buje del cuadrante (todos estos componentes en la actualidad han sido sustituidos por el Top Drive), cuñas, llaves hidráulicas, sarta de perforación y por último la mecha.

#### **4.1.2.3. SISTEMA DE CIRCULACIÓN**

Su principal función es servir de soporte al sistema de rotación en la perforación de un pozo, proveyendo los equipos apropiados, materiales, y áreas de trabajo necesarios para preparar, mantener y revisar la “sangre vital” de la perforación como lo es el fluido de perforación. El sistema de circulación lo conforman: el fluido de perforación, el área de preparación, los equipos de circulación y el área de acondicionamiento.

#### **4.1.2.4. SISTEMA DE POTENCIA**

Es el encargado de generar la fuerza primaria requerida para operar casi todos los otros componentes en un complejo moderno de perforación. Este sistema soporta todas las operaciones de los sistemas de perforación, primero generando la energía requerida en el sitio. Para ello usan grandes motores de combustión interna y luego dependiendo del tipo de motor usado, transmite o distribuye la energía en forma mecánica o eléctrica a todos los sistemas componentes del taladro que necesitan energía para realizar cada una de las funciones asignadas. Esta formado por: la fuente primaria de potencia y la transmisión de potencia.

#### **4.1.2.5. SISTEMA DE SEGURIDAD**

El sistema de seguridad o de impide-reventones tiene como función principal controlar una arremetida. Un reventón es un flujo incontrolado de la formación a la superficie. Siempre comienza con una arremetida, la cual es una entrada de fluido de alta presión dentro del hoyo. Esta entrada de fluido puede convertirse en un reventón si no es inmediatamente controlada por la cuadrilla. Para controlar una arremetida y evitar un reventón se usan las válvulas impide-reventones. El sistema de impide-reventones lo conforman: el conjunto de válvulas impide-reventones y el sistema de matar el pozo.

### **4.2. ESTANDARIZACIÓN DE LOS PROCESOS <sup>(7)</sup>**

El proceso de Construcción de Pozos involucra diversas actividades que siempre son susceptibles a ser mejoradas y optimizadas. La utilización de nuevas tecnologías operacionales, una planificación más ajustada a la realidad, un control de las operaciones asociado a metodologías precisas y el apoyo de herramientas computarizadas, son recursos que se deben aprovechar con el objetivo de mantener las operaciones con el menor número de ineficiencias para lograr el más bajo costo posible y generar valor agregado a la corporación.

Para ello, es necesario desarrollar una metodología única para el análisis de los tiempos correspondientes a las fases, que permita realizar evaluaciones y comparaciones estadísticas entre las diferentes áreas de operación, cuantificando de una forma clara y precisa los tiempos dedicados a las actividades productivas y no productivas mediante la mecanización de la información. Para esta tarea se tomaron como base los Esquemas de Análisis de Tiempo de Construcción de Pozos utilizados por la Industria Petrolera Venezolana y que se publicaron en la referencia <sup>(7)</sup>.

La aplicación de esta metodología, permitirá evaluar índices de perforación por hoyo, campo y área, identificar actividades susceptibles a ser mejoradas, optimizar las operaciones de perforación y obtener índices referenciales de apoyo para la planificación

de los pozos a perforarse en la misma área sometida a estudio a corto y mediano plazo. Con la implantación y análisis de esta metodología, se pueden aplicar correctivos técnicos que permita mejorar la eficiencia de la perforación, reduciendo el tiempo no productivo de Construcción de Pozos, lo que se debe traducir, en ahorro de los costos del taladro como producto de la minimización de los problemas operacionales.

#### 4.2.1. OBJETIVOS DE LA ESTANDARIZACIÓN

La estandarización de las fases de Construcción de Pozos tiene por objetivo facilitar el control efectivo sobre las operaciones, mejorar el tiempo de respuesta para la toma de decisiones y unificar los criterios para la evaluación de la gestión.

La metodología contempla la clasificación de las operaciones en cuatro niveles jerárquicos, estos son: Fase, Etapa, Actividad y Sub-Actividad. Además se deberá cumplir con la respectiva distribución en tiempos productivos y no productivos (Figura 4.4). Las Sub-Actividades sólo se aplicarán en los casos si se requiere un mayor nivel de detalle de las actividades.

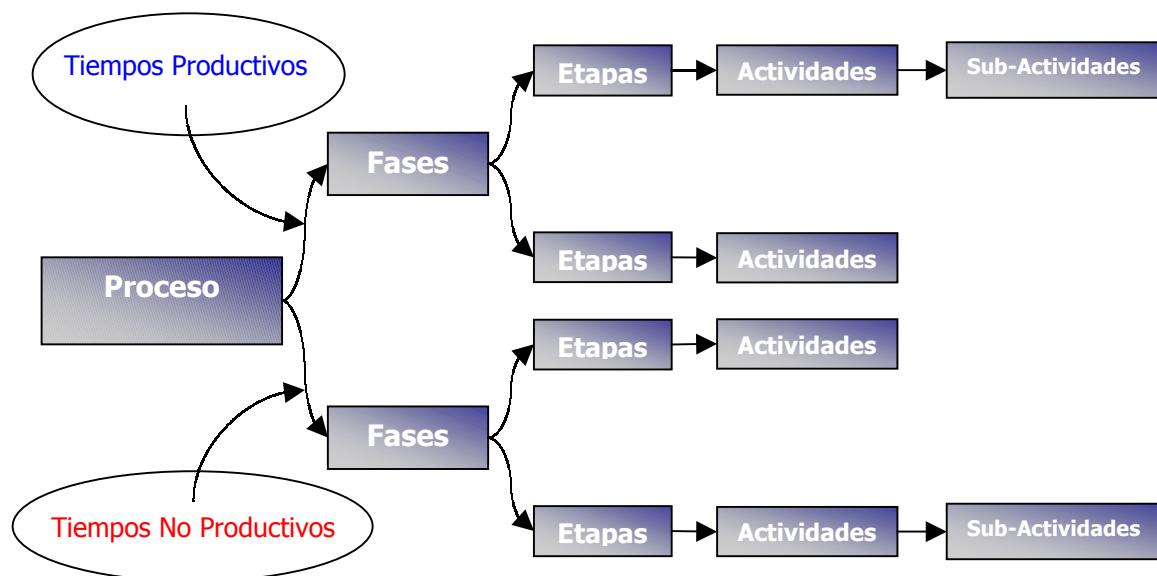


Figura 4.4.- Niveles de Operaciones de un Proceso cualquiera

#### 4.2.2. TIEMPOS DE OPERACIÓN

Uno de los objetivos básicos que se debe alcanzar es establecer, con claridad y precisión, la porción de tiempo dedicada a operaciones productivas y a las no-productivas. Para lograr este objetivo es necesario definir en forma clara las operaciones dentro del proceso de Construcción de Pozos. Para ello, se agruparon jerárquicamente como se describió en el punto anterior. El tiempo total utilizado en cada actividad se definió y separó en dos partes: como Tiempos Productivos y Tiempos No Productivos. En la Figura 4.5 se muestra un esquema de los tiempos de operaciones.

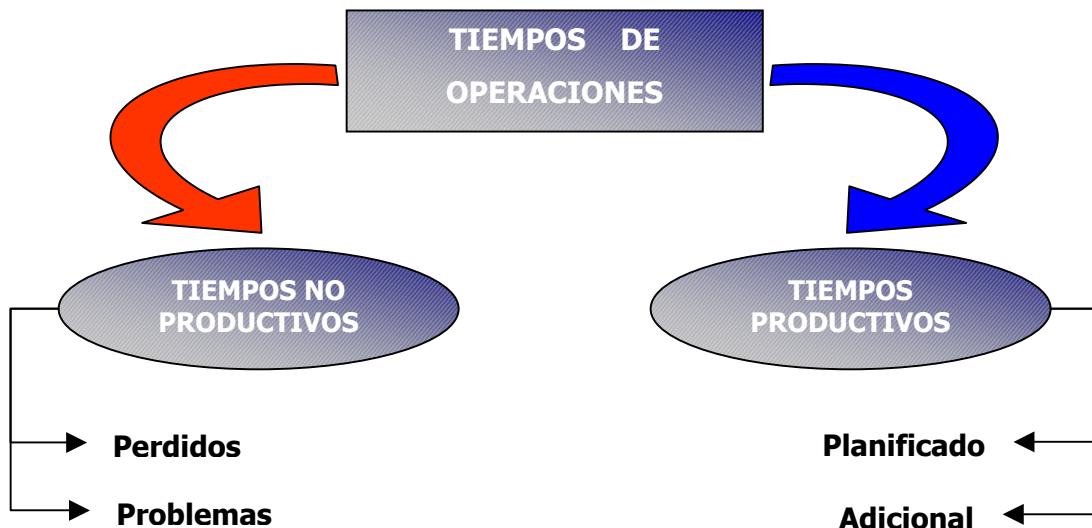


Figura 4.5. **Tiempos de Operaciones**

##### 4.2.2.1. TIEMPO PRODUCTIVO

Es el período de tiempo de aquellas actividades de los equipos de perforación, que contribuyen al progreso de la construcción del pozo de acuerdo a lo planificado o de eventos adicionales no contemplados en la planificación, que surgen a requerimiento del cliente. El tiempo productivo está subdividido en:

**4.2.2.1.1. Productivo Planificado:** son todos aquellos tiempos asociados a las diferentes actividades relacionadas con la Construcción de un Pozo que forman parte de la planificación inicial.

**4.2.2.1.2. Productivo Adicional:** son todos aquellos tiempos que, una vez comenzado el proceso, son incluidos a solicitud del cliente en las actividades de Construcción de un pozo y que no formaban parte de la planificación inicial. Ejemplo: profundizaciones, toma de núcleos y corrida de registros adicionales, abandono de hoyo y desvío por reinterpretación geológica.

#### **4.2.2.2. TIEMPO NO PRODUCTIVO**

Se define como el período acreditable a eventos o actividades en las operaciones que retardan el avance de las actividades de Construcción de un 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.

Para un mejor análisis de los eventos que generan tiempos no productivos durante las diferentes fases del proceso de perforación, se ha clasificado el tiempo no productivo en actividades de tiempo perdido y de problemas, los cuales se definen a continuación:

**4.2.2.2.1. Tiempo Problemas:** son todos aquellos acontecimientos no productivos inherentes a la condición del hoyo y que por sus características se les denomina "problemas". Comprende actividades tales como: acondicionamiento de hoyo, pérdida de circulación, atascamiento de tubería, control de arremetida, desvío, corrección de cementación primaria, pesca y complejidad geológica.

**4.2.2.2.2. Tiempo Perdido:** son todos aquellos acontecimientos no productivos que por su naturaleza no son considerados como tiempo Problemas y a su vez no están asociados a condiciones del hoyo sino a eventos logísticos y superficiales. Algunos de ellos son: las

fallas en general, las esperas, reacondicionamientos, reparaciones y fuerza mayor (mal tiempo).

#### **4.3. GERENCIA DE CALIDAD (8)(9)(10)(11)(12)(13)**

Cuando una organización adopta como estilo gerencial la “Gerencia de la Calidad” debe sustentar sus decisiones sobre la base de la información estadística derivada del análisis de los procesos de trabajo. De allí que las herramientas estadísticas se conviertan en uno de los ejes fundamentales de este estilo gerencial. Es decir, no existe Gerencia de la Calidad sin control estadístico de procesos. Estos conceptos, técnicas y herramientas son aplicables en procesos de empresas de servicios y de manufactura para lograr mejoras sustanciales en la calidad, aumento de la productividad, disminuciones importantes de los costos y aumento de la posición competitiva en el mercado. No es suficiente resolver los problemas que ocurren día a día. Hay problemas importantes que simplemente “ocurren”. La Gerencia de la Calidad es precisamente la teoría gerencial para la identificación, localización y eliminación de la ocurrencia de esos problemas.

El mejoramiento continuo de los procesos de trabajo requiere de la identificación medición y eliminación del desperdicio. El desperdicio es la diferencia entre como están las cosas ahora y como deberían o podrían estar si todo marchara bien. Se considera que hay desperdicios cuando:

- Se usa tecnología que no produce mejoras
- Hay una estructura organizacional ineficiente
- Hay uso inapropiado de recursos humanos
- Trabajos rehechos
- Trabajos innecesariamente complicados
- Automatización innecesaria de trabajos
- Exceso de capital de trabajo

El control de la variación de un proceso mediante herramientas estadísticas se denomina Control Estadístico de Procesos. El mismo contribuye a identificar las causas que generan la variación. Todo proceso se puede predecir a partir de su control estadístico y se puede medir su capacidad y verificar si es necesario modificarlo o diseñar uno nuevo.

Se entiende por proceso la secuencia de pasos progresivos e independientes por medio de los cuales se transforman los insumos, a fin de obtener un producto o un servicio. En todo proceso existe una interacción previamente ordenada entre trabajadores, máquinas, herramientas, materia prima, métodos de trabajo e instalaciones físicas, con el objeto de obtener el producto o servicio.

Las características más resaltantes de los procesos son:

1. Se encuentran en todas partes. Independientemente de la posición que se ocupe en la organización y del tipo de trabajo que se realice, se participa en procesos. Mecanografiar una carta, elaborar un presupuesto, perforar un pozo, o preparar un estudio de yacimientos, son algunos de los ejemplos de ellos.
2. Todos los procesos tienen: a) abastecedores o proveedores; b) operadores o transformadores; y c) clientes, usuarios o consumidores. Aquellas personas u organizaciones que: contribuyen a, trabajan en, o reciben los resultados de un proceso.

Se denomina sistema a una serie de procesos interrelacionados. La incorporación de las reservas de crudo, por ejemplo, es un sistema que involucra varios procesos interrelacionados, que van desde la adquisición de información geofísica hasta la perforación y prueba del pozo.

Un proceso es de calidad cuando elabora productos o servicios que satisfacen las expectativas y necesidades del cliente a un mínimo costo y máxima satisfacción colectiva. Para hacer que un producto sea cada vez de mejor calidad hay que eliminar lo que Conway ha denominado “Desperdicios Crónicos” <sup>(8)</sup>. Este concepto, según su autor, es la diferencia entre lo que se obtiene de un proceso de trabajo y lo que podría o debería

lograrse si funcionaran correctamente todos los elementos que intervienen en el proceso: maquinaria, equipos, capital, ventas, talento humano.

Las fallas en los procesos, las repeticiones de trabajos, la sub-utilización del talento humano, el empleo de materia prima adicional a la requerida, inventarios excesivos, ventas perdidas, son considerados desperdicios y representan un costo para la empresa. Este costo asociado a los desperdicios crónicos es denominado por Juran "Costo de Baja Calidad" (11).

En la medida en que el desperdicio sea eliminado, el proceso irá mejorando, se estará logrando la calidad, reducción de costos y aumento de productividad. Los desperdicios son ocasionados por un conjunto de causas, comunes o especiales, que actúan sobre el proceso. Las causas comunes son aquellas que afectan el proceso en forma permanente y aleatoria y las causas especiales son las que lo afectan esporádicamente y se les puede atribuir de manera específica y directa un resultado que discrepa del esperado.

Para lograr la implantación de la Gerencia de Calidad, se dispone de diversos modelos ofrecidos por algunos expertos, entre quienes vale la pena mencionar al Dr. Edward Deming, pionero en esta materia; su mensaje para Japón en 1950 y su asesoramiento, contribuyeron a transformar la economía deprimida del Japón de la post-guerra en la potencia económica mundial que es hoy en día (9). El modelo de Deming se fundamenta en 14 principios gerenciales para el mejoramiento de la productividad y la calidad y en el uso de las herramientas estadísticas de control de procesos. Otro de los expertos en materia de calidad es el Dr. Joseph Juran, autor que define calidad como "actitud para el uso" por lo cual la calidad del producto o servicio la mide el usuario. El modelo de Juran expone la trilogía de la calidad (11):

- Planificar
- Controlar
- Mejorar

El Autor propone la creación de un sistema de contabilidad que mida los costos de los desperdicios y de los productos defectuosos, denominados por él como "Costo de Baja Calidad". Una de las contribuciones más importantes de Juran es la Secuencia Universal de Mejoramiento, según la cual toda mejora o descubrimiento sigue la siguiente secuencia:

1. Prueba de la Necesidad
2. Identificación de Proyectos
3. Organización para Mejorar
4. Diagnóstico de Causas
5. Búsqueda de Soluciones
6. Implantación de soluciones

Deming y Juran son los líderes reales de la calidad, quienes han alcanzado el más alto estatus en esta materia. Sin embargo, la lista de sus seguidores incluye nombres como: William Conway, Kaoro Ishikawa, Myron Tribus, Bryan Joiner, Gerard Sentell, entre otros. La mayoría de los programas de mejoramiento de la calidad de algunos de estos autores son generalmente considerados como derivados o combinaciones de las ideas expuestas por Deming y Juran. De éstos, vale la pena mencionar el enfoque de Willian Conway, quien señala que la mejor manera de gerenciar es a través de la eliminación del desperdicio de materiales, capital, tiempo y ganancia bruta, en todas las áreas de operaciones incluyendo proveedores y distribuidores <sup>(9)</sup>.

#### **4.4. MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS <sup>(8)</sup>**

La estadística es la ciencia que desarrolla métodos y técnicas para la recolección, análisis, interpretación de datos y representación grafica de los resultados. La aplicación de esta ciencia al análisis de los procesos ha llevado a las corporaciones a reconocer que la estadística es una herramienta completa que debe utilizarse para la solución de los problemas.

La estadística facilita el análisis adecuado de los datos de un proceso y ayuda a extraer conclusiones acertadas de los mismos. La estadística no es más que una de las numerosas herramientas para resolver problemas relacionados con la calidad del proceso. A continuación se presentan algunos de los instrumentos utilizados en la metodología de Calidad.

#### **4.4.1. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS**

Un Proceso de Trabajo es un conjunto de actividades, pasos u operaciones interrelacionadas donde intervienen hombres, materiales, equipos y dinero, con el fin de transformar unos insumos en servicios o productos terminados. La secuencia de actividades determina cómo se realiza el trabajo y qué tiempo toma la elaboración del producto o prestación del servicio. El Diagrama de Flujo de Procesos es la técnica que permite la representación gráfica de los pasos, operaciones o actividades que tienen lugar a lo largo del proceso y en él figuran datos que se consideran útiles para su análisis, tales como tiempos invertidos en cada paso, operación o actividad, distancias recorridas, etc.

El Diagrama de Flujo de Procesos permite:

1. Identificar los suplidores o proveedores y los clientes en cada paso del proceso
2. Revelar los consumos de tiempo y costo del proceso, mediante la determinación de:
  - Tiempo para la realización de cada operación o actividad
  - Tiempo entre el final de una operación o actividad y el comienzo de la otra
  - Tiempo total del proceso

El Diagrama de Flujo utiliza símbolos fáciles de reconocer para representar el tipo de operación realizada (Figura 4.6):

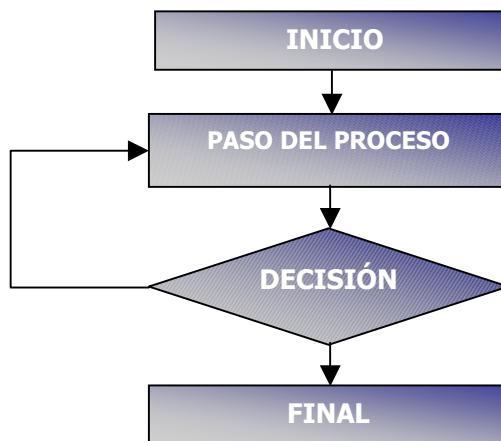


Figura 4.6.- Diagrama de Flujo

#### 4.4.2. TORMENTA DE IDEAS

Todas las técnicas de graficado facilitan la interpretación y solución de un problema, ya que concentran la atención del usuario en la verdadera dimensión del mismo. La Tormenta de Ideas se utiliza para ayudar a un grupo, a crear la mayor cantidad de ideas en el menor tiempo posible.

La Tormenta de Ideas puede ser usada de dos formas:

**1. Estructurada:** en este método cada persona en el grupo debe dar alguna idea a medida que le toque el turno de participar. En el caso de no aportar alguna, deberá esperar su turno en la siguiente vuelta. Este sistema obliga a participar a personas tímidas, pero a su vez crea cierta presión a contribuir.

**2. Sin Estructurar:** en este método los miembros del grupo aportan ideas tan pronto como les vienen a la mente. Se crea una atmósfera más relajada, pero se corre el riesgo de que participen sólo los más extrovertidos.

#### 4.4.3. DIAGRAMA CAUSA – EFECTO

El Diagrama de Causa - Efecto o Gráfico de Ishikawa, también llamado comúnmente "Espina de Pescado" <sup>(8)</sup>, tiene como propósito representar gráficamente las relaciones entre un "efecto" (problema) y todas las posibles causas (factores) que lo producen. Se elabora para elevar el nivel de comprensión de un problema u oportunidad.

Los Diagrama de Causa y Efecto se elaboran para ilustrar claramente las diferentes causas que afectan un proceso, identificándolas unas con otras. Para cada efecto generalmente surgirán varias categorías de Causas Principales que pueden ser resumidas en las llamadas cuatro (4) categorías: Personas, Maquinarias, Métodos y Materiales. En el área administrativa es más recomendable usar cuatro (4) pasos: Políticas, Procedimiento, Personal y Planta. Estas categorías son sólo sugerencias. Es posible usar cualquier categoría principal que surja para ayudar al equipo a pensar creativamente.

El Diagrama de causa-efecto permite una descripción de las causas probables de un problema, lo cual facilita su análisis y discusión. También puede utilizarse como herramienta para representar propuestas de resolución de problemas. Para la elaboración del diagrama previamente se debe cumplir con los siguientes pasos:

- Identificar el problema específico a ser resuelto
- Desarrollar un claro entendimiento del proceso
- Descomponer el problema en sus posibles partes

Los pasos para la construcción de un Diagrama de Causa - Efecto son:

1. Realizar una Tormentas de Ideas para generar las causas necesarias para construir un Diagrama de Causa - Efecto.
2. Elaborar el Diagrama de Causa - Efecto de la siguiente forma:
  - 2.1 Colocar la frase descrita que identifica el problema en el cuadro de la derecha

- 2.2 De acuerdo al proceso, anotar por categorías las tradicionales causas principales o bien, cualquier causa que sea útil para organizar los factores más importantes
  - 2.3 Colocar en forma apropiada, agrupadas en categorías principales, las causas generadas en la Tormenta de Ideas
  - 2.4 Para cada causa se debe preguntar "¿Por qué sucede?" y anotar las respuestas como ramificaciones de las principales causas
3. Para la mejor interpretación e identificación de las principales causas del problema se puede proceder de la siguiente manera:
- 3.1. Observar las causas que aparecen repetidamente
  - 3.2. Llegar al consenso del grupo
  - 3.3. Reunir información para determinar las frecuencias relativas de las diferentes causas

El efecto o problema se coloca al lado derecho del Diagrama y las influencias o causas principales son enumeradas a su izquierda (Figura 4.7)

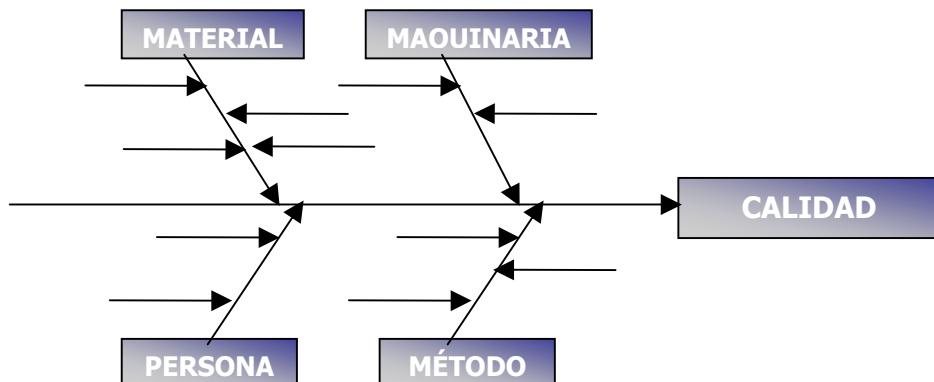


Figura 4.7. **Diagrama Causa – Efecto**

#### 4.4.4. DIAGRAMA DE PARETO

En todo fenómeno que resulte de la intervención de varias causas o factores se encontrará que un pequeño número de causas contribuyen a la mayor parte del efecto. En general, sucede que un 20% de las causas más importantes son responsables del 80% del efecto. Este fenómeno ha sido conocido desde hace tiempo, pero se ha manejado dejando de lado el valor que encierra como "herramienta de análisis". Fue Wilfredo Pareto <sup>(8)</sup> quien describió y aplicó este principio y posteriormente J.M. Juran lo denominó PRINCIPIO DE PARETO.

Este principio es efectivo y muy utilizado para identificar los problemas de mayor importancia dentro de un grupo de problemas, o bien determinar las principales causas que contribuyen a un problema determinado. Este principio es aplicable a casi cualquier campo: en la investigación y eliminación de causas de un problema, en la organización de tareas, visualización del antes y después de resuelto un problema. La práctica diaria de este principio muestra cómo identificar las prioridades y a resolver primero los problemas más importantes. Es decir, dónde concentrar el mayor esfuerzo.

El Diagrama de Pareto es un gráfico para representar atributos, mediante barras (Figura 4.8), donde cada una de ellas representa un problema diferente, o bien, diferentes causas de un problema. Estos atributos se ordenan de mayor a menor de acuerdo con su frecuencia de ocurrencia y de izquierda a derecha. En el eje horizontal de dicho gráfico se colocan las causas o factores (ATRIBUTOS) en el orden correspondiente. En el eje vertical, a la izquierda, se coloca la escala correspondiente a la unidad de medida (frecuencia, costo,....).

El Diagrama de Pareto se construye de la siguiente manera:

1. Determinar con precisión las causas o factores que se representarán en el gráfico. Si los registros de datos no están clasificados por categorías será imposible construir un Diagrama de Pareto

2. Decidir el período de tiempo a estudiar que luego se ilustrará mediante el gráfico.  
Es conveniente que este período sea lo suficientemente largo
3. Seleccionar el tipo de medida que se utilizará (frecuencia, costo,...), para darle magnitud de contribución a las causas o factores
4. Sumar las frecuencias observadas de cada factor o causa en el período fijado. El total de cada factor quedará indicado por la longitud de la barra
5. Enumerar las causas por orden de importancia (de mayor a menor)
6. Elaborar el diagrama de Pareto (Figura 4.8) colocando en el eje horizontal los factores o causas en el orden señalado y en el eje vertical a la izquierda la escala correspondiente a la unidad de medida
7. Dibujar las barras. La altura de las barras corresponderán al valor indicado en el eje vertical

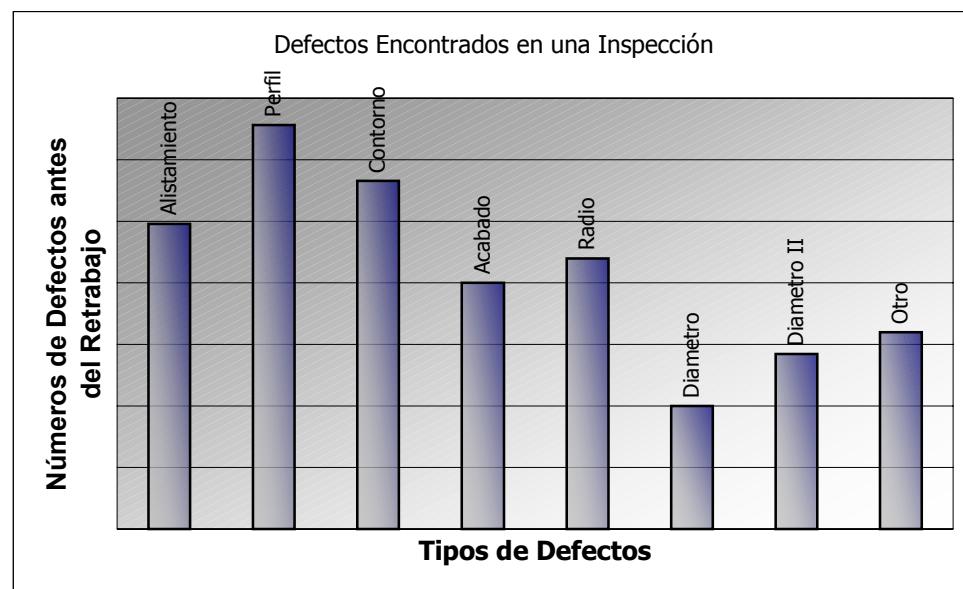


Figura 4.8. Diagrama de Pareto

#### 4.4.5. GRÁFICO DE CONTROL

Este tipo de gráfico se utiliza cuando se necesita saber si la variación de un proceso es debida a causas aleatorias o si es debida a causas asignables, con la finalidad de determinar si el proceso está bajo control (estadísticamente hablando). Un gráfico de control es simplemente un Gráfico de Tendencia con 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 (Figura 4.9).

En los gráficos de control, la Media ( $\bar{X}$ ) y el Rango (R) son los elementos indispensables para resolver los problemas que se derivan de la obtención de las especificaciones de calidad que se expresan a través del comportamiento de las variables. La media aritmética es el valor representativo de una serie estadística y es el punto de equilibrio de dicha serie. Para un conjunto de n datos se calcula con la sumatoria de todos los datos ( $\sum X_i$ ) entre el número total de datos (n).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

El Rango o Amplitud (R) del proceso se calcula restando el dato de mayor valor observado ( $X_M$ ) menos el dato de menor valor observado ( $X_m$ ).

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

Para la determinación de los límites de control es indispensable calcular el número de sub-grupos necesarios para aumentar la confianza en los resultados y en las decisiones tomadas a partir de los mismos. En el área estadística, según muchos autores, es conveniente que los límites de control se establezcan sobre la base de por lo menos 10 sub-grupos. Además, la experiencia indica que, cuando se inicia un gráfico de control, los

primeros sub-grupos pueden no ser representativos de lo que se mida posteriormente. La sencilla acción de tomar y anotar mediciones es, a veces, la causa de un cambio en el modelo de variación.

Los límites de Control son calculados con la Media del grupo más o menos el Rango por un factor ( $A_2$ ), estipulado en la tabla que se muestra en el Anexo 3. Cuando se suma  $R * A_2$  el límite calculado es el superior (LSCx) y si se resta  $R * A_2$  el límite calculado es el inferior (LICx). Se podrán entonces graficar estos límites para determinar si algunos de los puntos caen dentro o fuera de los mismos. Si ocurre una de estas dos cosas se dice que el proceso está fuerza de control. La fluctuación de los puntos dentro de los límites resulta de causas comunes dentro del sistema, y que sólo pueden ser afectadas si se cambia el sistema. Sin embargo, los puntos fuera de los límites se originan por una causa especial (por ejemplo: error humano, acontecimientos no planeados,...) que no forman parte del funcionamiento normal del proceso o resultan de una combinación improbable de variables del proceso. Estas causas especiales deben ser eliminadas antes de poder emplear el gráfico de control como herramienta de seguimiento de problema. Una vez hecho esto, el proceso estará bajo control y se podrán extraer muestras a intervalos regulares para asegurar que el proceso no cambia fundamentalmente. La Figura 4.9 representa esquemáticamente un Gráfico de Control.

#### **4.4.5.1. UTILIDAD DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL**

Los gráficos de control se utilizan generalmente para:

1. Descubrir la variabilidad y control de un proceso en el tiempo
2. Ayudar a medir la capacidad de un proceso y a decidir si puede hacerse eficiente
3. Ayudar a encontrar causas que ocasionan variabilidad en los procesos
4. Distinguir la variación común de la variación especial. Las causas comunes de las variaciones de un proceso se comportan al azar (aleatoriamente). Es decir, no

muestran periodicidad, linealidad u otro tipo de patrón definido

5. Disponer de un lenguaje común, para discusiones y análisis del comportamiento del proceso
6. Determinar momentos de interrupciones de un proceso, previniendo así, situaciones fuera de especificaciones.
7. Ayudar a operar y controlar los procesos de manera consistente y previsible en cuanto a calidad y costo.
8. Ayudar a que el proceso alcance:
  - Mayor Calidad ( disminución de variaciones)
  - Menor costo unitario ( disminución de re-trabajos )
  - Mayor capacidad efectiva
9. Ayudar a identificar y evaluar los efectos de los cambios implantados para mejorar la operatividad y calidad del proceso a largo plazo.

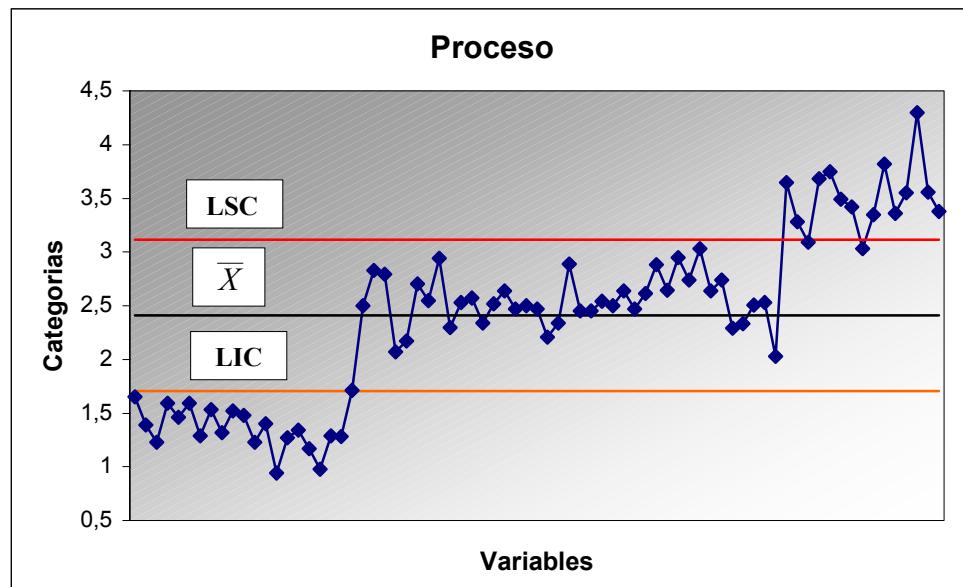


Figura 4.9. Gráfico de control

#### 4.4.6. HISTOGRAMA DE FRECUENCIA

El Histograma de Frecuencia es una herramienta estadística que se utiliza para representar la distribución de variables. En este gráfico las bases de cada barra indican los intervalos de valores de la variable que se estudia. La altura de cada barra es la frecuencia de ocurrencia del intervalo de valores de dicha variable.

La observación de la realidad muestra que todo acontecimiento que puede ser un fenómeno natural o un resultado de las actividades del hombre, se presenta en forma diferente cada vez que ocurre. Por ejemplo: las calificaciones de los estudiantes de un cierto año; las estaturas de un grupo de personas; el tiempo para el pago de facturas de los proveedores; el diámetro de los tornillos fabricados por una máquina; el nivel de satisfacción de un grupo de personas; el tiempo invertido en el desarrollo y producción de material didáctico, etc.

Las variaciones observadas en los resultados de un proceso de trabajo influyen en la calidad del producto o en el servicio que se presta, variaciones que a su vez son determinantes en el nivel de satisfacción del cliente. Las variaciones presentes en los resultados de las actividades hacen que el observador se planteé una serie de preguntas:

- ¿Entre que valores podría variar el resultado que interesa obtener, para mantener el nivel de satisfacción del cliente?
- ¿Cuáles son los resultados que se presentan con mayor frecuencia?
- ¿Qué tipo de problema puede generar la diferencia entre los resultados obtenidos y el deseado?

Una primera aproximación al análisis de esas variaciones puede hacerse con el Histograma de Frecuencia, el cual tiene un proceso elemental de preparación que se puede enumerar en los siguientes pasos:

1. Se debe establecer el tamaño de la muestra (n)

2. Identificar los valores extremos de la muestra: valor máximo ( $X_{\max}$ ) y mínimo ( $X_{\min}$ )
3. Calcular el rango (R) de la totalidad de los datos, es decir, la diferencia entre el valor máximo menos el valor mínimo

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

4. Como no es conveniente manejar individualmente muchos datos porque produce confusión, se agruparán los datos en intervalos, denominados "clases" (k). Este número va a depender de cuanto se quiera resumir la información. La experiencia señala que k debe estar entre 5 y 20. Algunos autores aceptan que si el tamaño de la muestra es menor a 250 <sup>(8)</sup>, k sea igual a la raíz cuadrada del tamaño de la muestra (n). Sin embargo, es el analista, en función de las características de los datos, quien debe fijar el número de clases. El valor de k indica el número de barras que tendrá el histograma (k es un número entero)
5. A continuación se debe calcular la amplitud o intervalo del ancho de clase (A). Esta se calcula dividiendo el Rango (R) entre el número de clases (k)
6. Para establecer los límites de clases se procede tomando el valor mínimo ( $X_{\min}$ ) de la muestra y se le suma la amplitud (A), así se obtiene  $A_2$ . La primera clase será ( $X_{\min}$  a  $A_2$ ). A continuación se toma  $A_2$  y se le suma 'A' obteniendo  $A_3$ . Se repite este proceso hasta cubrir el total de la muestra
7. El punto medio de cada clase se denomina "marca de clase" y se calcula de la siguiente forma:

$$X_i = \frac{(L_s + L_i)}{2}$$

Donde:

$L_i$  = Límite inferior de clase

$L_s$  = Límite superior de clase

$X_i$  = Marca de Clase

8. A continuación se establece la frecuencia de clase, que no es más que el número de datos que se encuentran en cada clase, también llamada frecuencia absoluta. En el caso que uno o más datos coincidan con el extremo superior de una clase, dichos datos serán incluidos en la clase siguiente
  
9. Para representar los datos del histograma en una gráfica (Figura 4.10) se debe colocar en el eje horizontal las clases mediante segmentos, de modo que cada segmento (clase) termine en el punto en que comienza el siguiente. En el eje vertical se representarán las escalas para las frecuencias. Sobre cada segmento, representativo de cada clase, se levantará un rectángulo de altura proporcional a la respectiva frecuencia:

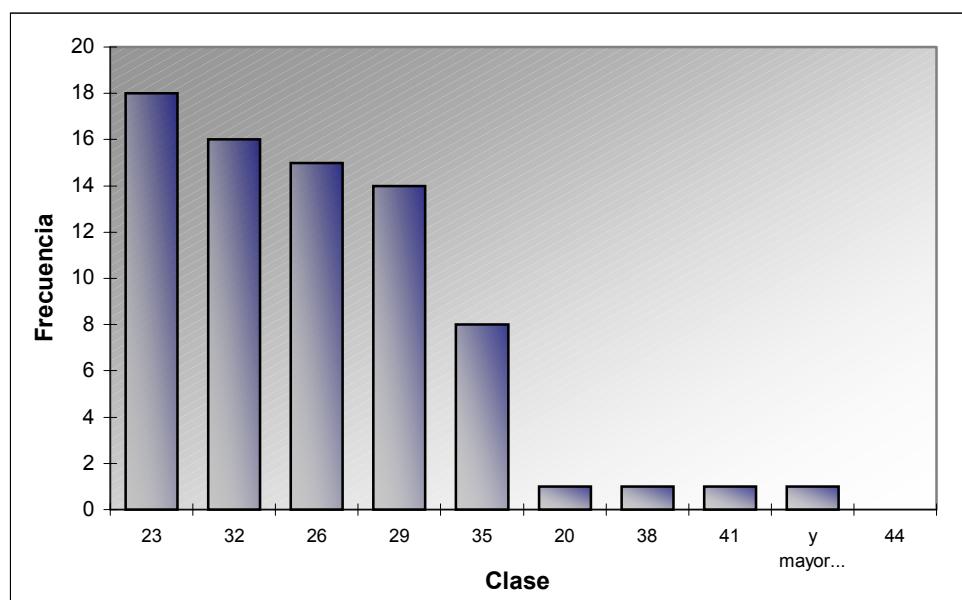


Figura 4.10.- **Histograma de Frecuencia**

#### 4.4.7. GRÁFICO DE TENDENCIA

Se usa esta técnica cuando se necesita mostrar de la manera más simple las posibles tendencias de puntos observados dentro de un período de tiempo especificado. Los gráficos de desarrollo se utilizan para representar los datos visualmente. Se utilizan para realizar el seguimiento a un sistema con el fin de concluir si el promedio a largo plazo ha

cambiado. Los gráficos de desarrollo son una herramienta simple de construir y de usar. Los puntos se graficaron de acuerdo a como se van obteniendo. Es común graficar los resultados de un proceso tal como el tiempo muerto de una máquina, la eficiencia, el material desperdiciado, los errores tipográficos o la productividad, a medida que varían con el tiempo.

Uno de los propósitos más importantes del Gráfico de Tendencia es identificar cambios importantes en el promedio. Por ejemplo, cuando se está observando un sistema se supone que se va a encontrar un número igual de puntos que estén aleatoriamente por encima y por debajo del promedio, pero cuando esto no ocurre y existe un número muy grande de puntos por encima o por debajo del valor promedio de la muestra esto puede ser indicativo de cambios pueden ser favorables o desfavorables para el sistema. Un ejemplo de un Gráfico de Tendencia se muestra en la Figura 4.11:

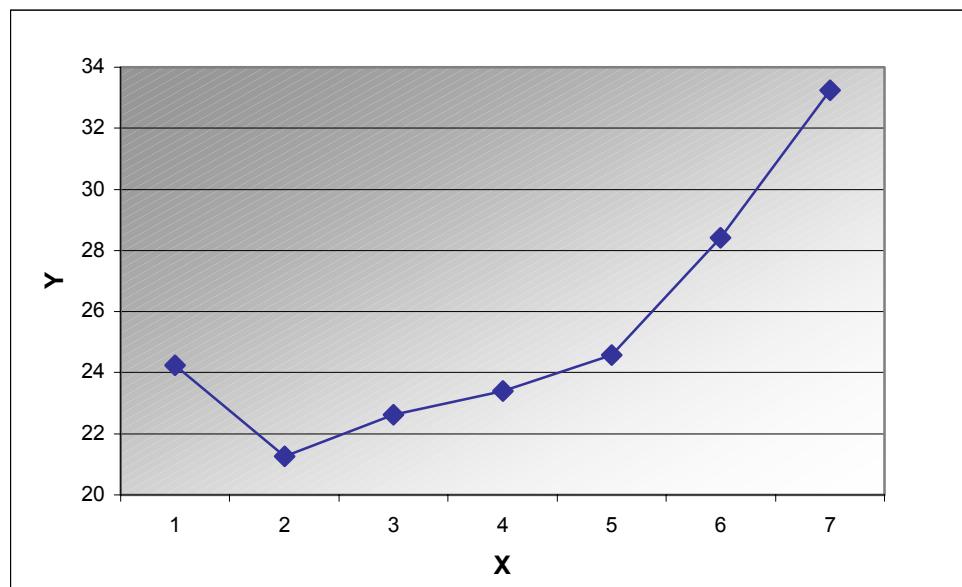


Figura 4.11.-Gráfico de tendencia

CAPÍTULO 5

## Metodología



## 5. METODOLOGÍA

La metodología tiene como objetivo identificar a través de herramientas básicas de estadística aquellos factores que influyen de manera significativa sobre la Construcción de Pozos, con el fin de lograr una integración de todos los procesos y permitir así el establecimiento de patrones de operación con la finalidad de optimizar trabajos futuros de perforación y completación de pozos, mejorando el tiempo de respuesta para la toma de decisiones y logrando minimizar los costos operacionales.

Para alcanzar la solución al problema planteado, la metodología se resumen el siguiente Diagrama de Flujo (Figura 5.1):



Figura 5.1.- Metodología a Desarrollar Diagrama de Flujo

## 5.1. RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Esta etapa tiene como objetivo agrupar la información del proceso de Construcción de Pozos necesaria para realizar el estudio de cada una de las fases que lo integran. Para la ejecución del trabajo se analizaron los datos de todas las fases para cada uno de los pozos estudiados, utilizando la información básica incluida en los sumarios de operaciones. Estos son un informe detallado de las operaciones realizadas en los pozos integrantes de la muestra, además del Informe Final de Perforación de los pozos (Post Mortem) y los resúmenes de los programas de perforación de los pozos (ver Anexo 4).

## 5.2. VALIDACIÓN DE LOS DATOS

La validación de los datos tiene como objeto lograr la obtención de datos representativos, para así poder evaluar realmente valores que reproduzcan la operación real y, por lo tanto, obtener una mejor estandarización de los criterios de evaluación. Constituye la segunda fase de la metodología, en la cual se organiza y filtra la información, siguiendo el siguiente procedimiento:

- a. Revisión y organización de los parámetros de cada fase del proceso
- b. Selección de datos representativos para la aplicación de las herramientas estadísticas y estandarización de criterios de evaluación. Esta selección de datos resulta de comparar los procesos realizados bajo condiciones semejantes de operación
- c. Para facilitar y ordenar este paso de la metodología, se elaboraron historias de perforación a cada uno de los pozos con la información detallada de los tiempos productivos y no productivos requeridos para la elaboración de cada fase, etapa, actividad o sub-actividad

### 5.3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

El tamaño de la muestra es de 75 pozos perforados en el Área de Estudio durante siete años, distribuidos de la manera que muestra la Tabla 5.1:

Tabla 5.1.- **Distribución de Pozos por Años**

Año	Número de Pozos
1	9
2	12
3	-
4	-
5	21
6	18
7	15

Nota: En los años 3 y 4 no se seleccionaron pozos ya que las actividades operacionales de ese par de años fue muy escasa y, por lo tanto, dichos años se descartaron para la muestra.

### 5.4. DESCRIPCIÓN Y SECUENCIA DE LAS FASES, ETAPA, ACTIVIDADES Y SUB-ACTIVIDADES QUE FORMAN PARTE DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN POZO <sup>(7)</sup>

La secuencia de análisis para el estudio va a estar definida por la forma o manera en que se perforan los pozos en el área. En la Figura 5.2 se muestra un esquema general de las fases que constituyen o conforman el proceso.

Antes de describir las fases del proceso, se definen a continuación las actividades que, por medio de la validación de datos antes descrita, se determinaron como comunes a los

tiempos Productivos y no Productivos de las fases de la Construcción de un Pozo.

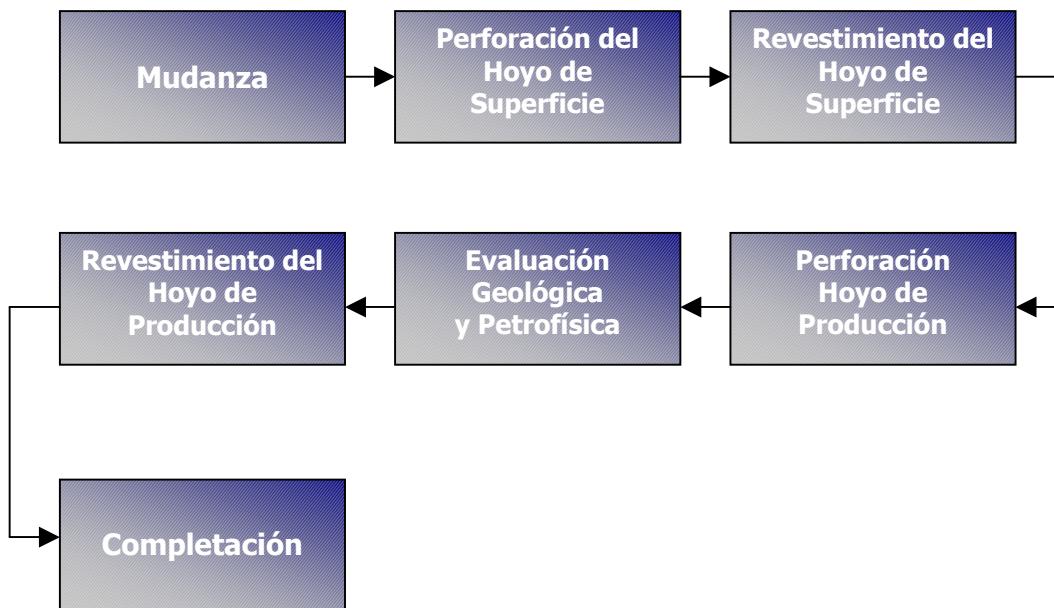


Figura 5.2. **Fases del Proceso de Construcción de un Pozo. Diagrama de Flujo**

#### 5.4.1. ACTIVIDADES COMUNES

##### 5.4.1.1. ACTIVIDADES COMUNES, PRODUCTIVAS

###### A. Mantenimiento del Equipo

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

###### B. Pruebas de Seguridad

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

#### **C. Comida**

Aplica para aquellos casos en que se detienen las operaciones en el pozo para comida de la cuadrilla.

#### **D. Otros**

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

### **5.4.1.2. ACTIVIDADES COMUNES, NO PRODUCTIVAS**

#### **A. Condiciones Ambientales**

Incluye el tiempo de inactividad del equipo por espera como consecuencia de fenómenos naturales (lluvias, tormentas, invasión, ataques de animales, terremotos, etc).

#### **B. 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, feriado contractual y otros.

#### **C. Reparaciones**

Incluye el tiempo por fallas o reparación de los componentes o equipos de superficie o del equipo 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 sus sistemas, bombas centrífugas, mesa rotatoria, válvulas impide-reventones, equipos de control de sólidos.

**D. Espera**

Incluye el tiempo perdido por espera de suministros y servicios, la espera por toma de decisiones y sus consecuencias. Cabe destacar las esperas por: transporte, reubicar boyas / anclas, vías de accesos a localización, nivelar cabria, la espera por luz del día por razones de seguridad, toma de decisiones, suministros y servicios.

**E. Atascamiento de Tuberías**

Incluye el tiempo martillando, circulando, desenrosque, bombeo de píldoras de remojo, pescando, etc., desde el momento en que la tubería se atasca hasta que se encuentran de nuevo las condiciones operacionales existentes antes del atascamiento.

**F. Pérdida de Circulación**

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

**G. Control de Arremetidas**

Incluye el tiempo utilizado en actividades como 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.

**H. Pesca**

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

**I. Otros**

Incluye el tiempo de inactividad del equipo como consecuencia de operaciones no contempladas en algunas de las mencionadas anteriormente.

#### **5.4.2. FASES DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL POZO**

El proceso de Construcción de un Pozo se ha dividido en cinco (5) fases que corresponden a actividades técnicamente independientes:

1. Mudar
2. Perforar
3. Evaluación Geológica y Petrofísica
4. Revestir
5. Completar

Estas fase describen el proceso de perforación de un pozo desde que se inician los preparativos para la mudanza del taladro hacia la nueva localización, hasta que se prueba satisfactoriamente el Árbol de Navidad. A continuación se describe cada una de las fases del Proceso de Construcción de Pozos:

##### **5.4.2.1. FASE MUDAR**

Corresponde a las actividades que involucran el movimiento del equipo de perforación desde un pozo a otro pozo, de un patio o dique a un pozo o viceversa. Su inicio se presenta en cualquiera de las siguientes situaciones:

- Si es desde un pozo, comienza al iniciarse la desvestida del equipo de perforación, después de probar el Árbol de Navidad satisfactoriamente o que se asegure el pozo
- Si la mudanza es desde un patio o dique nacional, comienza con el primer movimiento de carga

La fase finaliza en los siguientes casos:

- Cuando la primera mecha pasa a través de la mesa rotatoria
- Cuando se realice el inicio de los preparativos para hacer el hincado del conductor

- en el caso que el equipo de perforación realice esta fase
- Cuando se entregue, de acuerdo a condiciones del contrato

Esta fase comprende las siguientes etapas:

1. Desvestir
2. Transportar
3. Vestir
4. Mantenimiento

#### **5.4.2.1.1. Etapa Desvestir**

**Equipo de perforación lago - mar:** Incluye el tiempo asociado a la preparación del equipo de perforación para la fase de mudanza desde el momento que se haya probado el Árbol de Navidad o asegurado el pozo anterior hasta el inicio de levar anclas en gabarras.

##### **5.4.2.1.1.1. Actividades Productivas, Mudanza, Etapa Desvestir**

**A. Desvestir Equipo:** Incluye el tiempo asociado a la preparación del equipo de perforación para la Fase de Mudanza, desde el momento que se haya probado el Árbol de Navidad del pozo anterior o asegurado el pozo hasta el inicio de levar anclas en gabarras.

**B. Desconectar Tubería:** Mide el tiempo requerido por la operación de sacar la tubería del hoyo junta por junta, siempre que se asocie a la fase de mudanza.

**C. Esperar luz del día:** Incluye el tiempo de inactividad del equipo por espera de la luz del día para comenzar las operaciones, cuando esta espera ha sido programada o por norma establecida.

**D. Otros**

#### **5.4.2.1.1.2. Actividades No Productivas, Mudanza, Etapa Desvestir**

- A. Condiciones Ambientales**
- B. Paro cívico / Sindical / Legal**
- C. Reparaciones**
- D. Espera**
- E. Otros**

#### **5.4.2.1.2. Etapa Transportar**

**Equipo de perforación lago - mar:** Incluye el tiempo asociado al movimiento del equipo de perforación entre dos lugares (localizaciones, localización / dique o viceversa), desde levantar anclas / soltar boyas hasta finalizar la actividad de agarrar boyas / posicionar equipo.

#### **5.4.2.1.2.1. Actividades Productivas, Mudanza, Etapa Transportar**

- A. Levantar Ancla / Soltar Boya** (Mar-Lago): Incluye las operaciones inherentes a la liberación de cada una de las guayas que van desde los diferentes puntos del equipo de perforación hasta sus respectivas anclas o boyas.
- B. Transportar** (Mar-Lago-Tierra): Incluye el tiempo asociado al movimiento de cargas, desde el inicio del movimiento de la primera carga hasta que se haya completado el movimiento de la última carga.
- C. Agarrar Boyas / Posicionar Equipo** (Mar-Lago): Corresponde a la ubicación del equipo de perforación en su posición frente al pozo o localización. Incluye las operaciones inherentes al enganche de cada una de las guayas que salen de los diferentes puntos del equipo de perforación en las respectivas anclas o boyas y las actividades de tensado de las guayas que van a las boyas o anclas a la gabarra.

**D. Esperar luz del Día:** Incluye el tiempo de inactividad del equipo por espera de la luz del día para comenzar las operaciones, cuando esta espera ha sido programada o por norma establecida.

#### **5.4.2.1.2.2. Actividades No Productivas, Mudanza, Etapa Transportar**

- A. Condiciones Ambientales**
- B. Paro Cívico / Sindical / Legal**
- C. Reparaciones**
- D. Espera**
- E. Otros**

#### **5.4.2.1.3. Etapa Vestir**

**Equipo de perforación lago-mar:** Incluye el tiempo asociado a la preparación del equipo de perforación para iniciar la fase de perforación del hoyo. Inicia cuando finaliza la actividad de tensar anclas en el caso de gabarras. Finaliza cuando haya pasado la primera mecha de perforación del primer hoyo a través de la mesa rotatoria en el nuevo pozo, o cuando se realice el inicio de los preparativos para hacer el hincado del conductor.

#### **5.4.2.1.3.1. Actividades Productivas, Mudanza, Etapa Vestir**

**A. Vestir Equipo:** Incluye el tiempo asociado a la preparación del equipo de perforación para iniciar la fase de perforación. Comienza una vez completado el movimiento de carga de la localización anterior y finaliza cuando la primera mecha de perforación del nuevo pozo pasa a través de la mesa rotatoria o se inicien los preparativos de la hincado del conductor.

**B. Acondicionar Conductor / Instalar Chimenea. (Mar-Lago):** Incluye las actividades asociadas al acondicionamiento del tope del conductor, instalación del módulo o botella y

colocación de la chimenea (niple campana en el hoyo de superficie).

**C. Parar Tubería:** Mide el tiempo requerido por la operación de armar la tubería del hoyo junta por junta y pararla en la cabria, siempre que se asocie a la Fase de Mudanza.

**D. Esperar luz del Día:** Incluye el tiempo de inactividad del equipo por espera de la luz del día para comenzar las operaciones, cuando esta espera ha sido programada o por norma establecida.

**E. Otros**

#### **5.4.2.1.3.2. Actividades No Productivas, Mudanza, Etapa Vestir**

**A. Condiciones Ambientales**

**B. Paro Cívico / Sindical / Legal**

**C. Reparaciones**

**D. Espera**

**E. Otros**

#### **5.4.2.1.4. Etapa Mantenimiento**

Incluye el tiempo necesario dentro de la fase de mudanza, para realizar mantenimiento programado y / o acondicionamiento del equipo de perforación.

##### **5.4.2.1.4.1. Actividades Productivas, Mudanza, Etapa Mantenimiento**

**A. Mantenimiento Programado:** Se refiere a las operaciones necesarias para realizar el mantenimiento de los componentes del equipo de perforación acordado en la planificación del pozo dentro de la fase de mudanza.

**B. Acondicionamiento del Equipo:** Se refiere a las operaciones necesarias para adaptar el equipo a los requerimientos operacionales dentro de la fase de mudanza.

**C. Otros**

**5.4.2.1.4.2. Actividades No Productivas, Mudanza, Etapa Mantenimiento**

**A. Condiciones Ambientales**

**B. Paro Cívico / Sindical / Legal**

**C. Reparaciones**

**D. Espera**

**E. Otros**

**5.4.2.2. FASE 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.

**5.4.2.2.1. Actividades Productivas, Perforar, Etapa Perforación**

**A. Perforar:** Incluye el tiempo perforando el hoyo, realizando las conexiones, cualquiera que sea el tipo de ensamblaje de fondo ("Rotaria", "Motor de fondo", "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,...) los cuales tienen sus propias identificaciones como actividades separadas y distintas.

**B. 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 para el caso de inyección de fluidos gaseosos para la perforación del pozo.

**B.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.

**B.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.

**B.3. Viaje - Sacar Tubería:** Mide el tiempo requerido por la operación de sacar la tubería del hoyo por parejas, asociado a la etapa de perforación (ejemplo: cambio de mecha, modificar el ensamblaje de fondo,...).

**B.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 de perforación durante un viaje. Incluye el tiempo conectando la mecha, preparando los equipos del ensamblaje de fondo y preparando la planchada del taladro.

**B.5. Viaje - Desconectar Tubería:** Mide el tiempo requerido por la operación de sacar la tubería del hoyo junta por junta asociado a la etapa de perforación (cambio de mecha, modificar el ensamblaje de fondo inspección de sarta, y otros).

**C. 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, y otros) asociado a esta operación.

**D. 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.

**E. Cambio del Sistema de Fluido:** Incluye el tiempo asociado a esta operación tomando en cuenta preparaciones en superficie (limpieza de tanques, y otros) y los viajes de tubería, siempre y cuando estos viajes tengan como única finalidad el cambio del sistema de fluido.

**F. Acondicionar Hoyo / Pozo:** Incluye el tiempo de acondicionamiento planificado del hoyo dentro de la etapa de perforación (repasos y rectificaciones del hoyo planificadas).

**G. Retirar Chimenea / Instalar Cabezal / Instalar Válvulas Impide-Reventones:** Incluye el tiempo para retirar la chimenea, asentar el revestidor, cortar, biselar, instalar y probar el cabezal y las válvulas impide-reventones, y arreglar fugas menores.

**H. Actividades Productivas Comunes** (ver sección 5.4.1.1.)

#### **5.4.2.2.2. Actividades No Productivas, Perforar, Etapa Perforación**

**A. Fallas de Sarta de Perforación:** Incluye el tiempo (viajes, circulaciones, investigaciones,...), 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, otros componentes,...). La sub-actividad indicará la herramienta donde ocurrió la falla. Si se detecta que durante la bajada de una herramienta esta falla es por causas inherentes al diseño o configuración del ensamblaje el tiempo no productivo ocasionado se clasificará como "Perdido" dentro de la actividad "Espera".

**B. Desvíos:** Incluye el tiempo (viajes, tapones de cemento, perforación del desvío, circulaciones, y otros) 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) 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.

**C. 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.

**D. Actividades No Productivas Comunes** (ver sección 5.4.1.2.)

#### 5.4.2.3. FASE EVALUACIÓN GEOLÓGICA / PETROFÍSICA

Esta actividad corresponde a las operaciones relacionadas con la toma de perfiles 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 a continuar con la actividad de perforación o cuando se comienza a vestir el equipo para bajar el revestidor. Adicionalmente, corresponden a esta actividad los siguientes eventos:

- a. 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.
- b. El tiempo empleado para repasar o ampliar, correspondiente a la longitud de núcleo tomado.

#### **5.4.2.3.1. Actividades Productivas, Geológica / Petrofísica**

**A. Medida de Desviación / Presión / Temperatura:** Incluye el tiempo (toma de medida, circulaciones, viajes) asociado a una toma de medida de desviación / presión / temperatura, cualquiera que sea el tipo de pozo y herramienta de medición (multishot, singleshot). 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 la tubería hasta superficie para cambio de sarta o ensamblaje.

**B. Registros:** Incluye el tiempo de corrida de los registros (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”.

**C. 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) 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.

**D. 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 muestras.

**E. Actividades Productivas Comunes** (ver sección 5.4.1.1.)

#### **5.4.2.3.2. Actividades No Productivas, Evaluación Geológica / Petrofísica**

**A. Fallas Medidas de Desviación / Presión / Temperatura:** Incluye el tiempo (circulación, observación, preparación equipos en superficie, pruebas, etc.) asociado a una falla en la toma de medida de desviación / presión / temperatura (multishot, singleshot). 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.

**B. 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.

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

**D. Actividades No Productivas Comunes** (ver sección 5.4.1.2.)

#### **5.4.2.4. FASE REVESTIR**

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. Cabe destacar que la bajada de un colgador o liner ranurado corresponde a la Fase de Completación. La fase de revestir consta de 2 etapas:

- a. Revestir
- b. Cementar

#### 5.4.2.4.1. Etapa Revestidores

Corresponde a las actividades asociadas a la bajada 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 cuando se comienza la preparación de los equipos de superficie para la cementación.

##### 5.4.2.4.1.1. Actividades Productivas, Revestir, Etapa Revestidores

**A. Bajar Revestidor / Liner (Camisa):** Incluye el tiempo de preparación de los equipos (cuñas, elevadores, llaves, cambio y prueba de rams, cambio líneas del bloque) y arreglo de la planchada para bajar el revestidor o 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.

**B. Actividades Productivas Comunes** (ver sección 5.4.1.1.)

##### 5.4.2.4.1.2. Actividades No Productivas, Revestir, Etapa Revestidores

**A. Fallas en Corrida de Revestidores:** Incluye el tiempo no productivo durante la corrida de un revestidor / camisa desde que se detecta la falla. Ejemplo: En el caso donde un revestidor / camisa no llega al fondo se incluye entre otros:

a. Si se puede sacar el revestidor: incluye el tiempo consumido desde que se comienza a sacar hasta el momento en que el revestidor pasa de nuevo por debajo del punto de pega. Incluyendo viajes, circulaciones y repasos requeridos para acondicionar el hoyo.

b. Si no se puede sacar el revestidor: b.1) Incluye el tiempo de acondicionamiento (viajes, circulación, repasos, tapón de cemento) del hoyo dejado abierto, más el tiempo de preparación / corrida / cementación de un revestidor / camisa adicional para cubrir el

hoyo dejado abierto antes de empezar la siguiente etapa de perforación.

b.2) En caso de continuar la perforación cuando un revestidor no alcance su profundidad programada de asentamiento y existe excesivo hoyo abierto, el viaje de bajada de mecha para continuar perforando se cargará a la actividad productiva "Limpieza de revestidores" y la perforación y viaje de sacada de la sarta se cargarán al tiempo productivo de la etapa de perforación del siguiente hoyo.

## **B. Actividades No Productivas Comunes** (ver sección 5.4.1.2.)

### **5.4.2.4.2. Etapa Cementar**

Corresponde a las actividades asociadas a la cementación de los revestidores y camisas así como la preparación del pozo para continuar las operaciones. Comienza con la preparación de los equipos de superficie para la cementación 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.

#### **5.4.2.4.2.1. Actividades productivas, Revestir, Etapa Cementar**

**A. 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 y el tiempo de espera por fraguado del cemento. Incluye también las cementaciones planificadas de tope o anillo superior ("Top Job").

**B. Instalar - Desinstalar Cabezal / Válvula Impide-Reventones:** Incluye el tiempo para asentar el revestidor, cortar y biselar, desinstalar, instalar y probar el cabezal y las VIR, y arreglar fugas menores. Excluye el tiempo por espera de equipos y / o reparaciones.

**C. 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.

**D. Pruebas:** Incluye el tiempo necesario para la prueba seca / afluencia de un colgador u otras pruebas. Incluye el viaje de limpieza relacionada a éstas pruebas. También incluye, las operaciones específicas (circulación, observación, preparación de los equipos de superficie) relacionadas a éstas pruebas.

**E. Actividades Productivas Comunes** (ver sección 5.4.1.1.)

#### 5.4.2.4.2.2. Actividades No Productivas, Revestir, Etapa Cementar

**A. 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), corrección de la cementación, arremetida, pérdida de circulación.

**B. Falla Cabezal / Válvula Impide-Reventones:** Incluye el tiempo consumido arreglando fugas, pruebas y reparaciones en el cabezal y las válvula impide-reventones, pero únicamente durante la instalación de los equipos sobre el pozo en la etapa de revestidores.

**C. Actividades No Productivas Comunes** (ver sección 5.4.1.2.)

#### **5.4.2.5. FASE COMPLETAR**

Esta fase corresponde a las actividades relacionadas con las operaciones de completación original del pozo, incluyendo la bajada de un liner ranurado. Comienza en alguna de las siguientes situaciones:

- Despues de terminada la operación de sacar la sarta de evaluación
- Al iniciar el cambio del fluido de perforación por el fluido de completación
- Para el caso de completar con otro equipo de perforación, se inicia con los preparativos de acondicionamiento del hoyo. En el caso que en la siguiente operación se detecte alguna falla (de cementación, de revestidores) 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
- Despues de sacar la tubería de prueba del último revestidor o último colgador del liner / camisa y que el pozo esté en condiciones para ser completado

Termina cuando el pozo queda listo para fluir y se haya probado satisfactoriamente el Árbol de Navidad.

##### **5.4.2.5.1. Etapa Completación**

Corresponde a las actividades asociadas a la bajada del equipo de completación original del pozo. Se inicia con el ensamblaje del primer equipo de cañoneo de producción o en el inicio del ensamblaje de la sarta de Completación. Finaliza al terminar de probar satisfactoriamente la instalación del árbol de navidad y / o asegurar el pozo.

###### **5.4.2.5.1.1. Actividades Productivas, Completar, Etapa Completación**

**A. Acondicionar Hoyo / Pozo:** Corresponde al tiempo de acondicionamiento del pozo u hoyo mediante la calibración y limpieza del mismo dentro del proceso de Completación.

**B. Bajar y Asentar Empacadura Permanente:** Corresponde a todas las actividades relacionadas al asentamiento de las empacaduras / obturador permanente mediante tubería o guaya. Se incluyen en esta actividad el viaje (bajar - sacar tubería) y circulación.

**C. Armar Sarta de Completación:** Mide el tiempo requerido en la operación de armar y verificar los componentes del equipo de fondo (doble, sencilla o pre-empaque) e incluye la preparación de la planchada del taladro.

**D. Bajar Completación:** Mide el tiempo requerido en la operación de bajar la sarta de completación. Incluye el tiempo de probar la empacadura / obturador permanente y realizar el espaciado de la sarta. Igualmente contempla el viaje de bajar cabillas y bomba de subsuelo.

**E. Pruebas:** Actividad realizada después de bajar la sarta de completación, incluye las pruebas de la sarta, asentamiento de la empacadura / obturador, cabezal y colgador de la tubería.

**F. Retirar Válvula Impide-Reventones, Instalar Cruz o Árbol de navidad:** Corresponde a las actividades de retirar las válvula impide-reventones del cabezal del pozo e instalar el Árbol de Navidad, incluyendo la prueba de este último.

**G. Cambio de Sistema de Fluido:** Incluye el tiempo asociado a la preparación y bombeo del fluido que se va a dejar en el pozo.

**H. Actividades Productivas Comunes** (ver sección 5.4.1.1.)

#### **5.4.2.5.2.2. Actividades No Productivas, Completar, Etapa Completación**

**A. Reacondicionamiento del Hoyo / Pozo:** Incluye el tiempo (viajes, repasos, rectificación, circulaciones) asociado a un problema del hoyo que no permita continuar con normalidad las operaciones de completación.

**B. Reacondicionamiento del Fluido:** Incluye el tiempo no planificado asociado a las actividades para llevar a su valor deseado las propiedades del fluido requeridas por la operación.

**C. Fallas en Completación:** Se relaciona a todas aquellas actividades (viajes, circulaciones, etc) asociadas a las fallas en los equipos y / o herramientas utilizados en la sarta de completación del pozo (obturador mandriles, mangas). En el caso de fresado de empacadura / obturador, los viajes de herramienta de fresado y el fresado mismo, forman parte de la actividad de pesca en esta etapa. Las fallas o reparaciones de VIR o cabezal serán reportadas en la actividad "Reparaciones PDVSA" o "Reparaciones Contratista" dependiendo del caso.

**D. Fallas de Revestidores:** Incluye el tiempo no productivo, asociado a fallas en el revestidor que retardan el avance de la completación producto de fugas, roturas, desprendimiento, etc.

**E. Actividades No Productivas Comunes** (ver sección 5.4.1.2.)

## 5.5. DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS

En esta fase de la metodología se procedió a la distribución de los tiempos correspondientes a cada etapa, fase y actividad, según la distribución realizada en el punto anterior. Para ello se utilizaron hojas de cálculo del programa Excel (ver Anexo 5), especialmente preparadas como parte de este Trabajo Especial de Grado (TEG) donde se desglosaron los tiempos (productivos y no productivos) para cada fase y a su vez para cada etapa, actividad y sub-actividad.

## 5.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Esta fase consiste en el uso de las herramientas estadísticas de control de procesos, descritas en el Marco Teórico, lo que permite identificar y conocer a cabalidad los procesos y su comportamiento estadístico. El análisis estadístico tiene por objetivo determinar cuál es la tendencia y comportamiento de todos las fases que se llevan a cabo en la construcción de un pozo. Para ello, se emplean herramientas básicas de estadística. Para el análisis de cada fase, etapa, actividad y sub-actividad en este TEG se elaboraron las respectivas hojas de cálculo.

El análisis estadístico o registro de información del desempeño se fundamenta en la experiencia de construcción de pozos alcanzada en el Campos elegido como Área de Estudio en este TEG. Es por ello que se emplean los métodos de Gráficos de Tendencia, Diagrama de Flujo y Gráficos de Control descritos en el capítulo anterior.

## 5.7. IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS Y POSIBLES SOLUCIONES

Esta es una de las fases de mayor interés de la metodología, ya que ella será la base para desarrollar las Conclusiones y posteriores Recomendaciones del presente estudio. En esta fase se recurrió a la utilización de los Diagramas de Pareto, Tormentas de Ideas y Diagramas Causa–Efecto resultado de las encuestas realizadas a distintas personas que intervienen o han intervenido de manera directa en la Construcción de Pozos (ver Anexo 6). Esta fase debe arrojar como resultado la identificación de las distintas causas de los problemas y las soluciones más eficientes y físicamente viables para el proceso.

## **5.8. SIMULACIÓN DEL PROCESO MODELO**

A raíz de los análisis y correctivos desarrollados en el punto anterior se tratará de implantar las Recomendaciones iniciando el proceso con la elaboración de un Proceso Modelo para la Construcción de un pozo en el Área de Estudio.

CAPÍTULO 6

## Diagramas de Flujo



## 6. ELABORACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE FLUJO

### 6.1. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FASE DE MUDANZA

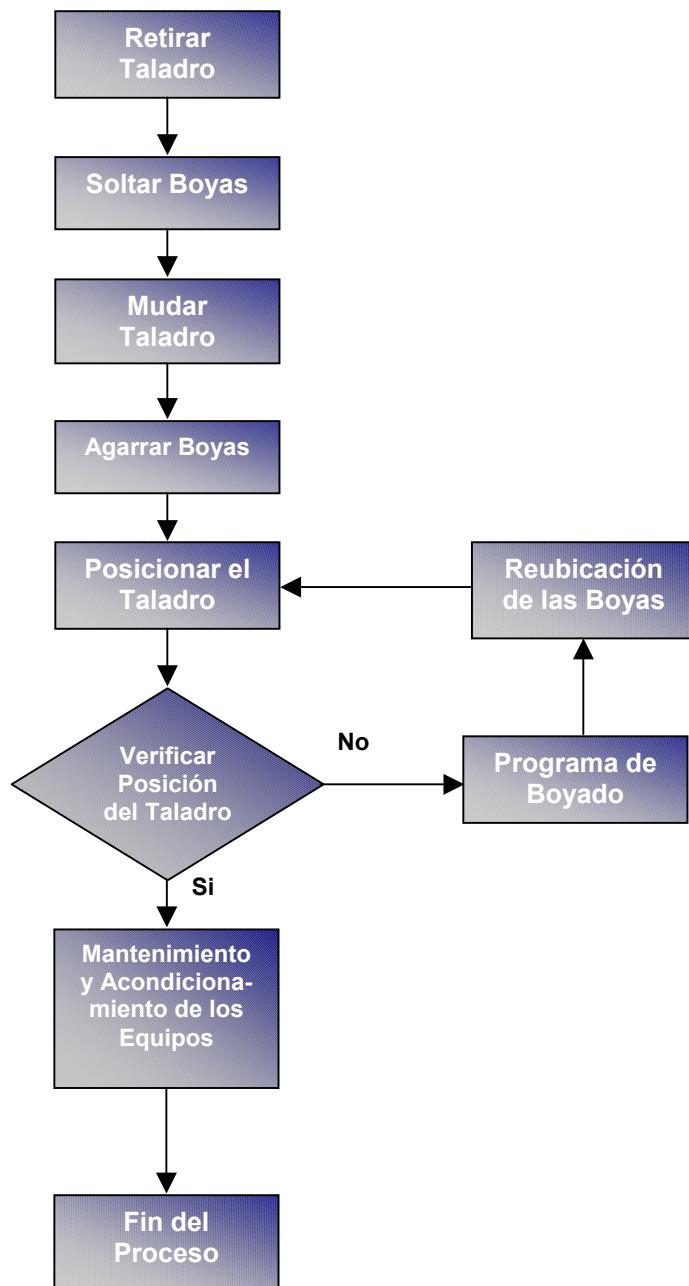


Figura 6.1. Fase Mudanza

Diagrama de Flujo

## 6.2. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FASE DE PERFORACIÓN DEL HOYO DE SUPERFICIE

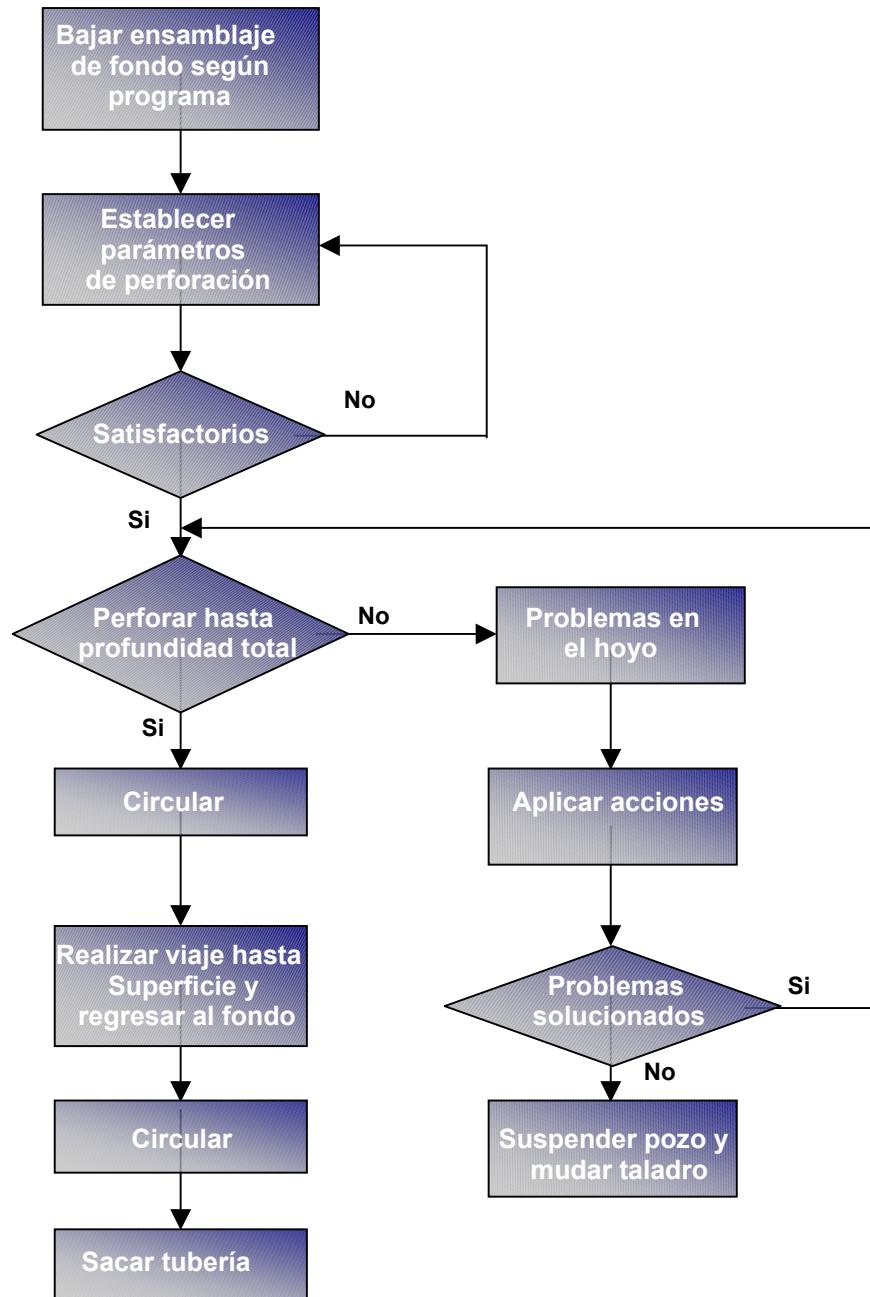


Figura 6.2. Fase de Perforación del Hoyo de Superficie  
Diagrama de flujo

### 6.3. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FASE DE REVESTIMIENTO DEL HOYO DE SUPERFICIE

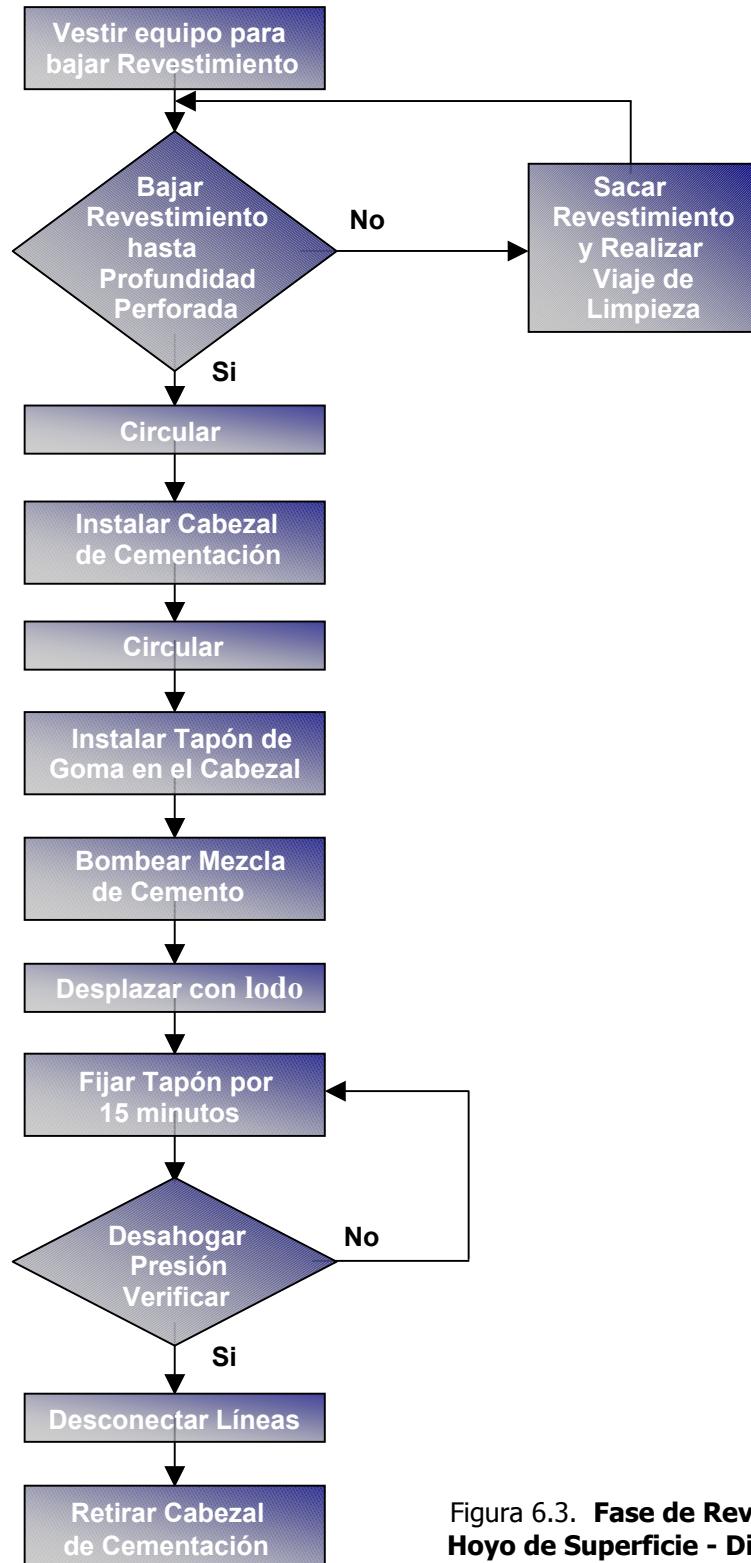


Figura 6.3. Fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie - Diagrama de Flujo

## 6.4. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FASE DE PERFORACIÓN DEL HOYO DE PRODUCCIÓN

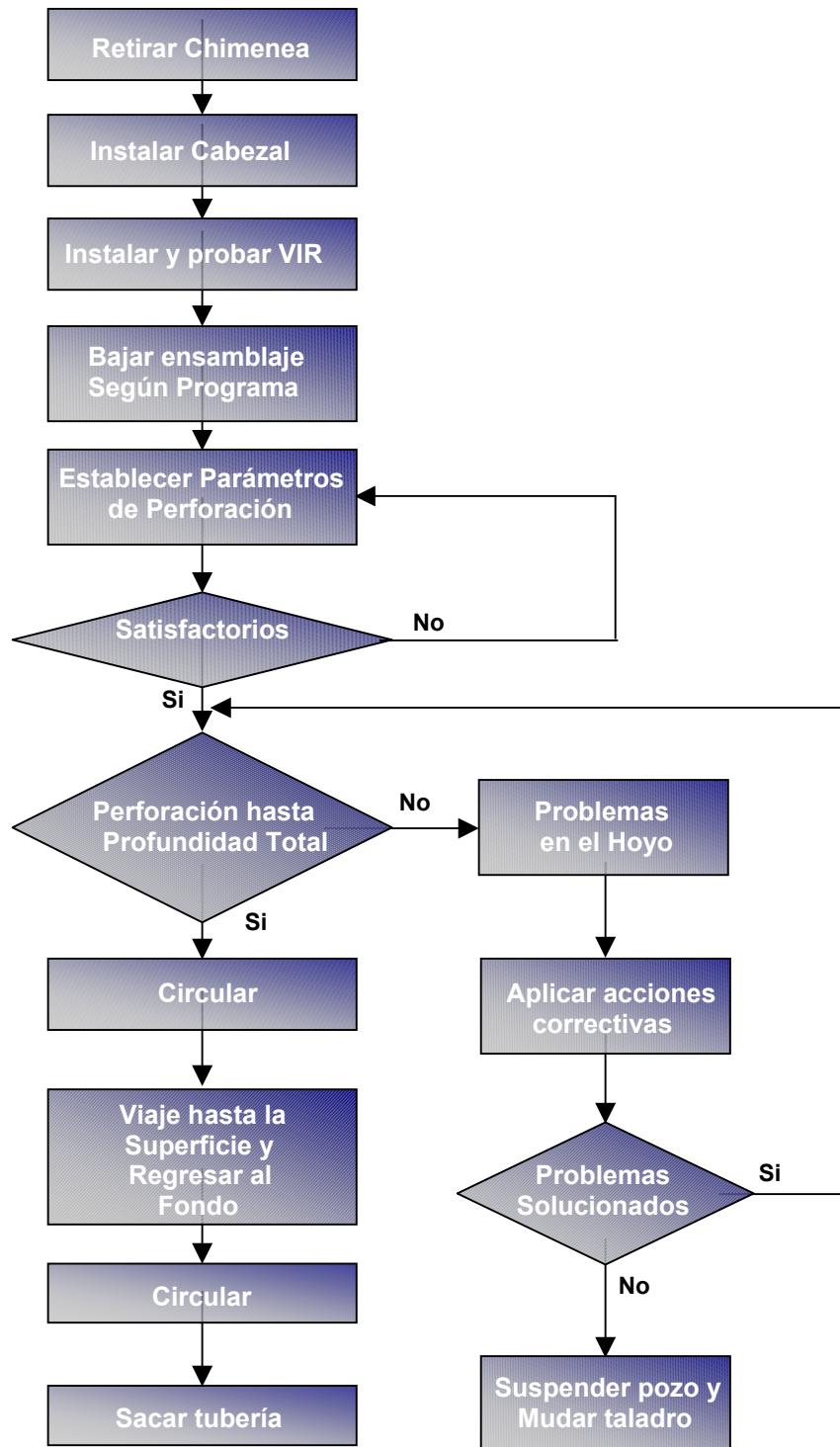


Figura 6.4. **Fase de Perforación del Hoyo de Producción**  
Diagrama de Flujo

## 6.5. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FASE DE EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y PETROFÍSICA

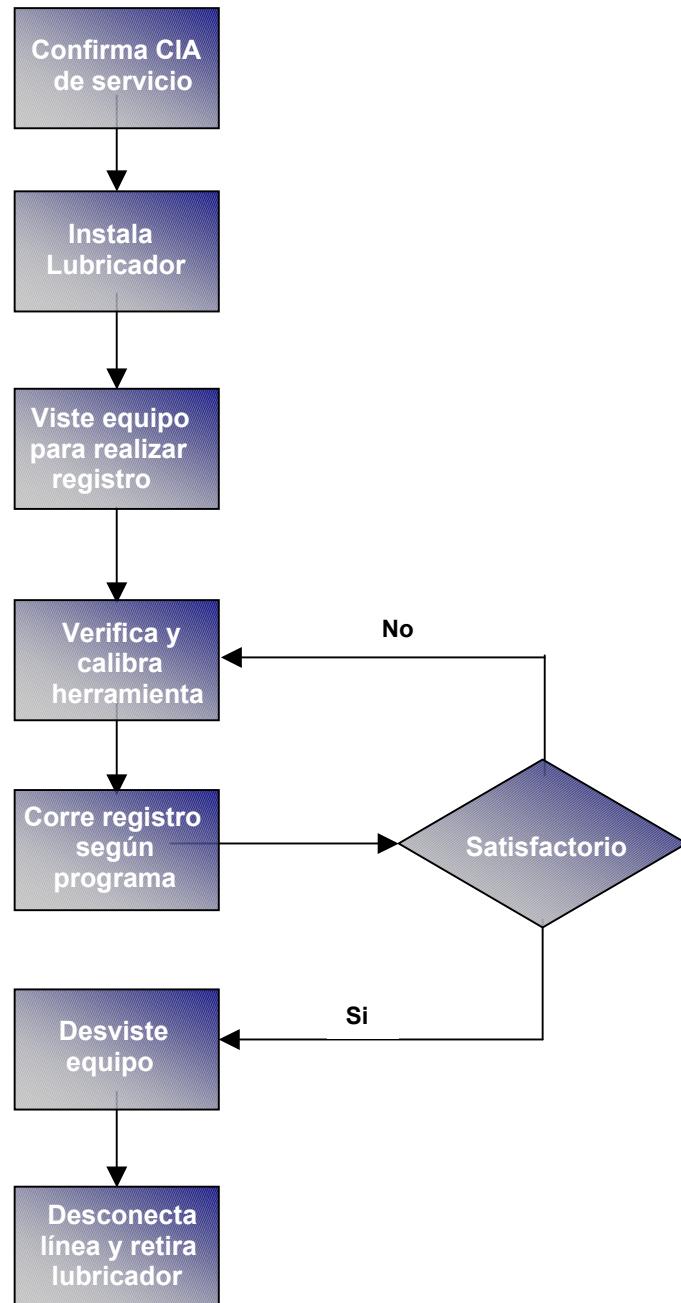


Figura 6.5. Fase de Evaluación Geológica y Petrofísica  
Diagrama de Flujo

## 6.6. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FASE DE REVESTIMIENTO DEL HOYO DE PRODUCCIÓN

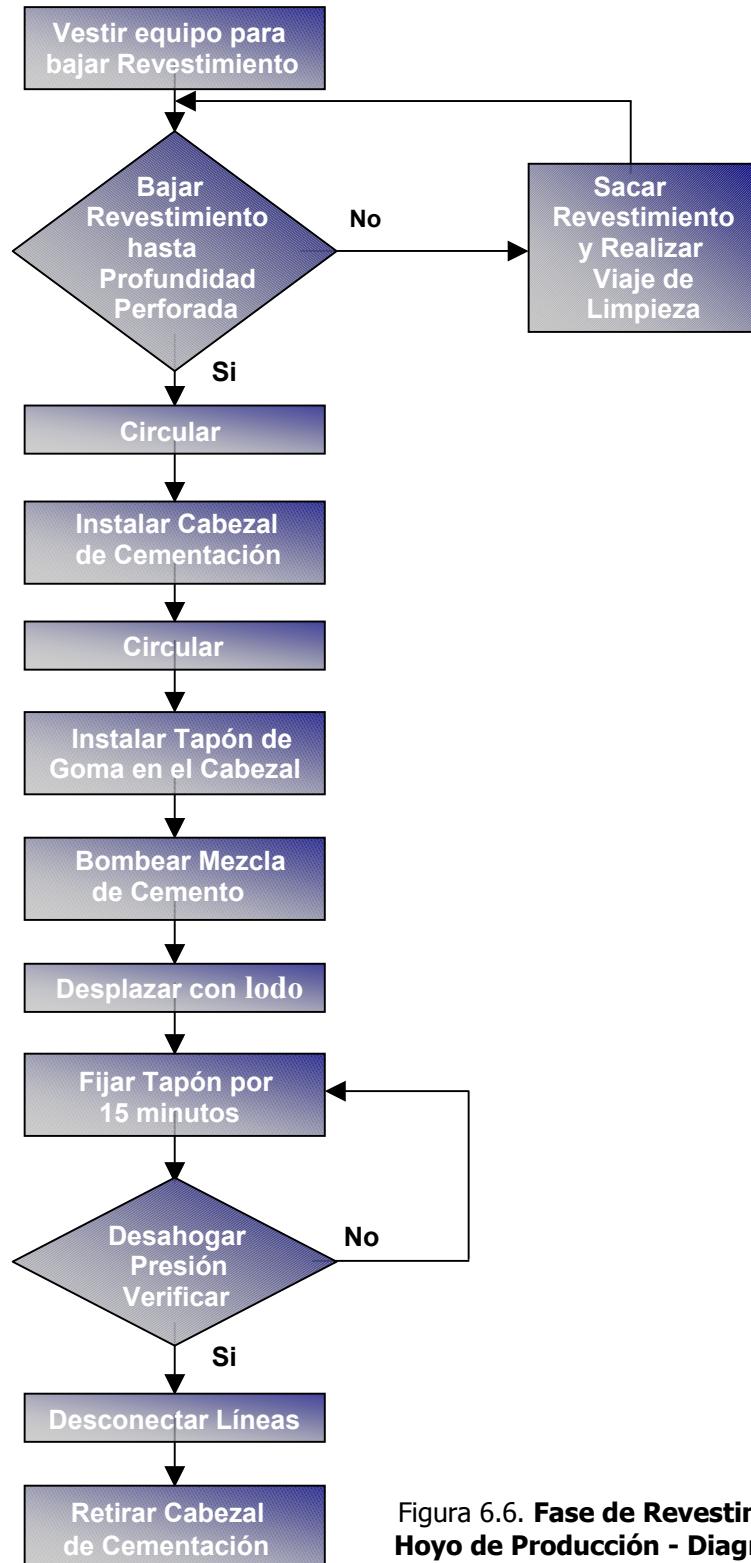


Figura 6.6. Fase de Revestimiento del Hoyo de Producción - Diagrama de Flujo

## 6.7. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FASE DE COMPLETACIÓN

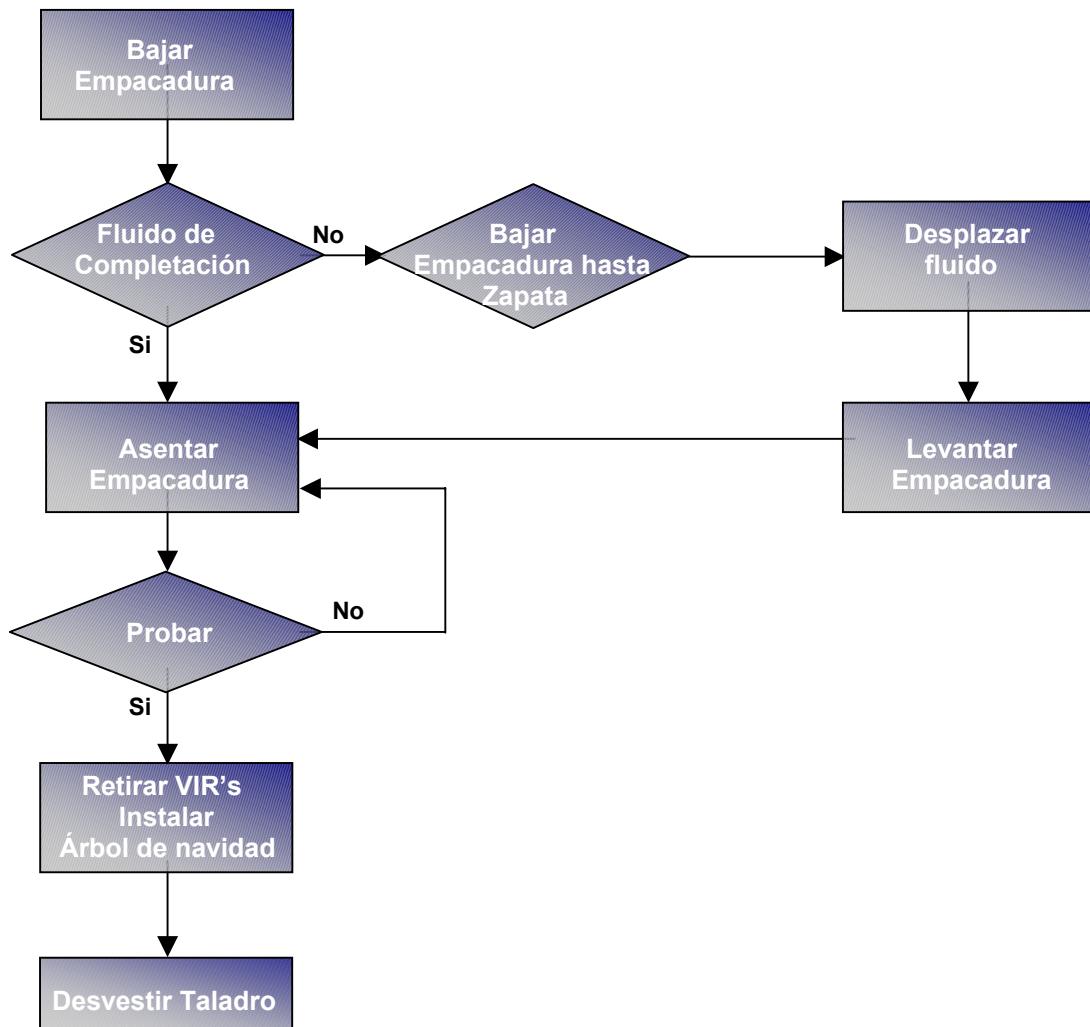


Figura 6.7. **Fase de Completación.**  
**Diagrama de Flujo**

CAPÍTULO 7

## Análisis de Resultados



## 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez recopilada la información, se procedió a aplicar los pasos y premisas descritas en la metodología del TEG (Capítulo 4). La misma se aplicó solo en el Área de Estudio elegida y para la muestra seleccionada de 75 pozos. Los resultados se presentan simultáneamente con la discusión, a continuación.

Es importante destacar que los tres últimos períodos tomados para el estudio corresponden a fechas recientes y estos se compararon con pozos de hace tres y hasta cuatro años. Por ser estos datos confidenciales no se puede revelar con exactitud la fecha a la cual corresponden cada uno de ellos. Por dicha razón se les llamará año 1, año 2 y así sucesivamente hasta el año 7. Debido a lo limitado del tiempo de estudio sólo se analizan y se exponen los datos correspondientes a los años 1, 2, 5, 6 y 7. Como los pozos de los años 3 y 4 fueron escasos por la disminución de las actividades operacionales de la zona, estos fueron excluidos. Esta omisión se hará evidente en las gráficas de tendencias y en las gráficas de barras donde se observará el espacio en blanco debido a la ausencia de los datos de estos años. En cambio, en las gráficas de control este espacio fue obviado y por el contrario se tomaron los años como períodos consecutivos.

El primer resultado obtenido se refiere a la gráfica de control de los tiempos de construcción de los pozos de la muestra seleccionada. Se puede observar con la Figura 7.1, que el valor de la media del proceso es de 26.99 días y que se encuentra fueras de control, ya que hay puntos que se ubican fueras de los límites superior e inferior de control. La Figura 7.1 muestra que hay nueve puntos que tienen valores superiores a 32.83 días, que es el valor del límite superior de control y 5 pozos se encuentran por debajo del límite inferior de control de 21.16 días. Los cálculos de los valores de media, límite superior y límite inferior de control se muestran en detalle en el anexo 3 (estos cálculos son iguales para toda las fases, etapas y actividades). Esta variación en los valores indica la presencia de causas especiales que actúan en el proceso, las cuales deberán ser identificadas por medio de las demás herramientas estadísticas y mejoradas para eliminar los desperdicios que afectan el proceso.

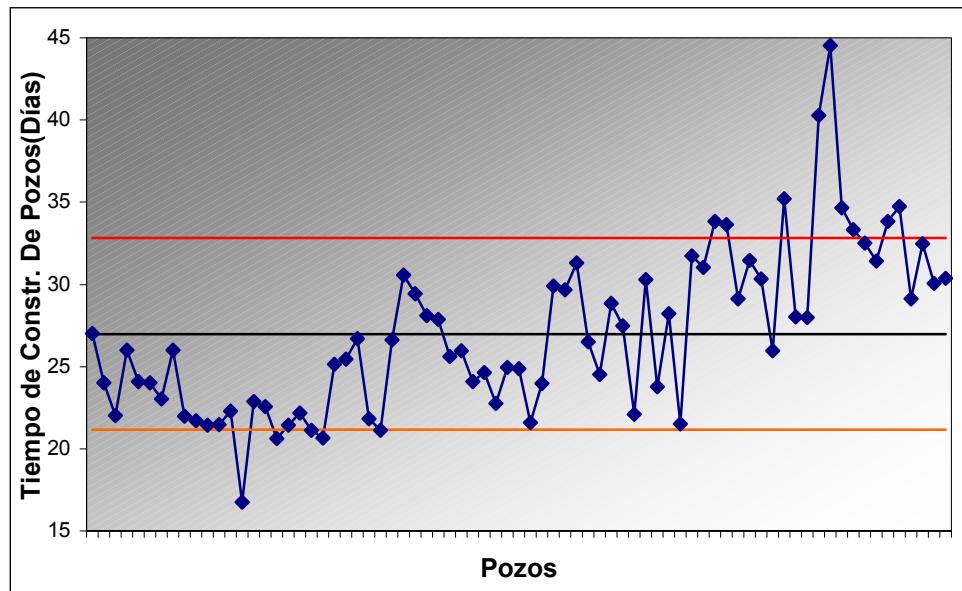
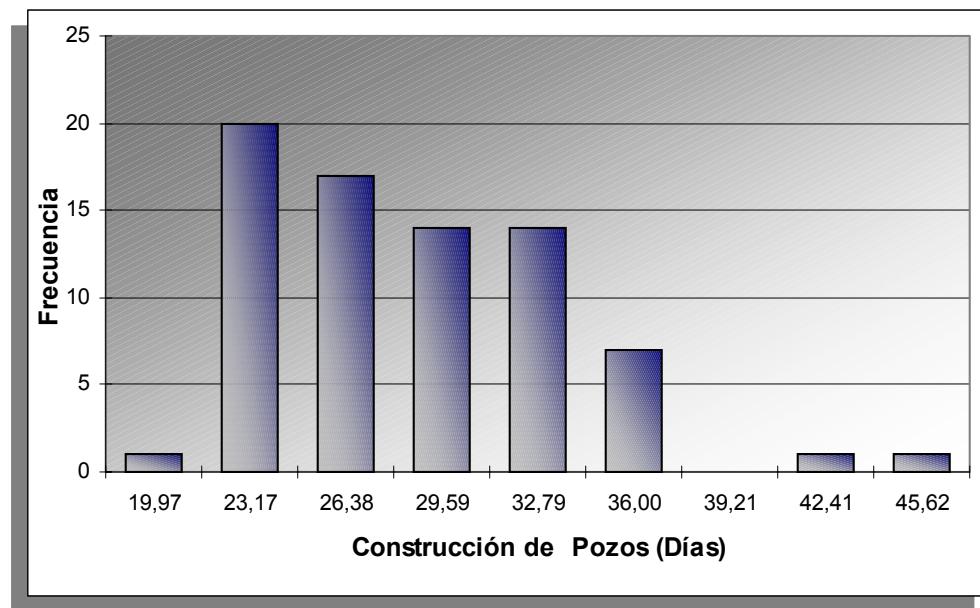


Figura 7.1. Tiempos de Construcción de Pozos - Gráfico de control

El proceso de Construcción de Pozos (durante del período estudiado) se ha realizado con mayor frecuencia entre 19.97 y 23.17 días. Esto no indica que el proceso realizado en este lapso de días sea el más eficiente, ya que como muestra el Histograma de Frecuencia del proceso (Figura 7.2) hay un pozo que ha sido construido en menos de 20 días. Así, hasta el momento de este TEG se puede decir que este ha sido el proceso realizado con mayor eficiencia en el área.



7.2. Proceso de Construcción de Pozos - Histograma de Frecuencia

Por consiguiente, se debe proseguir con el análisis estadístico para identificar las posibles causas que ocasionan las ineficiencias que aumentaron los tiempos del proceso. Para tener una idea más precisa de estas posibles causas se realizó una encuesta a distintos entes de la industria, relacionados con el área de estudio: como son los ingenieros del taladro, miembros de las cuadrillas y supervisores, para así generar una Tormenta de Ideas que permitió construir el siguiente Diagrama Causa - Efecto (Figura 7.3).

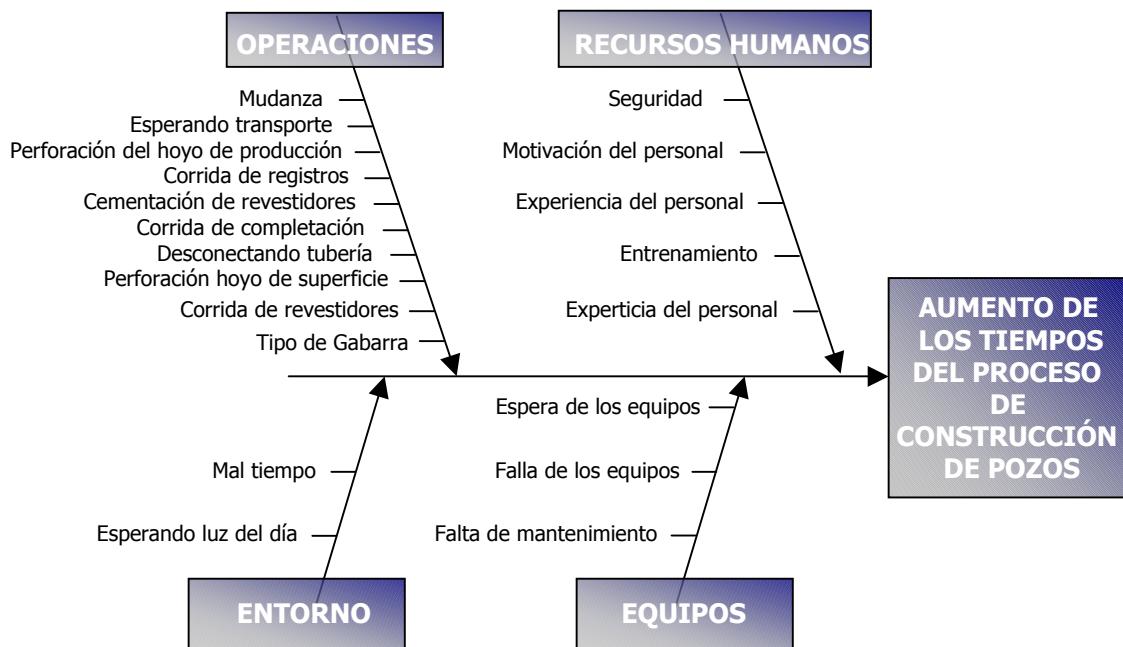


Figura 7.3. **Tormenta de ideas del Proceso de Construcción de Pozos**  
**Diagrama Causa - Efecto**

Este diagrama muestra que todas las fase presentan ineficiencias. Por lo tanto, para el análisis de las causas señaladas en el Diagrama Causa – Efecto (Figura 7.3) se resolvió dividir el estudio según las fases del proceso como muestra la Figura 5.2 de la metodología.

## 7.1. FASE MUDANZA

Es importante indicar que esta fase se inicia con la actividad de Hincar el Hoyo Conductor, el cual servirá como guía y apoyo de los subsiguientes hoyos. Esta actividad es fundamental para las posteriores fases del proceso, ya que un mal hincamiento del conductor provocará que se socaven las paredes del hoyo detrás de él. Por ello es que se recomienda en todos los programas actuales que se perforen los primeros 500' del hoyo con tasa controlada, para disminuir así el riesgo de socavamiento (ver Anexo 4). Sin embargo, si se logra hincar correctamente el conductor, esta tasa controlada puede ser aumentada, para así disminuir los tiempos de perforación.

En esta fase, la gráfica de tendencia muestra que los tiempos de mudanza van en aumento, desde un tiempo mínimo promedio de 1.30 días para el año 2 a un valor máximo promedio de 3.52 días (Figura 7.4). Este aumento indica que hay un problema operacional que debe ser estudiado para conocer y eliminar las causas que ocasionan este aumento de más de 2 días y que no se corresponde con los avances tecnológicos que hay disponibles en la actualidad.

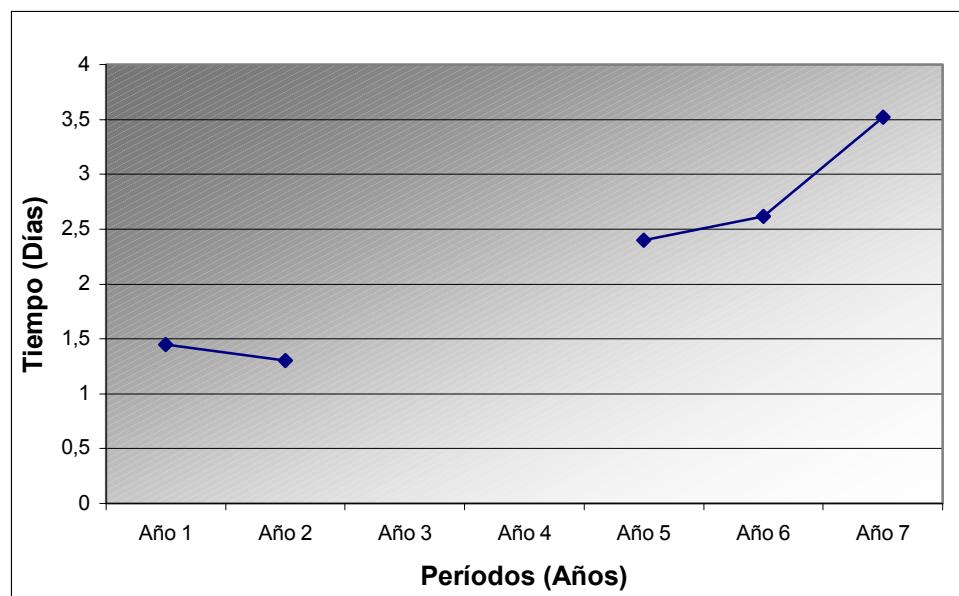


Figura 7.4.-Tiempos promedios por año de la fase Mudanza  
Gráfico de Tendencia

Por lo tanto, para conocer el estado de la fase se realizó un gráfico de control con todos los pozos de la muestra (Figura 7.5). El mismo indica que la fase de Mudanza se encuentra fuera de control y con una clara tendencia a aumentar (ratificando lo mostrado por la Figura 6.4), se debe observar que los dos años iniciales se encuentran por debajo de 1.70 días, que es el límite inferior, así como los pozos del quinto y sexto año rondan alrededor de la media (2.41 días) y los del séptimo año se encuentran totalmente fuera del límite superior de 3.11 días. Hay que hacer notar que aunque los tiempos de los pozos de los años 5 y 6 están cerca de la media y dentro de los límites de control, el valor

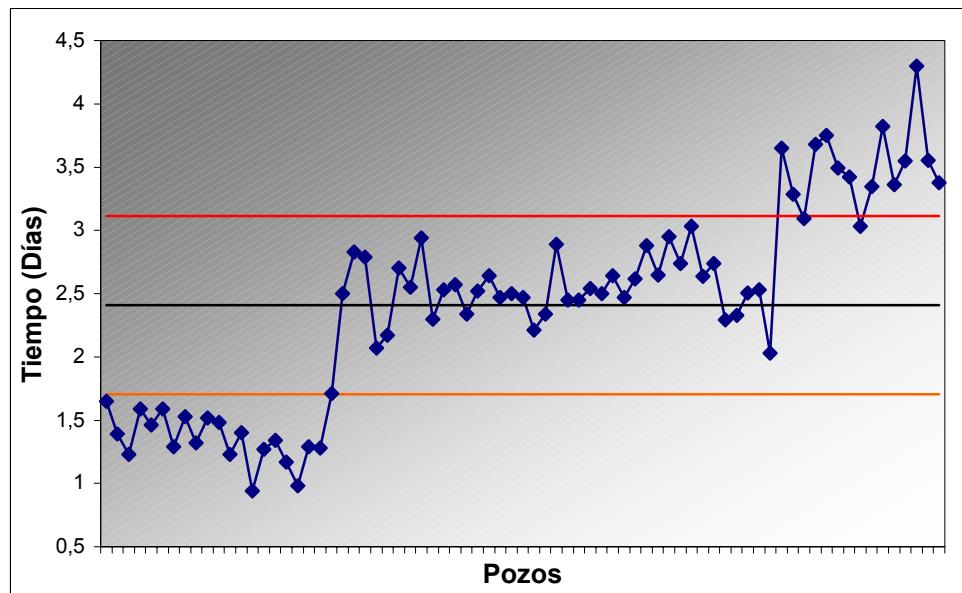


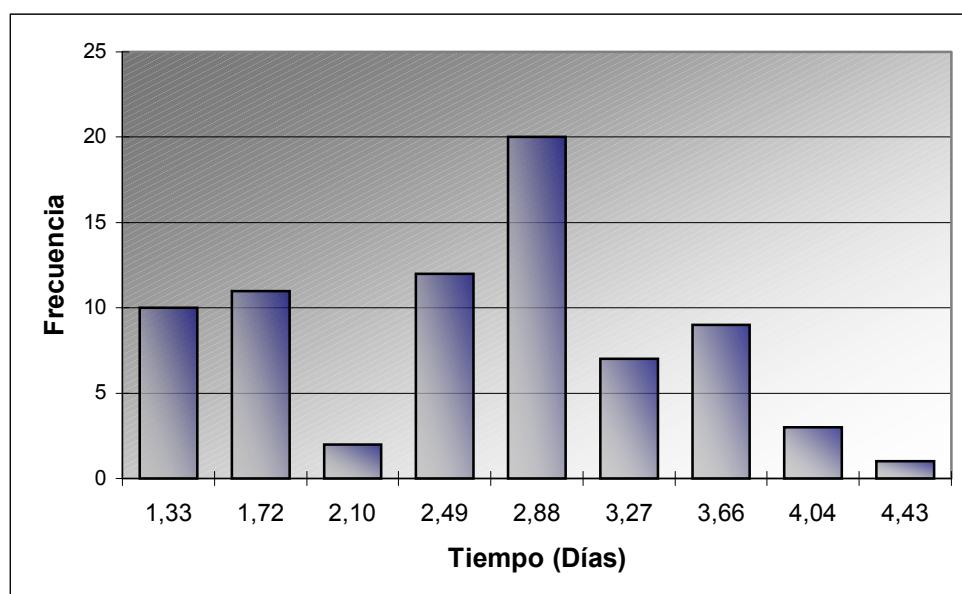
Figura 7.5. Tiempo de la fase de Mudanza - Gráfico de control

de la media es mayor al que generarían los tiempos de los pozos de los dos primeros años. Para confirmar ello se muestra a continuación una tabla comparativa con los valores de las medias para cada año y el de la fase en general (Tabla 7.1).

Tabla 7.1. **Media de la fase de Mudanza. Tabla Comparativa**

	Media (Días)	Diferencia Porcentual con la Media de la Fase (%)
<b>Año 1</b>	1,45	-39,83
<b>Año 2</b>	1,30	-46,06
<b>Año 5</b>	2,51	4,15
<b>Año 6</b>	2,58	7,05
<b>Año 7</b>	3,51	45,64
<b>MEDIA DE LA FASE</b>	2,41	

Esta diferencia entre los promedios se hace evidente en el Histograma de Frecuencia (Figura 7.6) que muestra que la fase de Mudanza se llevó a cabo para 32 pozos entre 2.10 días y 2.88 días. Por esta razón la media de la fase aumenta hasta en un 46% por encima del que podría ser el tiempo óptimo de la fase, ya que esto no es un caso aislado porque 10 pozos han realizado la misma fase en menos de 1.33 días. Hay que destacar que esta fase sufre variaciones debido a la distancia de las mudanzas. Para resolver con este punto, se revisó la distancia que tuvieron que movilizarse los equipos y la misma era semejante para todas las mudanzas realizadas. Por lo tanto, la distancia no fue una circunstancia que afectó las condiciones de los distintos pozos.

Figura 7.6.- **Fase de Mudanza - Histograma de Frecuencia**

En el histograma de la Figura 7.6 se puede observar cómo se registran valores que están hasta 3 días por encima del valor óptimo en que se podría realizar la fase. En el proceso de revisión de la fase de Mudanza se encontró, mediante el Diagrama de Pareto de los tiempos productivos y no productivos (Figura 7.7), que el aumento en ambos es apreciable y aún más para los tiempos productivos, ya que estos sufren un aumento desde su valor mínimo en el año 2 de 1.19 días, promedio por pozo, hasta su valor máximo en el año 7 de 3.21 días promedio por pozo, aumentando así en más de 2 días las ineficiencias de la fase. El mismo caso se puede percibir con los tiempos no productivos, pero a menor escala, ya que los tiempos pasan de aproximadamente 2 horas 30 minutos (0.11 días) a más de 14 horas (0.59 días). Aunque los valores parecen ser pequeños en comparación con los tiempos productivos también merecen el análisis respectivo para así mantenerlos en el mínimo valor posible.

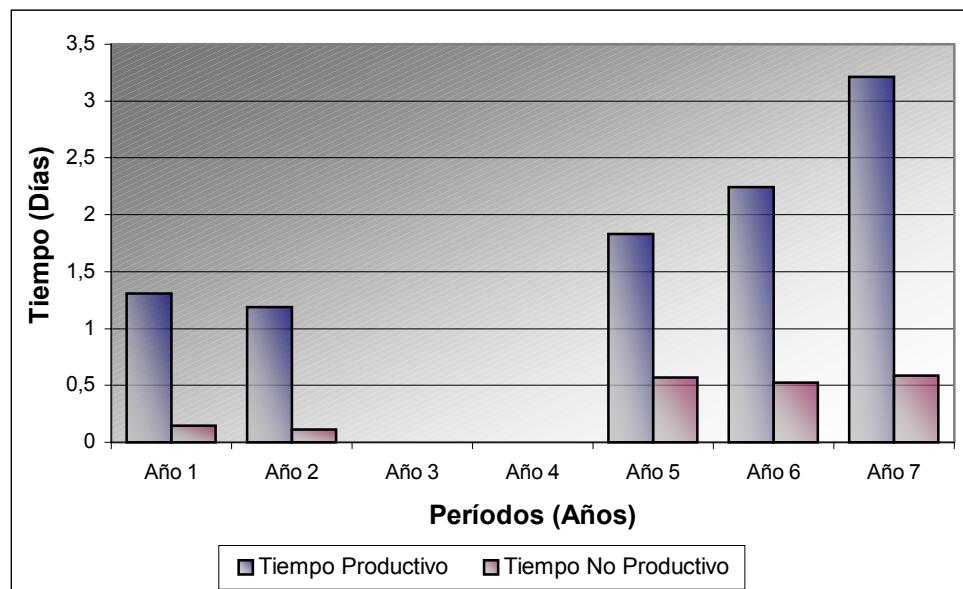


Figura 7.7. **Tiempos productivos y no productivos de la fase de Mudanza - Diagrama de Pareto**

En la búsqueda de las principales causas que generan desperdicios se realizó una Tormenta de Ideas referente a la Fase de Mudanza, generada por las encuestas antes mencionadas y que quedó plasmada en el siguiente diagrama Causa – Efecto (Figura 7.8):

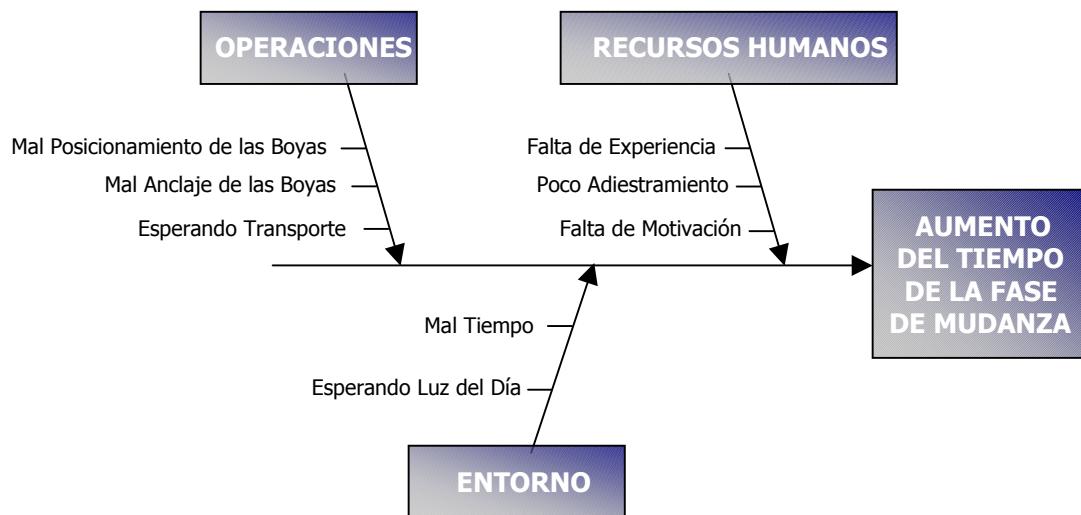


Figura 7.8.- **Tormenta de Ideas de la fase de Mudanza**  
**Diagrama Causa – Efecto**

Una vez identificadas las principales causas, con el Diagrama Causa - Efecto anterior, se elaboró un Diagrama de Pareto que muestra la frecuencia, según el sumario de operaciones, de la ocurrencia de los diferentes problemas suscitados durante la mudanza (Figura 7.9):

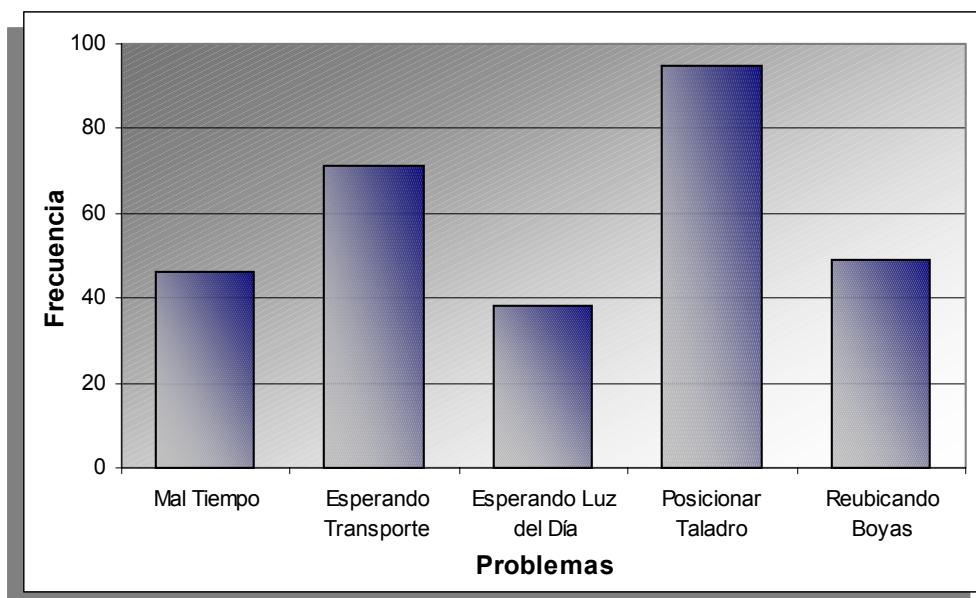


Figura 7.9.- **Problemas de la fase de mudanza - Diagrama de Pareto**

De los resultados de la Figura 7.9 se deben resaltar los siguientes aspectos:

- El problema que genera los mayores inconvenientes y que ocurre con mayor frecuencia dentro de la fase es el posicionamiento del taladro, que es causado por el mal anclaje de las boyas.
- Sucesivamente le siguen: esperando transporte, que principalmente se origina por una mala coordinación de las cuadrillas y la reubicación de las boyas, que es consecuencia a su vez del desplazamiento de las anclas de su lugar original. Este desplazamiento se origina, según los encuestados, por el tipo de ancla que se utiliza actualmente con protección para que no se enganche de las líneas de flujo que están tendidas en el fondo del Lago.
- Los problemas restantes se deben a factores de fuerza mayor, como lo son el mal tiempo y esperando luz del día, factor que puede ser atribuido también a una pobre planificación de los trabajos a realizarse.

Aunque no se destaca la incidencia de la época del año en los problemas su naturaleza excede el alcance de este TEG

## **7.2. FASE DE PERFORACIÓN DEL HOYO DE SUPERFICIE**

Con apoyo en la gráfica de tendencia (Fig. 7.10) para esta fase se evidencia, al igual que en la fase de mudanza, un aumento progresivo en el tiempo de ejecución para los tres (3) últimos años, lo que indica la presencia de anomalías en la fase.

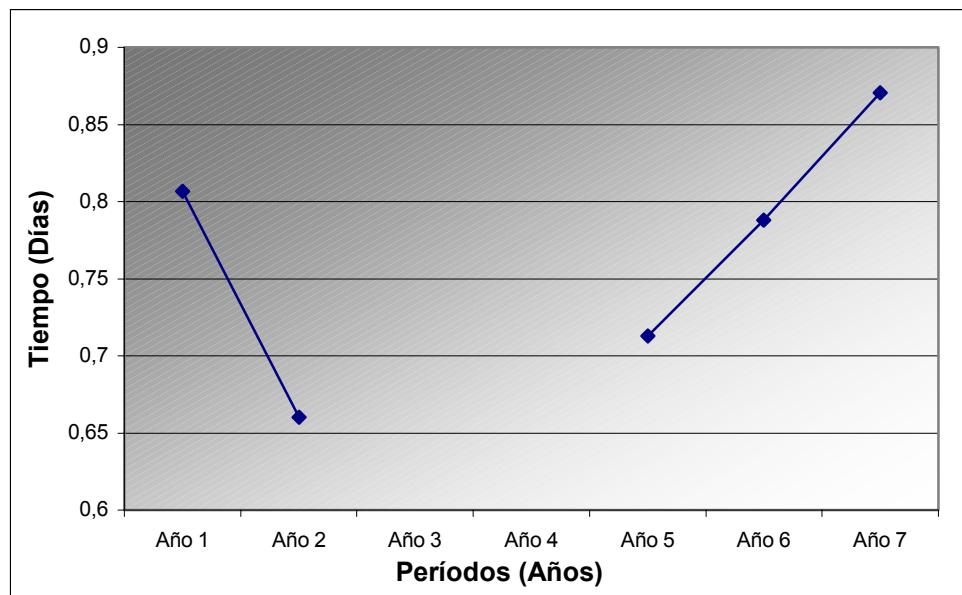


Figura 7.10. **Tiempo promedio por año de la fase de Perforación del Hoyo de Superficie - Gráfico de Tendencia**

Se observa que los tiempos promedios de la fase se disponen de manera ascendente en los tres (3) últimos años, aunque el aumento de los tiempos sea tan sólo de 5 horas aproximadamente (muy pequeño en comparación con los tiempos de otras fases). Este debe ser estudiado para determinar las causas que están generando dicho aumento y poder controlar así el aumento de la tendencia. Para comprobar la situación que se presenta en esta fase se realizó el gráfico de control de los años estudiados para esta fase (Figura 7.11).

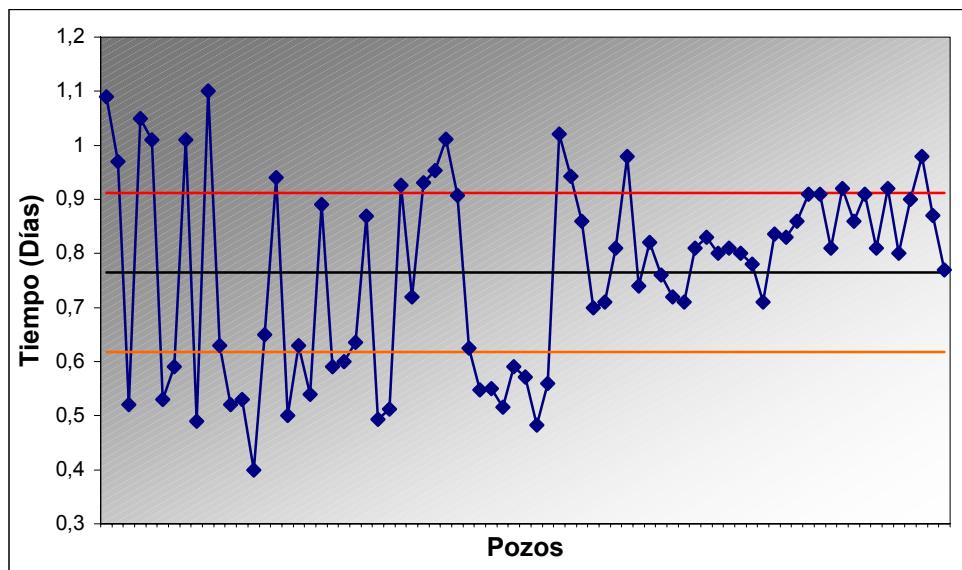


Figura 7.11.- **Tiempos de la fase de Perforación del Hoyo de Superficie**  
**Grafico de Control**

Evidentemente los resultados que se observan en la Figura 7.11 indica de que dicha fase se encuentra fuerza de control estadístico. Para los tres (3) primeros años del estudio, todos los pozos están alejados de la media de la fase que es de 0.77 días, ya sea por encima del límite superior de 0.91 días o por debajo de 0.62 días que es el límite inferior de control. En el primer año, la mitad de los pozos muestran un tiempo de perforación bajo, en contraposición con la otra mitad de los pozos de ese mismo año que utilizan el doble del tiempo para perforar el hoyo de superficie. Caso similar ocurre para los pozos del año 2 y del año 5. Por el contrario en los pozos de los años 6 y 7 se ve una tendencia a mejorar la fase ya que los tiempos se mantienen dentro de los límites de control de la fase excepto 3 pozos que están por encima del límite superior de control. Es importante resaltar que aunque este último período está dentro de los límites de control, el menor tiempo de ejecución de la fase para este período fue registrado en el año 4 de 0.70 días, en comparación al menor tiempo encontrado en los primeros años que fue de 0.4 días. Es decir, se incrementó en un 78% y si se compara con el mayor tiempo encontrado en los 2 últimos años que fue de 0.98 días, el aumento es aún más crítico y se sitúa en 145%, cifra totalmente inaceptable indica la existencia de desperdicio. Este hecho lo corrobora el Histograma de Frecuencia (Figura 7.12), el cual muestra que la fase más eficiente no es la más frecuente, mostrando así ineficiencias en la mayoría de los pozos de la muestra.

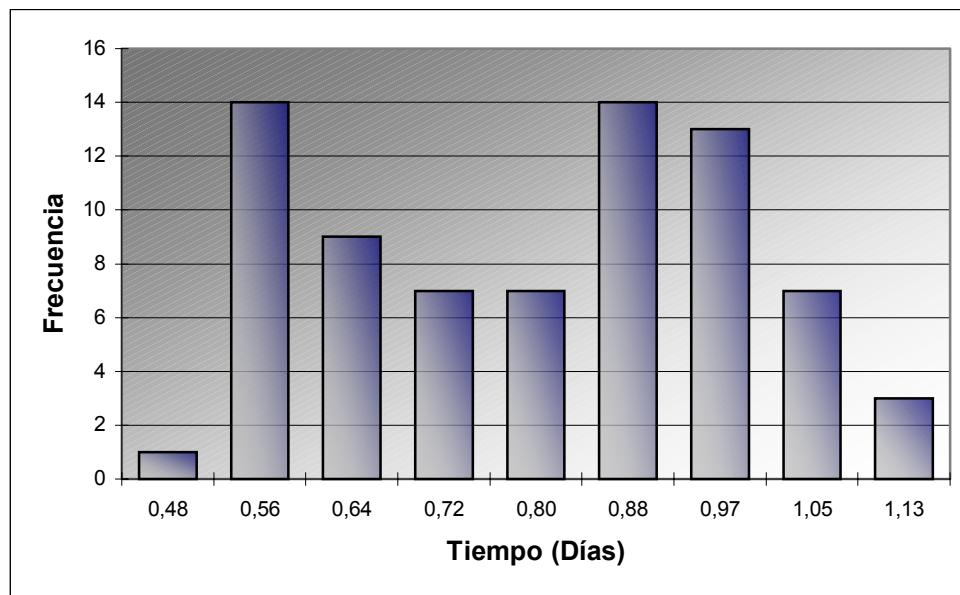


Figura 7.12.- **Fase de Perforación del Hoyo de Superficie**  
**Histograma de Frecuencia**

Para determinar las ineficiencias de la fase, se graficaron los tiempos productivos y no productivos (Figura 7.13), para así establecer si los desperdicios están ocurriendo en las actividades planificadas o son a causa de problemas no anticipados en la construcción del pozo.

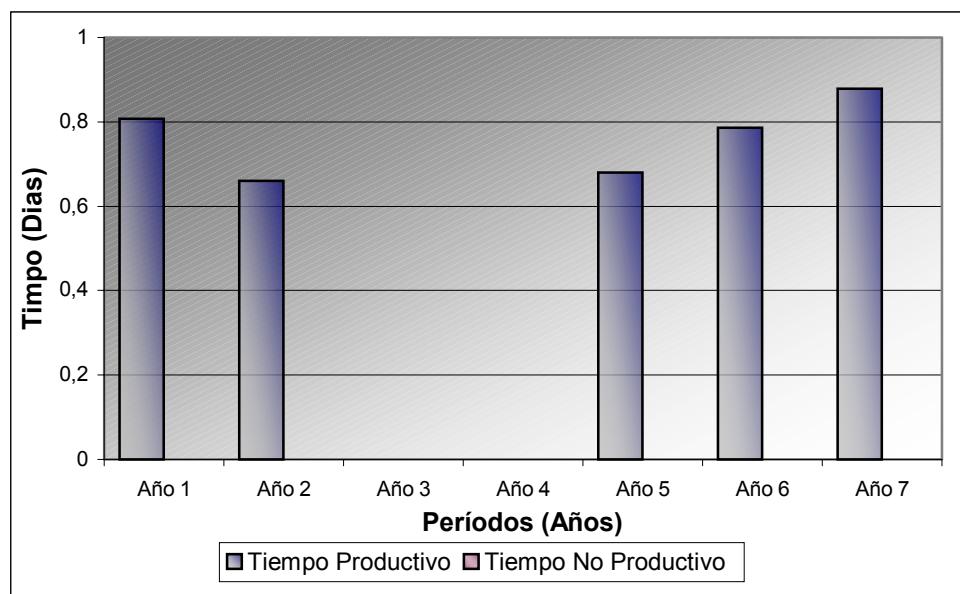


Figura 7.13.- **Tiempo productivo y no productivo de la fase de Perforación del Hoyo de Superficie - Diagrama de Pareto**

Este diagrama indica que todo el tiempo que consume esta fase se encuentra dentro de los procedimientos productivos de la misma. Por lo tanto, es necesario recurrir a herramientas más específicas que permitan identificar por qué los tiempos productivos tienden al aumento.

En esta fase se debe resaltar que la profundidad promedio a la que se perforó el hoyo de superficie (2000') es igual para todos los pozos, y en todas las ocasiones se llevó a cabo con una sola mecha. Por lo tanto, las condiciones de perforación eran similares para todos los pozos, quedando evidenciado que los desperdicios no son ocasionados por las condiciones operacionales de los pozos. Sin embargo, se encontró que los parámetros de perforación para los tres últimos años (5,6 y 7) no eran iguales, ya que en estos años se perforaban los primeros 500 pies a una tasa controlada para evitar el socavamiento del hoyo en esa zona.

Los desperdicios fueron identificados por medio de una Tormenta de Ideas que cuyos resultados se resumen por siguiente Diagrama Causa – Efecto (Figura 7.14).

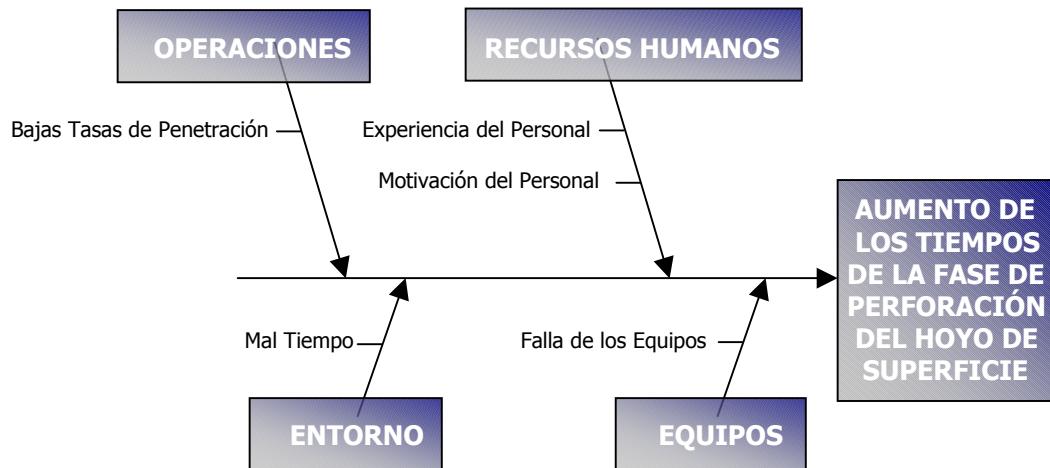


Figura 7.14. **Tormenta de Ideas de la fase de Perforación del Hoyo de Superficie - Diagrama Causa - Efecto**

Los resultados de esta tormenta de ideas aportan datos importantes sobre las posibles causas por las cuales aumentan los tiempos de perforación del hoyo de superficie, ya que la causa en que se hizo mayor énfasis fue la de falta de experiencia y experticia del personal. Esto se ve reflejado en el Diagrama de Pareto (Figura 7.15), elaborado a partir de los sumarios operacionales de los pozos, donde escasas veces se menciona algún problema en esta fase del proceso, pero en discordancia con estos datos se nota que los tiempos de perforación están en aumento como mostró la gráfica de tendencia de la fase (Figura 7.10).

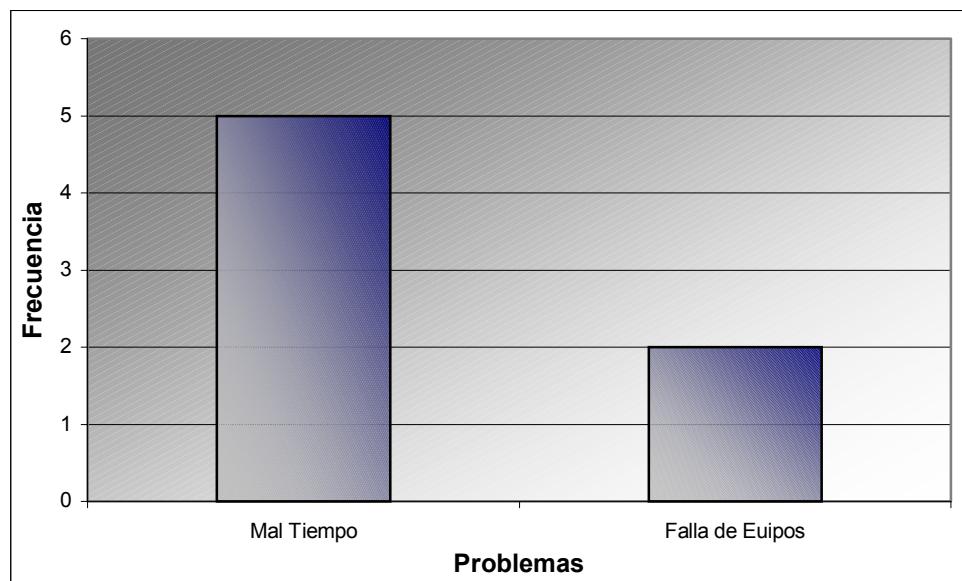


Figura 7.15.- **Problemas de la fase de Perforación del Hoyo de Superficie**  
**Diagrama de Pareto**

Se observa en el Diagrama de Pareto, que el problema que ocurre con más frecuencia y el cual afecta a esta fase es el mal tiempo, con una frecuencia de 7 veces en comparación a una frecuencia de 2 veces de problemas provocados por fallas de equipos. Si se compara estas dos fallas ocurridas para un total de 75 pozos, que es la muestra total utilizada en este estudio, es una cifra insignificante y puede ser despreciada aunque no debe ser olvidada en la planificación de los pozos. Otro problema que se observa y es causal del aumento de los tiempos, aunque no se ve reflejada en este Diagrama de Pareto ya que no se puede medir cuantitativamente sino cualitativamente, es la falta de experiencia y experticia del personal del taladro. Este problema en el Recurso Humano queda reflejado

claramente en el Diagrama de Pareto, resultado de las encuestas (Figura 7.16) que cuantifica el problema expuesto por el Diagrama Causa – Efecto (Figura 7.15). Este diagrama se prepara a partir de las encuestas realizadas, en el campo a 32 miembros de las distintas cuadrillas. En ellas se le solicitó al encuestado manifestarlos años de experiencia desempeñando “su labor” en el taladro.

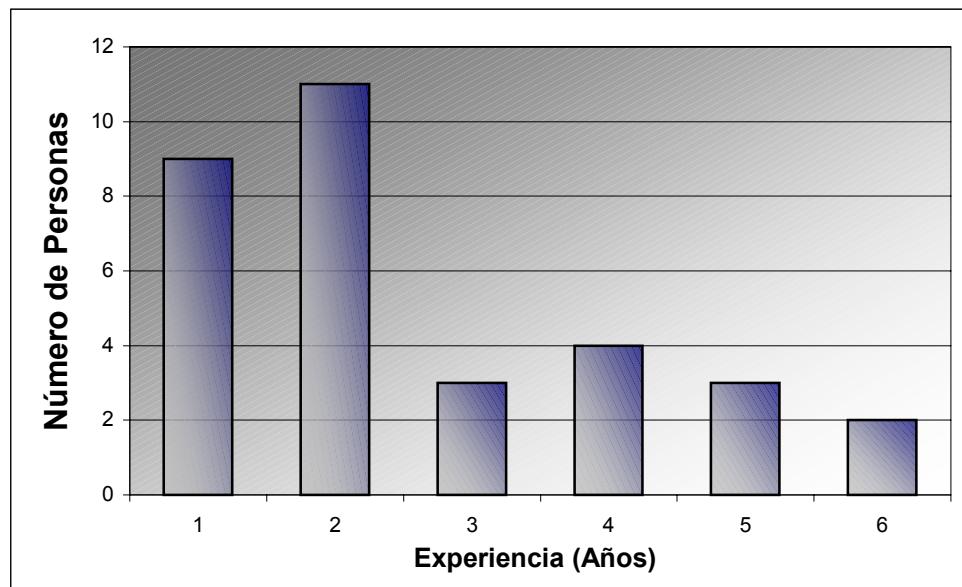


Figura 7.16.- **Experiencia de los miembros de las cuadrillas.**  
**Diagrama de Pareto**

El Diagrama de Pareto 7.16, indica que el 63% de los obreros tan sólo tiene un máximo de 2 años de experiencia, lo que da un indicativo de que la excesiva rotación de personal es la causa más resaltante del aumento de los tiempos de la Fase de Perforación del Hoyo de Superficie.

### 7.3. FASE DE REVESTIMIENTO DEL HOYO DE SUPERFICIE

Al momento de estudiar esta fase es importante señalar que el diseño de revestidores para el total de la muestra estudiada consta de un revestidor de superficie de  $9 \frac{5}{8}$  pulgadas asentado a 2000 pies (Anexo 7). Por lo tanto, a efectos de este estudio las condiciones operacionales de la fase son iguales y permiten así ser comparadas. Entonces

el gráfico de tendencia (Fig. 7.17) indica que en la misma se registra un aumento en los tiempos de operación en los últimos tres (3) años. Es conveniente recordar que esta fase incluye la corrida y la cementación del revestimiento de superficie con sus correspondientes actividades y sub - actividades.

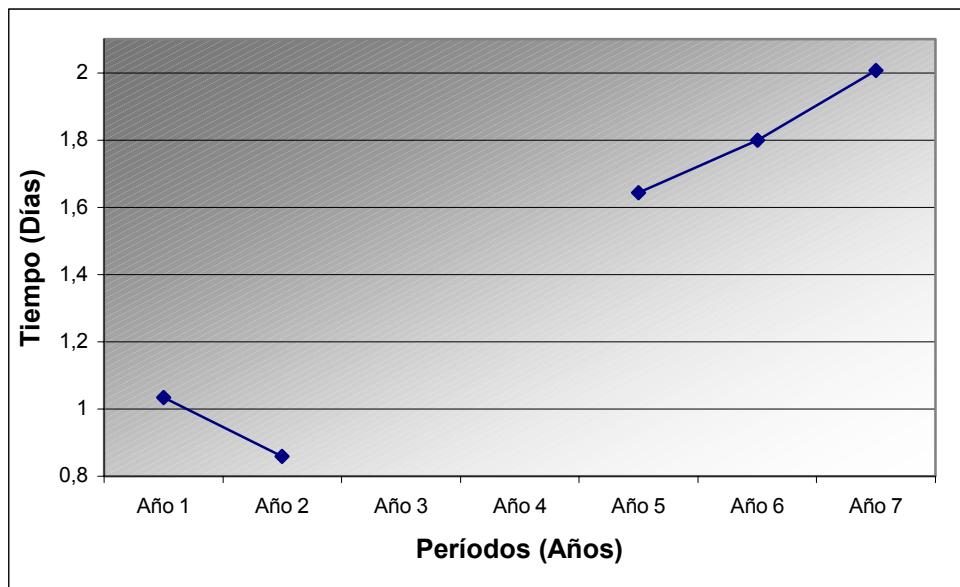


Figura 7.17.- **Tiempo promedio por año de la fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie - Gráfico de Tendencia**

Los tiempos registrados para la fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie, aumentan desde un valor mínimo promedio de 0.86 días en el segundo año hasta un valor máximo promedio de 2.01 días para el año 7, lo que revela un aumento de más de 100% del tiempo de operaciones. Como se puede apreciar en la Figura 7.17, este aumento es bastante considerable y aunque esta fase involucra apenas un 6% del tiempo total del proceso, se deberán investigar a fondo las causas de este aumento excesivo de los tiempos.

Al graficar los tiempos utilizados por todos los pozos en un gráfico de control (Figura 7.18), este muestra que el proceso está fuerza de control. Evidentemente, para los años 5 y 6 los valores del tiempo de dicha fase se encuentran alrededor de la media del proceso (1.57 días), pero a pesar de ello también están fuera de control. Por lo tanto, la variabilidad del proceso es muy marcada. Tanto así, que más del 30% de los pozos de

esta fase están por encima del límite de control superior de 1.95 días o por debajo del límite inferior de 1.20 días. Todos los pozos que están por debajo de este límite pertenecen a los años 1 y 2 y la mayoría de los pozos que se encuentran por encima del límite superior pertenecen al período del año 7. Esta notable diferencia queda plasmada en la tabla que compara la media para cada período con la media de la fase completa (Tabla 7.2).

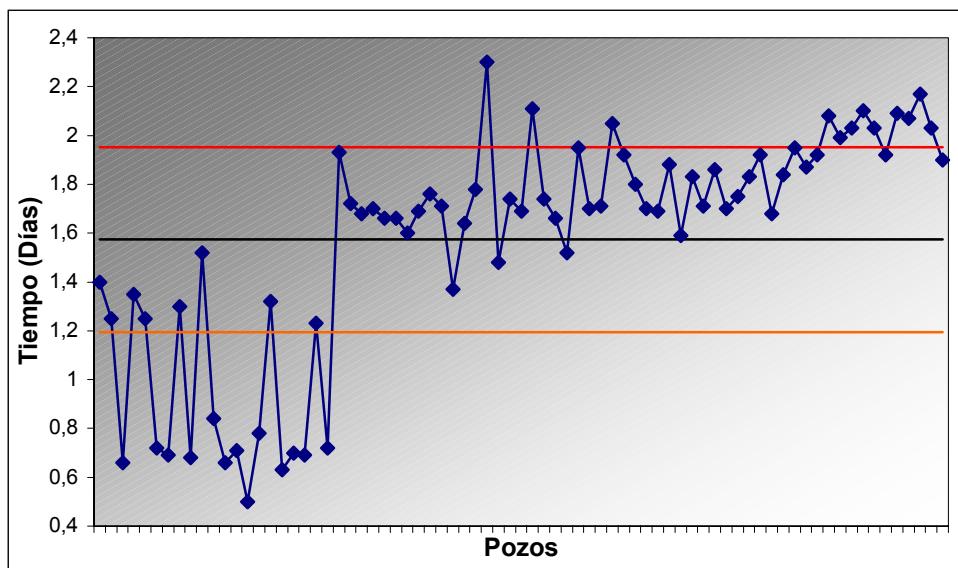


Figura 7.18.- **Tiempos de la fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie.**  
**Gráfico de Control**

La diferencia de la media de la fase completa es hasta 45% mayor que la media del año 2. Entonces en esta fase se puede observar cómo los desperdicios pueden llevar a una fase muy eficiente, con valores como 0.50 días corriendo y cementando revestidor de superficie, hasta valores exageradamente elevados como lo es el tiempo máximo registrado dentro de la muestra en el año 7 de 2.30 días. Esta observación se hace

Tabla 7.2.- **Media de la fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie**  
**Tabla Comparativa**

	Media (Días)	Diferencia Porcentual con la Media de la Fase (%)
<b>Año 1</b>	1,03	-34
<b>Año 2</b>	0,86	-45
<b>Año 3</b>	1,72	10
<b>Año 4</b>	1,79	14
<b>Año 5</b>	2,00	27
<b>MEDIA DE LA FASE</b>	<b>1,57</b>	

bastante evidente cuando en el Histograma de Frecuencia de la fase (Figura 7.19) se observa que más del 17% de los pozos de la muestra se revistieron en menos de un día, pero los desperdicios han llevado a la fase a que el 83% de la muestra se realice de manera ineficiente. Por lo tanto, se hace necesario estudiar esta fase para comprender las causas que generan tantas ineficiencias. En la búsqueda de las causas que posiblemente originan dichos desperdicios, se graficaron los tiempos productivos y no productivos en un Diagrama de Pareto (Figura 7.20). Los tiempos productivos, aunque aumentaron, lo hicieron en menos de 8 horas. Esta fue la diferencia más critica de la fase, y ocurrió entre el año 2 y el año 6, pero a diferencia de la fase pasada, los tiempos no productivos tienden a aumentar.

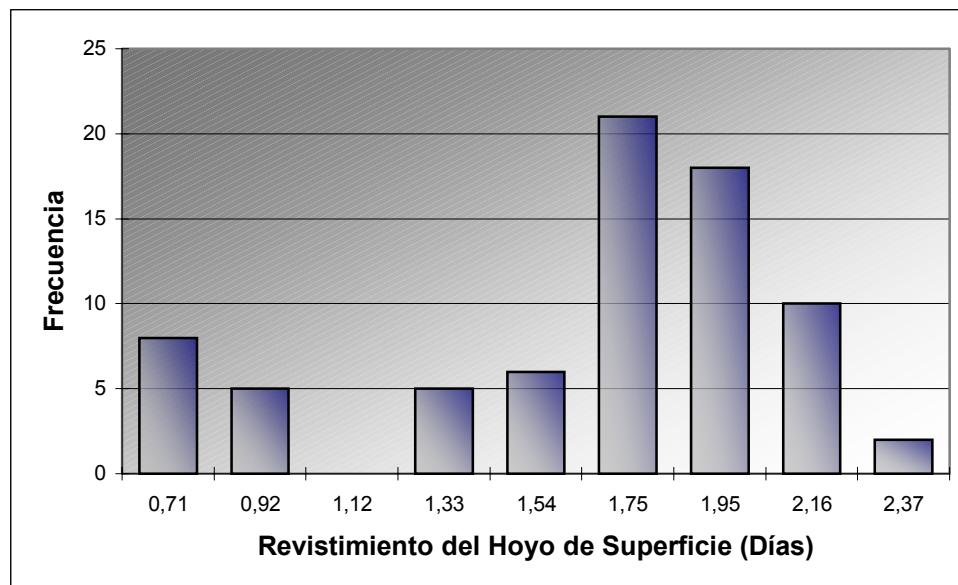


Figura 7.19.- **Fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie**  
**Histograma de Frecuencia**

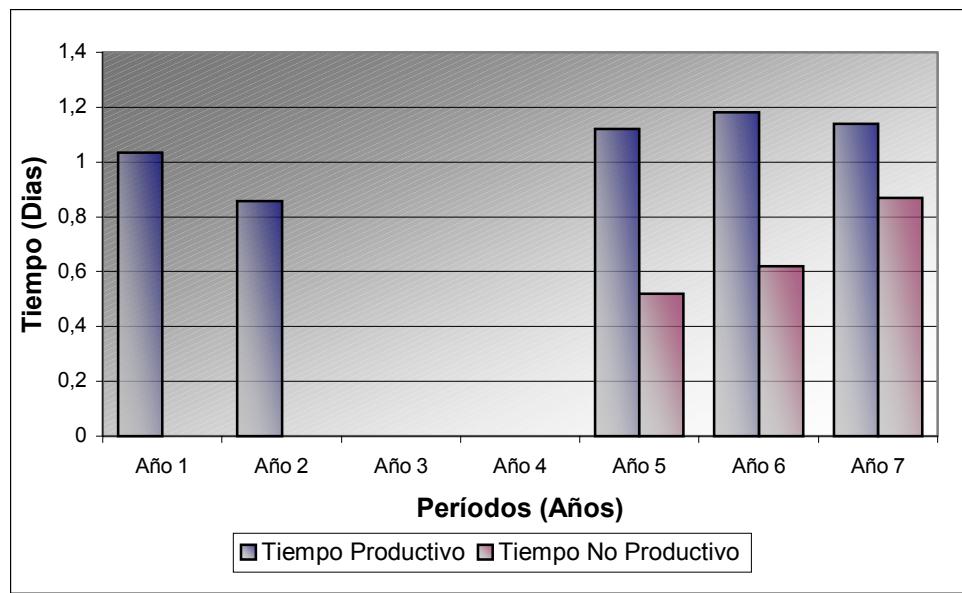


Figura 7.20.- **Tiempos productivos y no productivos de la fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie - Diagrama de Pareto**

Estos tiempos no productivos aumentan desde un valor cero en los dos (2) primeros años del estudio hasta un valor máximo de 0.87 días en el sexto año. Esto indica a que se debe realizar un Diagrama Causa - Efecto (Figura 7.21), utilizando los resultados de la Tormenta de Ideas para identificar posibles causas de los aumentos de los tiempos.

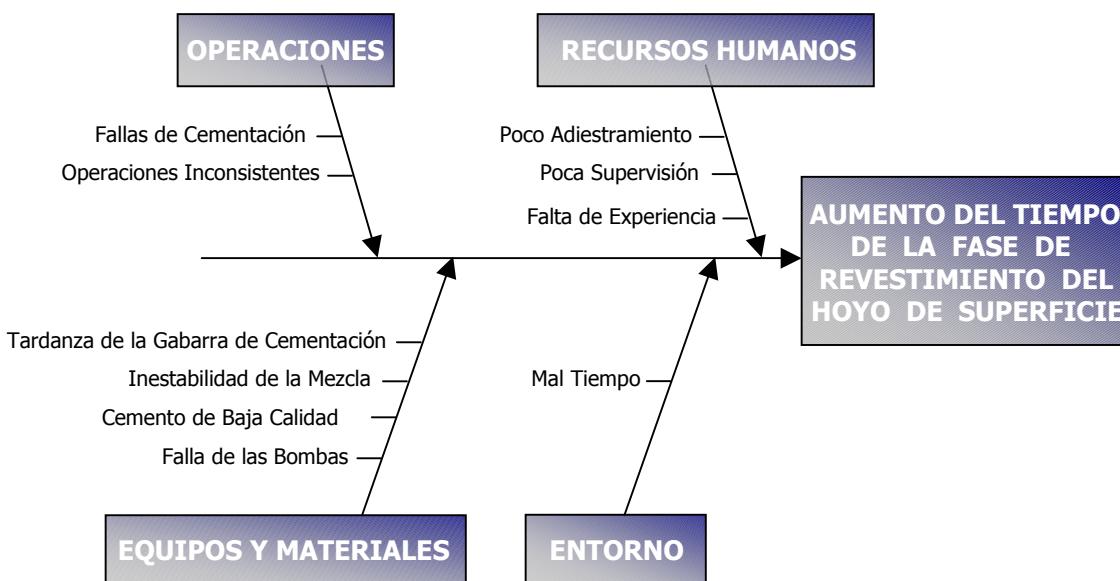


Figura 7.21.- **Tormenta de Ideas de la fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie - Diagrama Causa – Efecto**

Esta Tormenta de Ideas arrojó como resultado que la cementación es la etapa más compleja de la fase de revestimiento. Por ello, es la más susceptible a presentar problemas como muestra la Figura 7.21, donde las operaciones, equipos y materiales de esta etapa son los factores más nombrados en las encuestas como causas de los retrasos de la fase. Esta figura está en concordancia con el Diagrama de Pareto (Figura 7.22) que se extrajo de los sumarios de operaciones, donde se indica que la etapa mas susceptible a sufrir retrasos por su complejidad es la de cementación. La Figura 7.22 confirma que el 72% de los problemas de la fase están relacionados con la etapa de cementación. La principal causa de que estos problemas se presenten en esta etapa es la "poca supervisión de los procedimientos, materiales y equipos utilizados durante las operaciones".

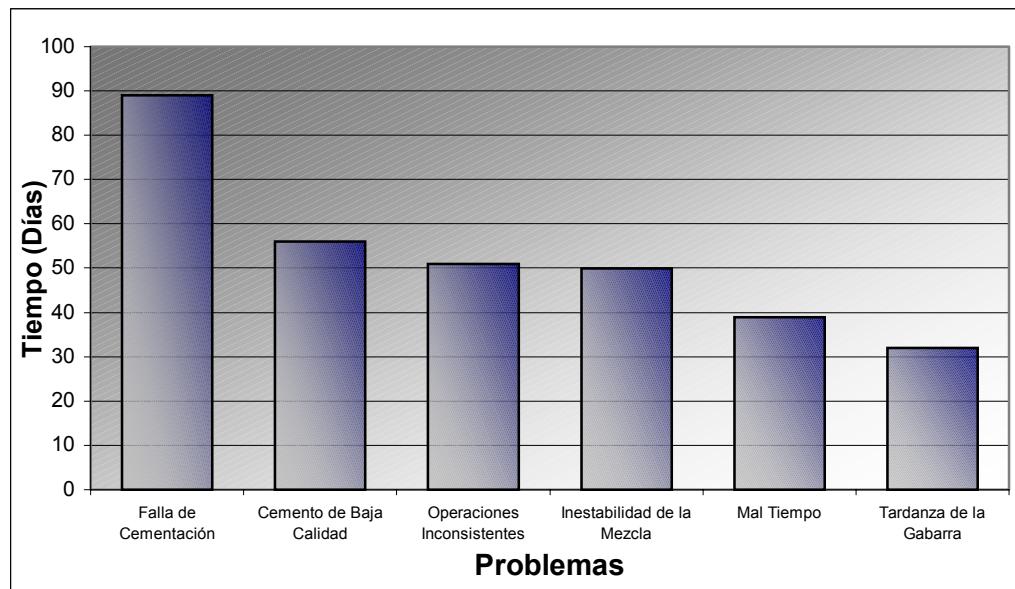


Figura 7.22. **Problemas de la fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie**  
**Diagrama de Pareto**

Cuando las operaciones básicas de la fase no se pueden realizar con consistencia, es decir, a un ritmo constante, las ineficiencias se van acumulando. Esto origina el aumento de los tiempos de las operaciones, sin que ello implique que se halla presentado ningún problema especial. Una muestra de ello se puede observar a través de la gráfica de Tendencia del parámetro de número de juntas por hora (Figura 7.23), que no es más que cuántos tubos de revestimiento por cada hora de trabajo bajan en la corrida del revestidor.

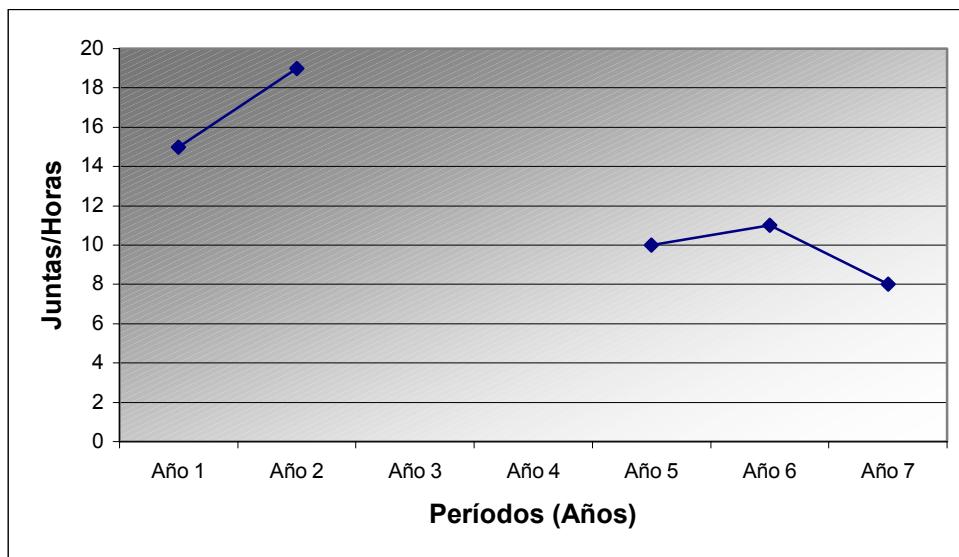


Figura 7.23. **Corrida del Revestimiento del Hoyo de Producción expresado en Juntas por Hora. Grafico de Tendencia**

Como se refleja en la gráfica de Tendencia de la Figura 7.23, la cantidad o número de juntas por hora ha desmejorado en un 42 % entre los años 2 y 7, aumentando así los tiempos de ejecución de la fase. Este aumento de los tiempos se debe principalmente a que el personal que ejecuta la fase posee poca experticia y lleva a cabo las operaciones a un ritmo menor al más eficiente.

#### 7.4. FASE DE PERFORACIÓN DEL HOYO DE PRODUCCIÓN

La perforación del hoyo de producción se considera la fase más importante del proceso. No sólo porque involucra la zona donde se encuentra el petróleo, sino además porque el tiempo promedio de la muestra que se utiliza en esta fase de la construcción del pozo representa el 58% del tiempo total del proceso, como lo muestra la Figura 7.24.

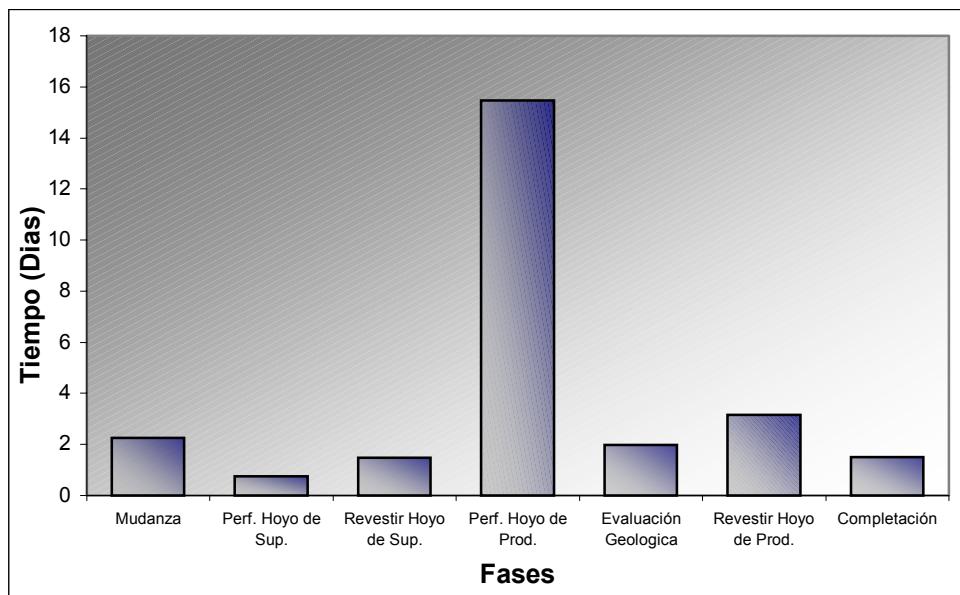


Figura 7.24. **Tiempos promedio de las fases del Proceso de Construcción de Pozos - Diagrama de Pareto**

Como consecuencia de la importancia que representa esta fase para el desenvolvimiento eficiente del proceso, se prosiguió a efectuar un estudio más detallado de la misma. Para ello, se realizaron estudios más específicos y más detallados de tiempos que en las otras fases.

Para proseguir con la metodología que se ha venido presentando para el análisis de las otras fases, se elaboró un gráfico de tendencia (Figura 7.25) para verificar la utilización de los tiempos a lo largo de los períodos estudiados.

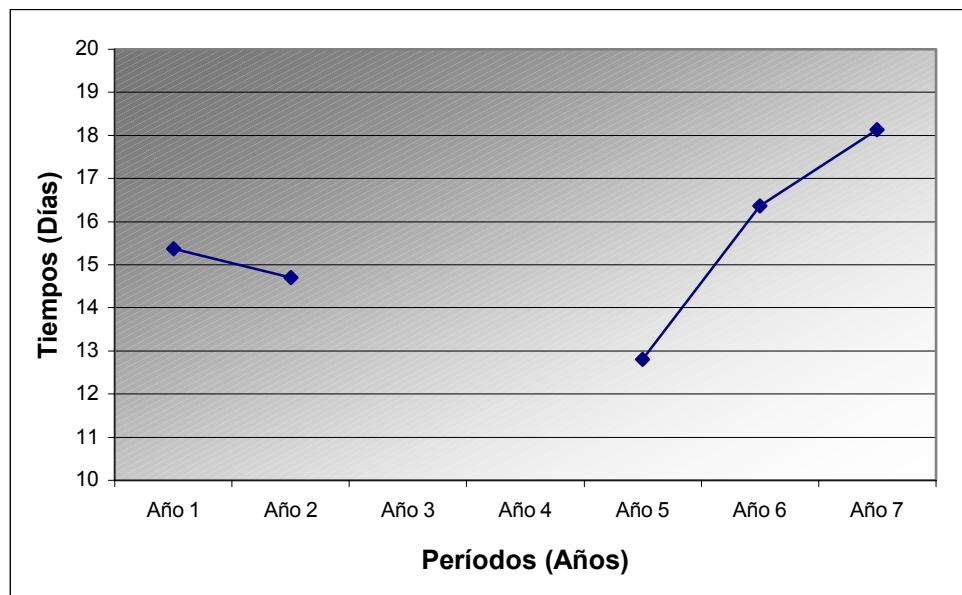
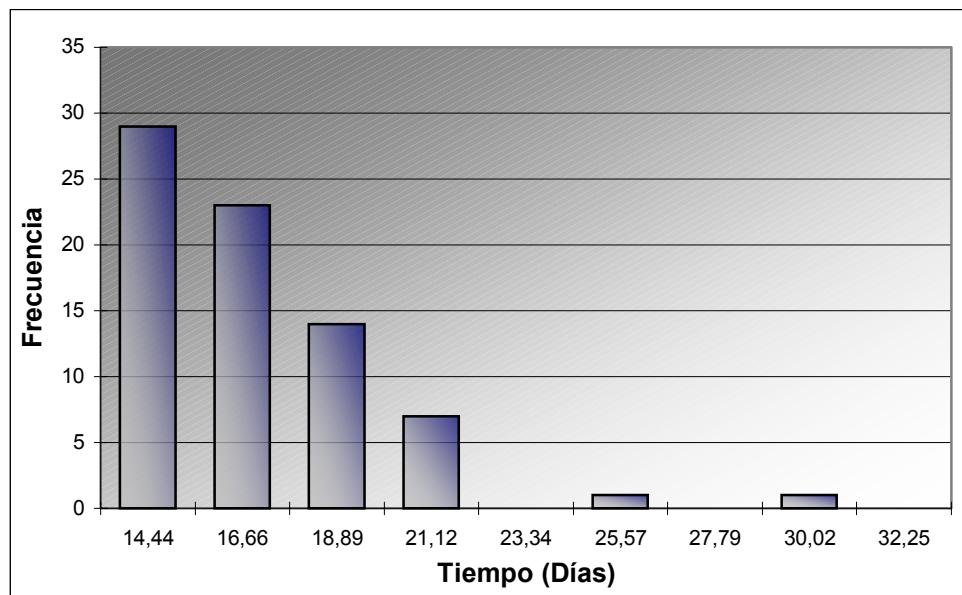


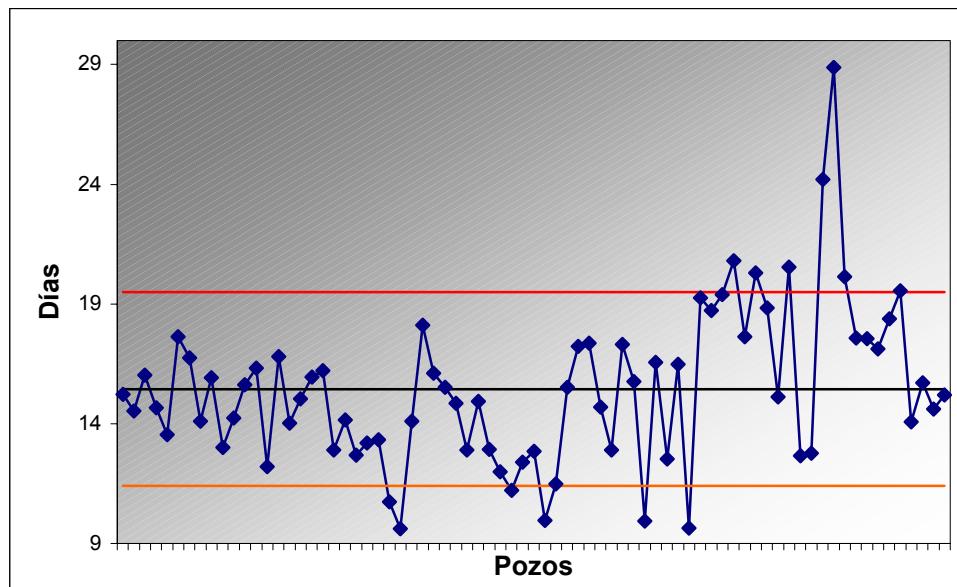
Figura 7.25. **Tiempos promedio por año de la fase de Perforación del Hoyo de Producción - Gráfica de Tendencia**

La tendencia inicial de esta gráfica satisface lo que se esperaría de la curva de aprendizaje que debe tener cada proceso durante su desarrollo. Esta curva de aprendizaje indica el aumento de la eficiencia del proceso a medida que se adquiere mayor conocimiento del área y se aplican nuevas y mejores tecnologías. El problema se hace evidente a partir del año 6 cuando la tendencia pierde la declinación natural y aumenta a valores que sobrepasan los del año 5 en 3.56 días y 5.33 días en el año 7. Es importante destacar que en el 39% de los pozos de la muestra, la fase se llevó a cabo dentro de la clase de menor valor, como lo muestra el Diagrama de Frecuencia (Figura 7.26).



**7.26. Fase de Perforación del Hoyo de Producción  
Histograma de Frecuencia**

El problema de la fase queda evidenciado cuando en el Gráfico de Control (Figura 7.27) en los pozos que pertenecen al año 6 y 7 se elevan el tiempo de ejecución de esta fase. Incluso, hay pozos que sobrepasan el límite superior de 19.50 días, aunque la mayoría de los tiempos están cercanos a la media de 15.45 días. Además, es en el año 5 es cuando se



**Figura 7.27.- Tiempos de la fase de perforación del hoyo de producción  
Grafica de control**

registran los tiempos más bajos ó eficientes de la fase, ya que se registran tiempos de perforación menores al límite inferior de control (11.40 días). Para iniciar el análisis de esta fase se recurrió al Diagrama de Pareto de los tiempos productivos y no productivos de la fase (Figura 7.28).

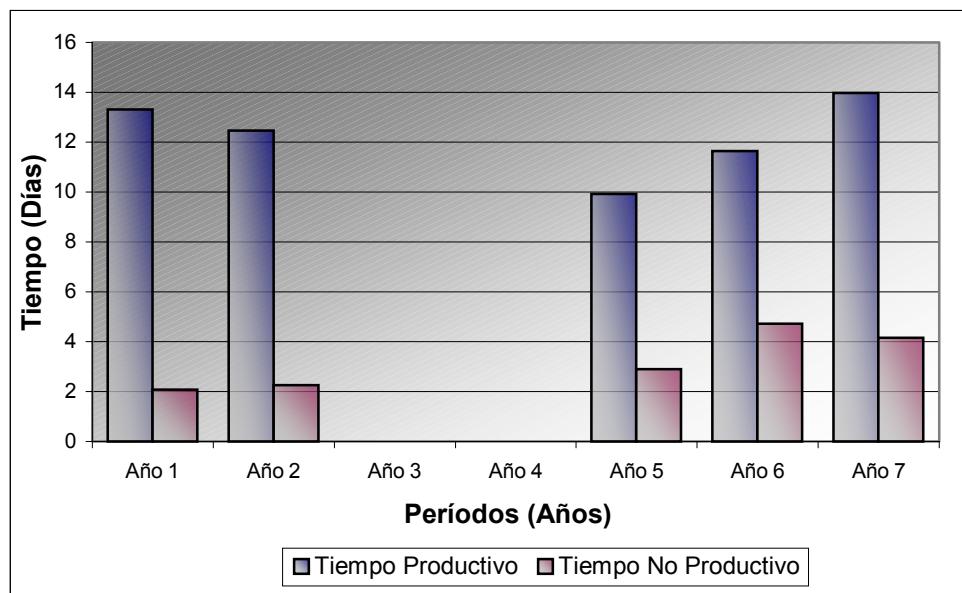


Figura 7.28.-**Tiempos productivos y no productivos de la fase de Perforación Hoyo de Producción - Diagrama de Pareto**

De la gráfica de la Figura se observa que los tiempos productivos están dentro de un rango aceptable de variación, con el menor tiempo productivo en el año 5 de 9.91 días y un valor tope de 13.97 días para el año 7. Con respecto a los tiempos no productivos, se observa una tendencia al aumento en los últimos tres años, con un valor mínimo de 2 días para los dos primeros años y un valor máximo de 4.3 días para el año 6. En estos tiempos no productivos es donde se encuentran los problemas que debemos identificar. Pero no por ello se debe dejar de prestar atención a los tiempos productivos, a los cuales no hay que descuidar, ya que lo que se esperaría de la curva de aprendizaje es que con la experiencia y el conocimiento adquirido estos tiempos deberían descender, y no lo hace.

Con la ayuda del diagrama de flujo de la fase de perforación del hoyo de producción, descrito en el capítulo anterior, se identifica cuáles son las principales etapas de dicha

fase. Posterior a esto y con la ayuda de los resúmenes de operaciones le fue asignado el tiempo correspondiente en el que se realizaba cada actividad. Los resultados son los siguientes:

#### a. Retirar Chimenea

En esta actividad no se observaron problemas durante todo el período de tiempo estudiado. Todos los tiempos empleados están alrededor de 0.14 días y no hay mayor variación de tiempo. Esto debido a la simplicidad de la actividad. Solo se presentó un problema en un pozo con este equipo, en el cual debido al movimiento de la gabarra por el mal tiempo la chimenea se partió y hubo que cambiarla, originando un pequeño aumento en el tiempo de la operación.

#### b. Instalar y probar Válvulas Impide-Reventones

Los tiempos utilizados en esta etapa se presentaran en una Gráfica de Control (Figura 7.29) cuyo resultado está a continuación:

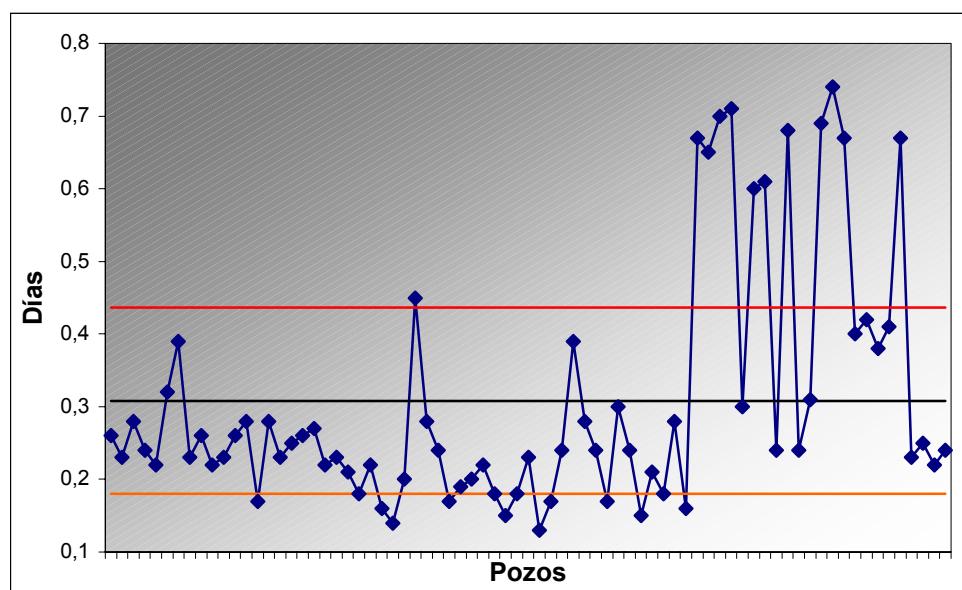


Figura 7.29. Tiempos de la actividad de instalar y probar Válvulas Impide-Reventones - Gráfica de control

Aunque la labor de instalar y probar las válvulas de seguridad es muy importante, ya que con esta actividad se garantiza la seguridad de la fase y del proceso, dicha actividad no trae mayores inconvenientes ni utiliza mucho tiempo dentro de la fase. Sin embargo, se requiere de un personal bien capacitado para que realice la operación de la manera más eficiente y libre de desperdicios. Como se observa en la Figura 7.29, aunque la fase no está bajo control, los valores de tiempo utilizado para los tres primeros períodos se encuentran por debajo de la media (0.31 días), sólo un 9,5 % está por encima de dicho valor. Por el contrario, para los dos períodos restantes, el 43% se encuentra entre la media y el límite inferior de control (0.18 días), el 33% por encima del límite superior de control (0.44 días), el 12% bajo el límite inferior de control y el otro 12% restante entre el límite superior de control y la media.

Analizando más a fondo dicha actividad se encontró que antes se realizaba mediante llaves de impacto, lo cual la hacía menos eficiente y se perdía más tiempo, pero actualmente ya no se usan este tipo de herramientas sino que han sido reemplazadas por llaves hidráulicas, las cuales facilitan significativamente la actividad, pero con la limitante de que el personal es mucho menos capacitado y posee mucha menos experiencia en comparación a las cuadrillas que operaban con las antiguas llaves de impacto. De las encuestas realizadas a los 32 miembros de las cuadrillas, 19 manejaban en la actualidad las llaves hidráulicas y como se muestra en la Figura 7.30, ninguno de ellos tenía una experiencia mayor a 3 años.

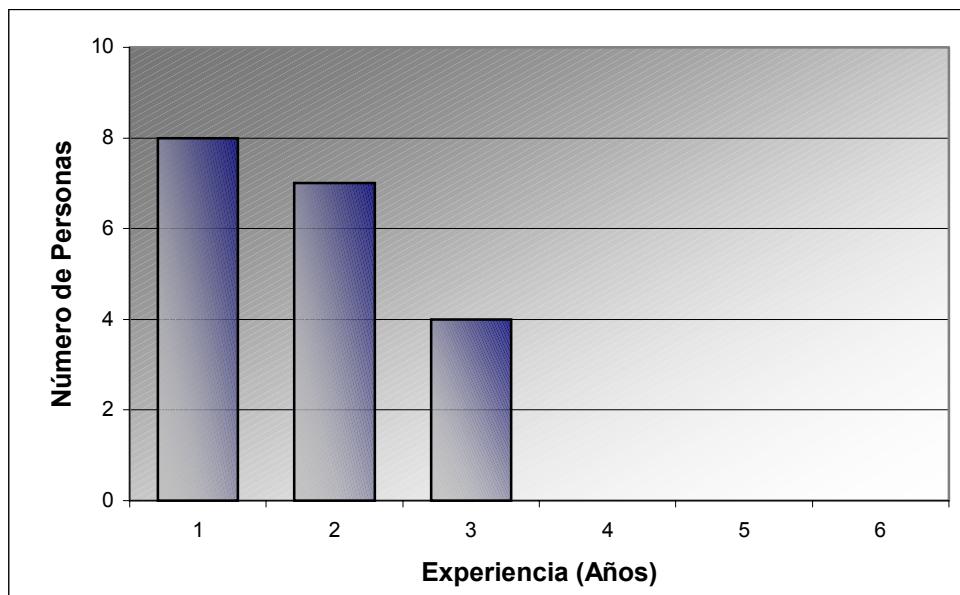


Figura 7.30. **Experiencia de los miembros de las cuadrillas**  
**Diagrama de Pareto**

Esto es lo que seguramente ha causado que los tiempos empleados para la instalación y pruebas de las válvulas se hayan hecho menos eficientes estos últimos años, a pesar de que se están utilizando herramientas que deberían ser más eficientes si las maneja personal con destreza y experiencia.

### c. Perforación hasta profundidad total

Esta actividad es la que involucra el mayor porcentaje de tiempo de toda la fase (entre 50 y 60%). Incluye el tiempo neto perforando y todos los problemas que esta actividad acarrea, cabe decir, atascamientos, pérdida de circulación, pesca, entre otros. La teoría indica que mientras más conocimiento haya sobre una zona determinada, más sencillo debe ser prevenir cualquier circunstancia que pudiese ocurrir al momento de la perforación. Esto se debe ver reflejado en las curvas de aprendizaje, pero indican todo lo contrario los datos obtenidos de los pozos en estudio, aquí los tiempos en vez de decrecer, aumentan como lo demuestra la Figura 7.31, donde se graficaron los tiempos netos de perforación y los tiempos perdidos por problemas derivados de la perforación (derrumbes, atascamientos, etc). Como lo indica la leyenda del gráfico, la sección azul de

la barra representa el valor neto de perforación y el color rojo de la barra contiene el tiempo perdido debido a los problemas. Debido a la gran cantidad de pozos que se incluyen en el estudio, en el Diagrama de Pareto se colocó la frecuencia en el eje de las abscisas para una visualización y comparación de los resultados, que resulte más sencilla.

Como se indica en la Figura 7.30, el menor tiempo neto perforando lo logró el Pozo-26, perforado en el año 5, el cual muestra un tiempo de 5.79 días con un tiempo perdido por problemas de 1,61 días y el mayor tiempo se registró para el Pozo-65 perforado en el año 7, con un total de 17,25 días, con 4.59 días de tiempo perdido. En el año 2 se perforó el Pozo-14 con un tiempo de perforación de 6.24 días y en el cual no se reportaron problemas y por lo tanto, no se perdió tiempo por estas causas. Para ilustrar mejor el aumento o disminución de los tiempos a largo de los cinco períodos de estudio, se elaboró una Tabla Comparativa de los tiempos netos perforando y problemas respecto a la media de la actividad (Tabla 7.3).

Tabla 7.3.-Comparación de los tiempos perforando y problemas respecto a la media

	Media del Tiempo neto Perforando (Días)	Diferencia porcentual respecto a la Media (%)	Media del Tiempo Perdido por Problemas (Días)	Diferencia porcentual respecto a la Media (%)
<b>Año 1</b>	7,2	-5,3	2,1	-38,2
<b>Año 2</b>	6,7	-11,8	2,2	-35,3
<b>Año 5</b>	7,2	-5,3	2,9	-14,7
<b>Año 6</b>	7,6	0	4,7	38,2
<b>Año 7</b>	9,3	22,4	4,2	23,5
<b>MEDIA DE LA FASE</b>	<b>7.6</b>	-	<b>3.4</b>	-

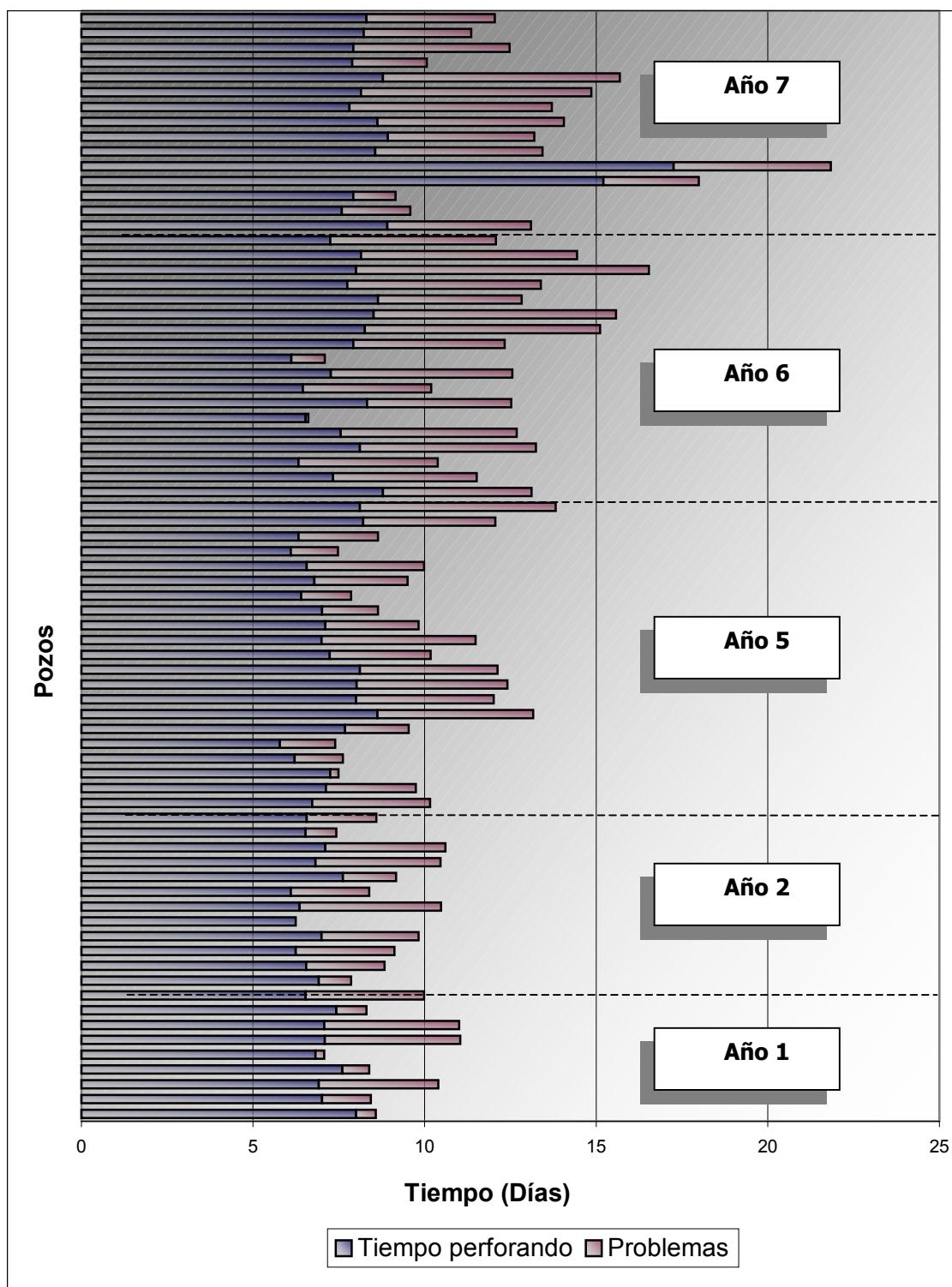


Figura 7.31. Tiempo perforando y perdido por Problemas de la fase Perforación del Hoyo de Producción - Diagrama de Pareto

En la Tabla 7.3 se observa que los tres primeros períodos están bajo el valor promedio. Incluso el año 6 tiene una media igual a la de la actividad, pero en el último año dicho tiempo aumenta en más de 20%. Esto es un aumento exagerado que indica claramente que el proceso se está llevando a cabo ineficientemente. En cuanto al tiempo perdido debido a problemas, se aprecia cómo en los tres primeros años los valores están por debajo de la media, indicando esto que dichas causas se mantienen aceptablemente controladas. No ocurre así en los dos últimos años cuando se evidencia un aumento de hasta 38% con respecto a la media, lo cual no sólo se traduce en una mayor incidencia de problemas durante esta fase, sino que se perdió cualquier capacidad durante esos años de disminuir los tiempos perdidos por problemas.

Para continuar con el seguimiento de esta fase se revisaron la cantidad de mechas utilizadas para llevar a cabo la Perforación del Hoyo de Producción en cada uno de los pozos. Para una mejor perspectiva y un mejor análisis se elaboró un Diagrama de Pareto (Figura 7.31) con la cantidad de mechas utilizadas.

El resultado aportado por el Pozo-39 del año 5, indica que en este se completó la perforación con una sola mecha, en contraposición al Pozo-1 el cual requirió un total de 17 mechas. Es además notable como en los dos primeros años se usaron un alto número de mechas, el promedio de mechas utilizadas para esos dos años es de 12 mechas . En

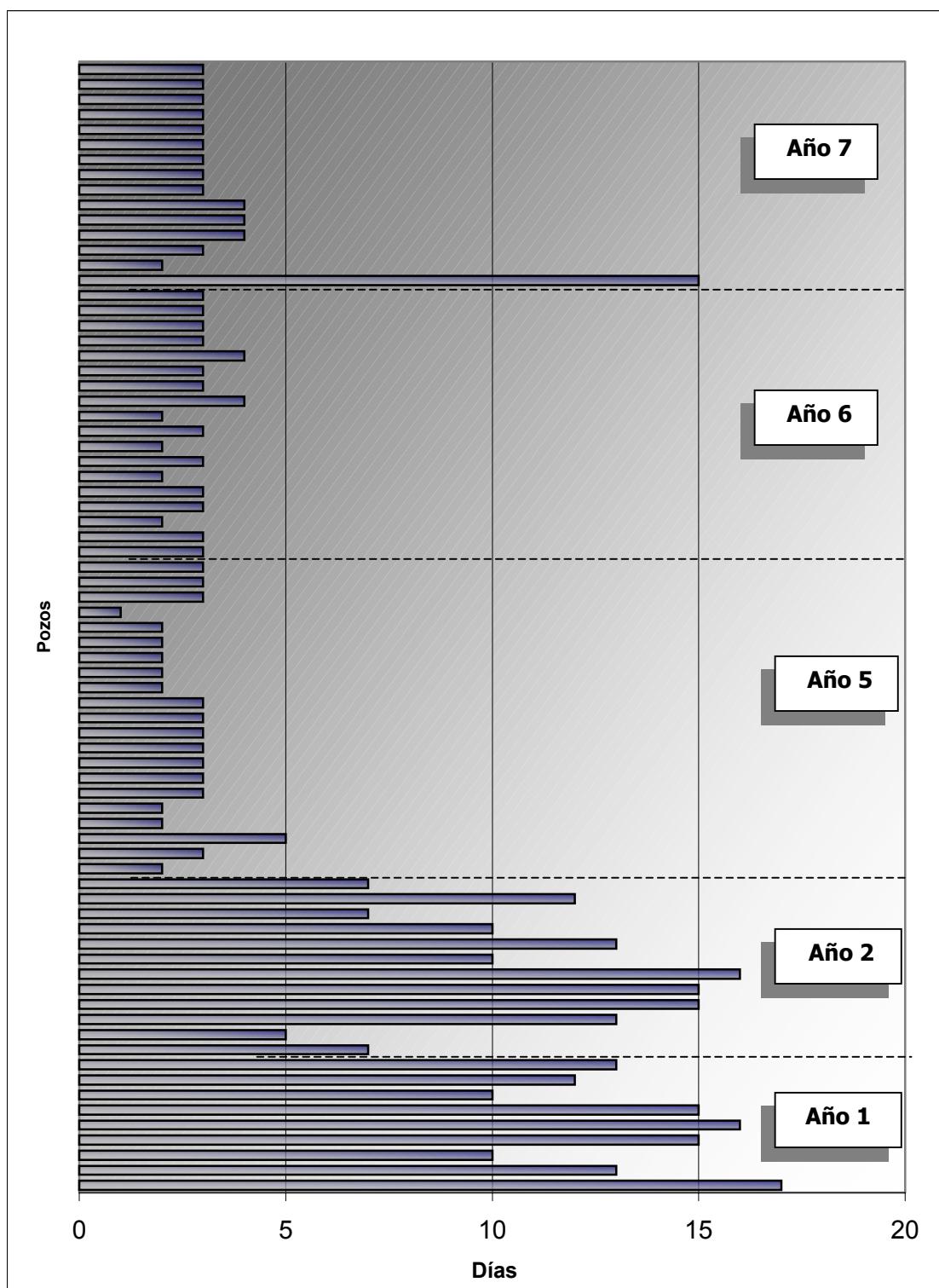


Figura 7.31. Número de mechas usadas por año - Gráfico de barras

cambio, para los tres años restantes, el promedio de mechas usadas es de apenas 3 mechas, con la excepción del Pozo-62 en el cual se utilizaron 15 mechas. A pesar de que la tecnología de las mechas ha ido progresando en estos últimos años, y esto se ve reflejado en la disminución del número de mechas usadas en los tres últimos años, ello no ha sido una razón suficiente para la disminución en los tiempos de perforación. Por el contrario, estos se han incrementado. Aunque algunos de los entrevistados o expertos lo atribuyen a la falta de planificación y adecuada supervisión por parte de la Gerencia de Perforación y los autores de este TEG no pueden ofrecer esta conclusión con apoyo cierto.

#### d.- Circular hoyo

Incluye el tiempo de circulación preventiva antes de sacar la tubería dentro de la etapa de Perforación, también el bombeo de píldoras viscosas para la limpieza del hoyo así como para el tratamiento de los fluidos de perforación. Aunque esta es una actividad simple, se observaron muchas discordancias entre los tiempos de los distintos años, por lo cual fueron graficados y se presentan en el Gráfico de Control para esta Actividad (Figura 7.32).

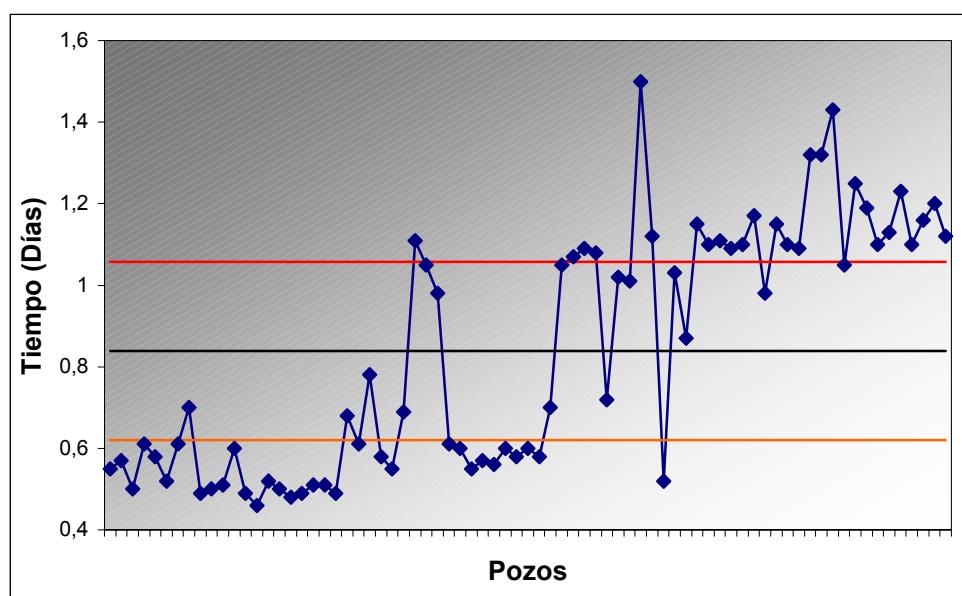


Figura 7.32. Tiempo Circulando Hoyo - Gráfica de Control

Como se analiza en la Figura 7.32 el proceso está totalmente fuera de control, ya que el 81,3% de los pozos registra tiempos fuera de los límites de control, en los tres primeros años el tiempo de circulación del 90% de los pozos está por debajo del valor de la media (0.84 días), y de ese 90% casi el 100% está por debajo de 0.62 días que es el límite inferior de control, mientras que el 10% restante está por encima.

En los dos últimos años los valores comienzan a aumentar y el 75% de los pozos está por encima del límite superior de control (1.06 días), el 18% se encuentra entre el límite superior y la media y sólo el 7% se encuentra por debajo de la media. Aunque teóricamente al usar menos número de mechas la circulación del hoyo deberían disminuir, esto no es lo que está ocurriendo en la realidad, ya que los problemas mas frecuentes de la zona son los arrastres y el atascamiento de tubería. Cada vez que esto sucede, se debe tratar de resolver subiendo la tubería y si esto no funciona, se deben bombear píldoras viscosas para tratar de resolver el problema. Estos problemas antes no eran muy frecuentes, debido a los numerosos cambios de mechas, ya que con cada mecha que se cambiaba se circulaba y repasaba el hoyo y así se eliminaban posibles llaveteros o las patas de perros.

#### e.- Viajes

Como se explicó en la sección de Metodología (Capítulo 5) los viajes se pueden realizar para diversos requerimientos (bajar tubería, sacar tubería, quebrar tubería, etc) pero en general se conocen como la operación de bajar y sacar la tubería, e incluyen también el repaso preventivo del hoyo. Debido a que en los dos primeros años se utilizaban mayor número de mechas, los tiempos utilizados eran mayores, mientras que para los años posteriores este tiempo disminuyó como lo indica la Figura 7.33.

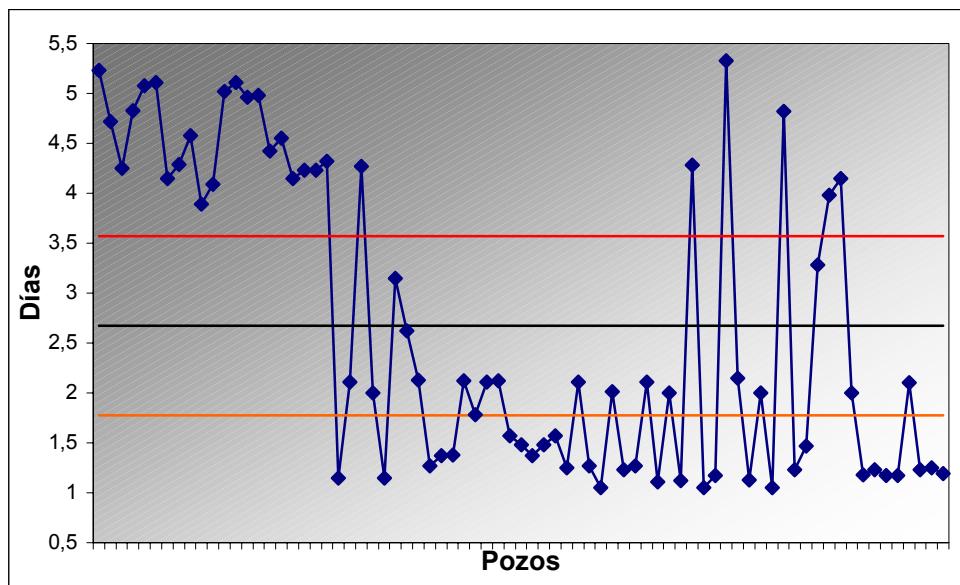


Figura 7.33. **Tiempos de Viaje - Gráfico de Control**

Los resultados que se muestran en la Figura 7.33 son consecuencia directa de la disminución de la cantidad de mechas utilizadas en los últimos tres años. Es notable que los tiempos utilizados en los viajes para el año 1 y 2 están totalmente por encima del límite superior de control de 3.57 días. Esto es debido a la gran cantidad de viajes que se tenían que realizar para cambiar las mechas (hasta 17 mechas para la perforación del hoyo), pero como la rotación de mechas ha disminuido en los últimos 3 años, el tiempo requerido en esta actividad también ha disminuido notablemente hasta alcanzar valores por debajo de 1.77 días, que es el límite inferior de control de la actividad. La media de esta actividad es de 2.67 días. Este valor no implica que la mayoría de los tiempos de los pozos estén cerca de la misma, sino que existe gran cantidad de pozos que culminaron la actividad en tiempos extremos tanto por encima de la media como por debajo de la misma.

#### f.- Sacar tubería

Esta es la actividad con que finaliza la fase de perforación. Consiste en sacar y desconectar la tubería de perforación para dejar listo el pozo para ser completado .El tiempo requerido por esta actividad viene dado por la cantidad de tubos que se extraen

del pozo en una hora y se registran como "juntas por hora" . Al graficar dicho parámetro, resultó en la siguiente gráfica de Control (Figura 7.34).

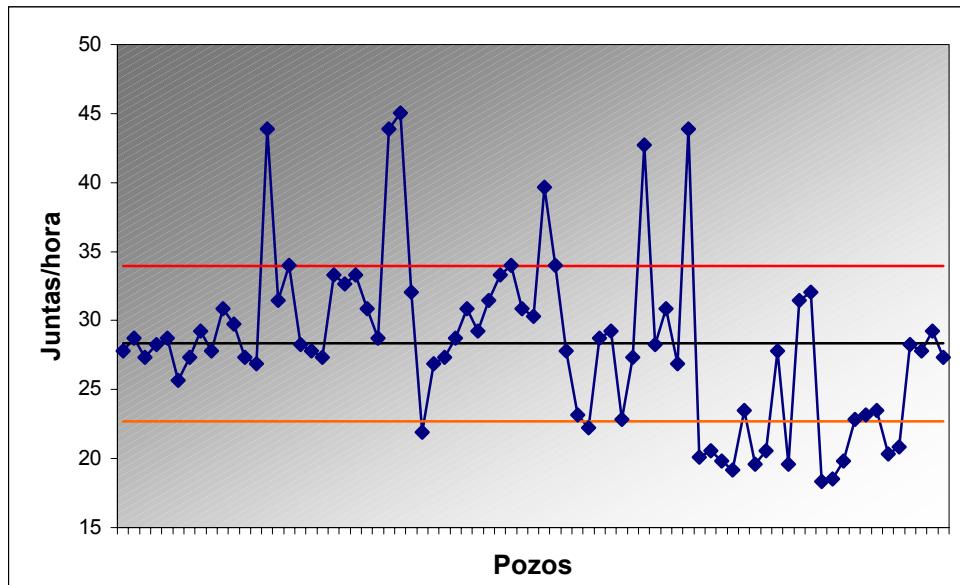


Figura 7.34. **Sacar Tuberías en Juntas por Hora - Gráfico de control**

Esta es una actividad que depende principalmente de la pericia del personal que lo realiza. En la Figura 7.34 se observa cómo en los dos primeros años los valores están alrededor de una media de 28 juntas por hora. Para el año 5, los tiempos se mantienen alrededor de la media pero con un poco más de dispersión. Para los dos últimos años estos valores se alejan de la media, sobrepasando al límite inferior de 23 juntas por hora con algunas excepciones que están por encima del límite superior de 34 juntas por hora, lo que indica la falta de pericia e ineficiencia del personal actual, traduciéndose ello en un mayor tiempo de desconexión de la tubería. El mejor valor registrado fue para el año 5 donde se obtuvo una cifra de 45 juntas por hora, lo que equivale a 1350 pies de tubería por hora y el menor valor fue en el año 7 con sólo 18 juntas por hora, cantidad equivalente a 540 pies de tubería por hora, esta diferencia implica un aumento de cerca de 0.5 días en el tiempo de perforación del hoyo de producción, a una profundidad promedio para toda la muestra de 12000 pies.

Después de realizado el análisis de las actividades que conforman la fase de perforación del hoyo de producción se identificaron las principales causas que generan pérdidas de tiempo en la fase. Esto se logra por medio del Diagrama Causa – Efecto (Figura 7.35), generado durante la la Tormenta de Ideas.

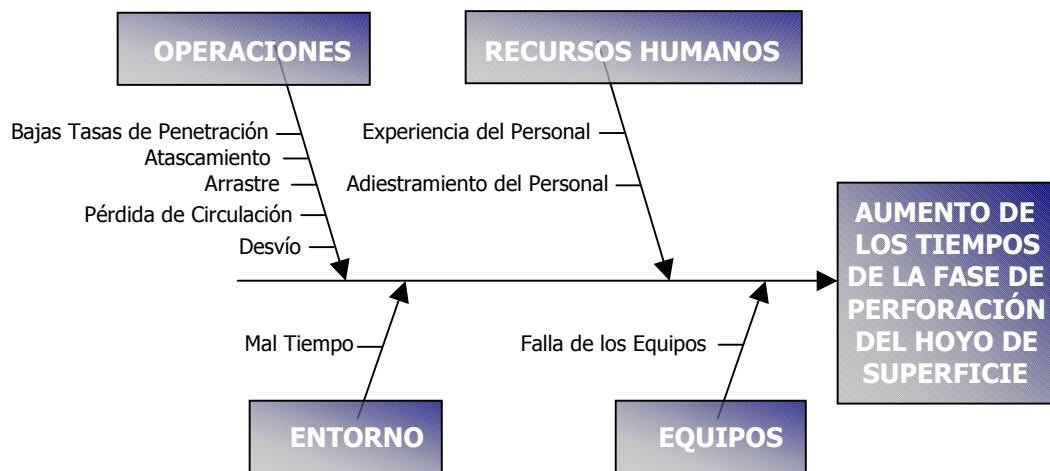


Figura 7.35. **Tormenta de Ideas de la fase de Perforación del Hoyo de Superficie - Diagrama Causa - Efecto**

Para ilustrar estos problemas, se preparó un Diagrama de Pareto (Figura 7.36) de los inconvenientes mas frecuentes que se presentan en el área bajo estudio.

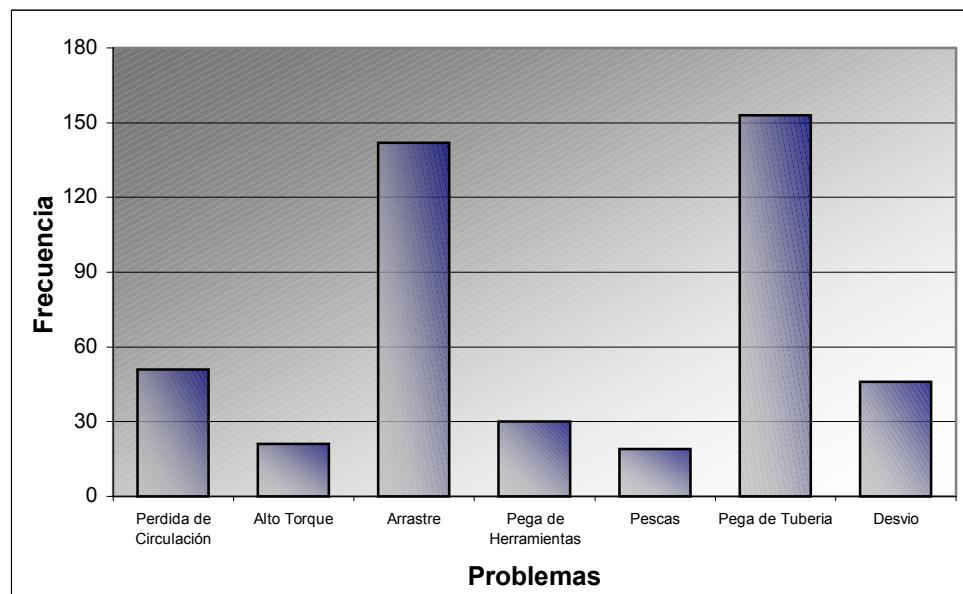


Figura 7.36.- **Problemas de la fase de Perforación del Hoyo de Producción - Diagrama de Pareto**

Como se puede observar a través de la Figura 7.36 anterior los principales problemas de la zona son los arrastres y atascamientos de tubería que representan el 64% de todos los problemas registrados en el área. Estas causas se presentan principalmente en los pozos de los años 5,6 y 7 y se deben a que en estos pozos se disminuyó el número de mechas utilizadas. Por lo tanto, al disminuir el número de mechas también se disminuye el número de repasos, que es el principal correctivo para el arrastre y previene el atascamiento de la tubería (para una descripción más detallada de los problemas del Área de Estudio, se remite al lector al Anexo 8). Estos problemas tenían poca ocurrencia en los pozos de los dos primeros años, cuando el número de mechas usados era mucho mayor, provocando así un mayor número de viajes y repasos al hoyo, disminuyendo a casi cero los atascamientos. Por lo tanto, la principal causa de estos problemas es la falta de supervisión en cuanto a los esfuerzos al sacar o meter la tubería del hoyo, en las propiedades del lodo y en el ensamblaje de fondo. A continuación la pérdida de circulación y los desvíos ocupan un 21 % de los problemas de la fase. Estos problemas están igualmente presentes con mayor frecuencia en los años 5,6 y 7 y se deben principalmente a la falta de supervisión continua de las operaciones de perforación. En último lugar de ocurrencia se encuentran el atascamiento de herramientas, alto torque y pescas de objetos del hoyo con un 15%. Estas causas estuvieron presentes en todos los años e igualmente son problemas debidos a la falta de supervisión del personal del taladro.

## **7.5. FASE DE EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y PETROFÍSICA**

Es necesario aclarar que esta fase se divide en dos etapas, ya que en la perforación de un pozo se toman registros a hoyo abierto (antes de correr revestimiento) y a hoyo entubado (después de correr el revestimiento). Los registros a hoyo abierto son principalmente para determinar qué tipo de formación se está perforando y con qué fluidos se está entrando en contacto y también para conocer la geometría del hoyo antes de bajar el revestidor y los registros a hoyo entubado sirven para determinar el estado del cemento y del revestidor.

A continuación se presenta la gráfica de tendencia (Figura 7.37) donde se grafican los tiempos promedios para cada año del estudio de esta fase. Como se explicó anteriormente, estos tiempos incluyen los perfiles realizados a hoyo abierto y a hoyo entubado.

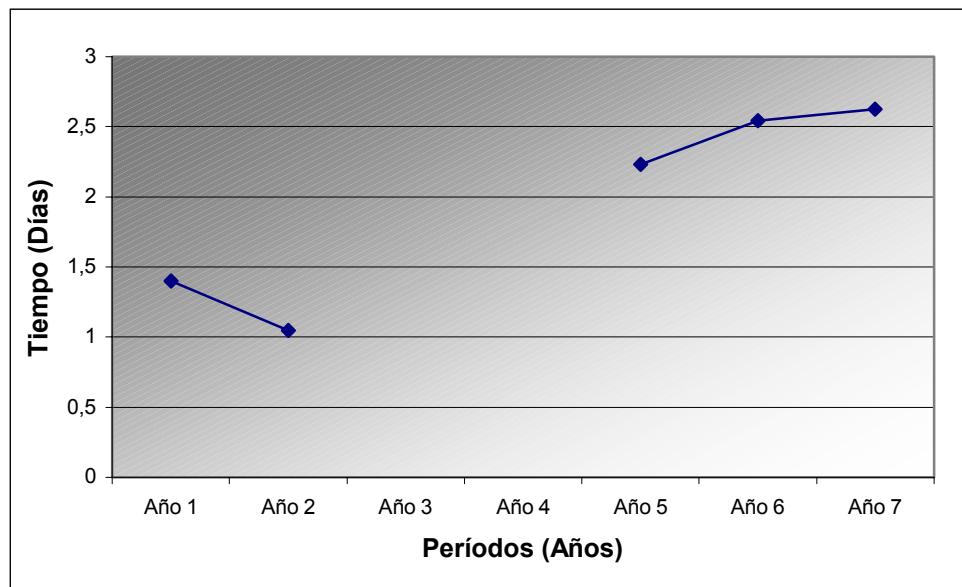


Figura 7.37. **Tiempo promedio por año de la fase de Evaluación Geológica y Petrofísica - Gráfico de Tendencia**

Es evidente que se sigue repitiendo la misma tendencia de todas las fases del proceso, lo que indica la presencia de desperdicios en el sistema. Analizando detalladamente los tiempos se observa que para el año 2 se registra el menor tiempo con 1.05 días mientras que el mayor valor registrado fue en el año 7 con un total de 2.63 días. Con estos dos tiempos es claro el aumento excesivo en esta operación. Es conveniente aclarar que aunque para todos los pozos no se realizan ni el mismo número de perfiles ni los mismos tipos de registros, estos aumentos son excesivos, ya que los avances tecnológicos han llevado a las compañías encargadas de los registros a desarrollar equipos más eficientes, lo que debería traducirse en disminución de los tiempos de operaciones.

Según el Histograma de Frecuencia (Figura 7.38) esta fase se realiza con mayor frecuencia entre 2.49 días y 2.88 días, pero además muestra que en el 47% de los pozos realizó la fase de manera más eficiente.

Por su parte, el Gráfico de Control (Figura 7.39) indica que el 20% de los pozos está por debajo de 1.44 días, que es el límite inferior de control, que otro 20% está por encima de 2.80 días, que es el límite superior de control y que el restante 60% se encuentra bastante cerca de la media (2.12 días).

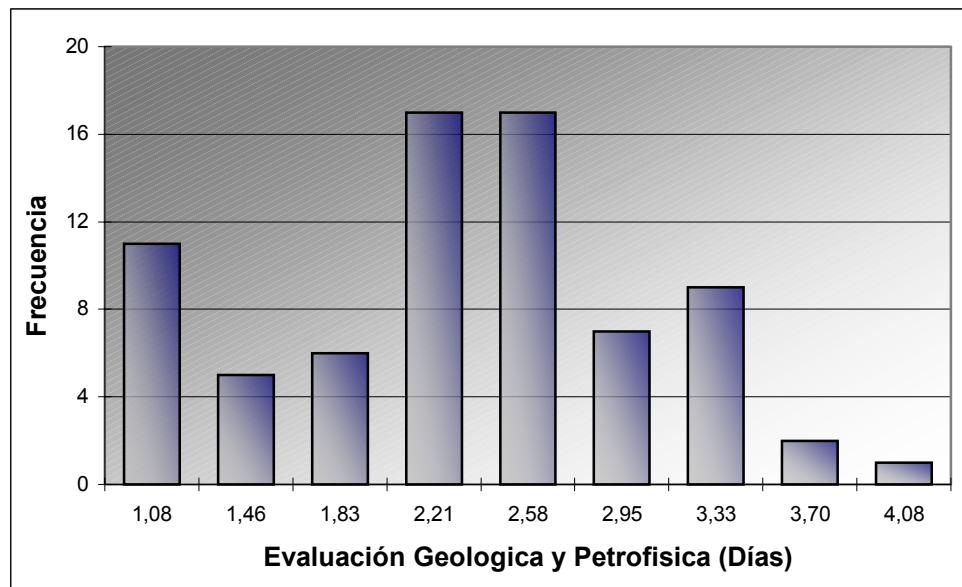


Figura 7.38. **Fase de Evaluación Geológica y Petrofísica**  
**Histograma de Frecuencia**

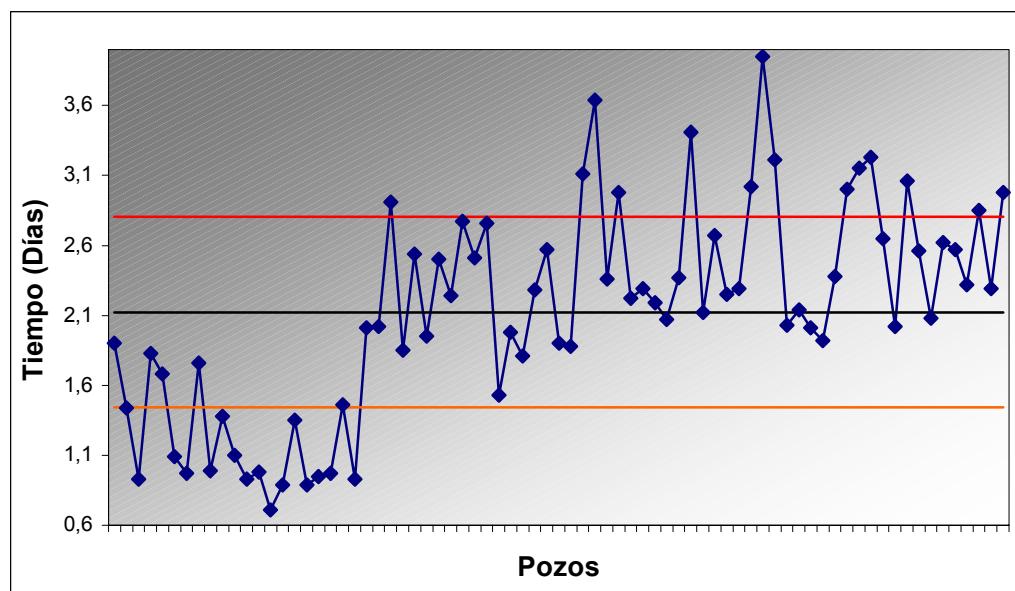


Figura 7.39. **Tiempos de la fase de Evaluación Geológica y Petrofísica**  
**Gráfico de Control**

Para esta muestra, el menor tiempo registrado fue en el año 2 con un total de 0.71 días y el máximo tiempo se registró en el año 6 con un total de 3.95 días, lo que implica un aumento de más de 3 días y sólo tomando en cuenta estos dos valores se observa como esta fase se ha hecho muy ineficiente y ha contribuido al aumento global de los tiempos de construcción de los pozos. En este sentido se procedió a dividir y graficar los tiempos en productivos y no productivos (Figura 7.40) y analizar mejor su comportamiento.

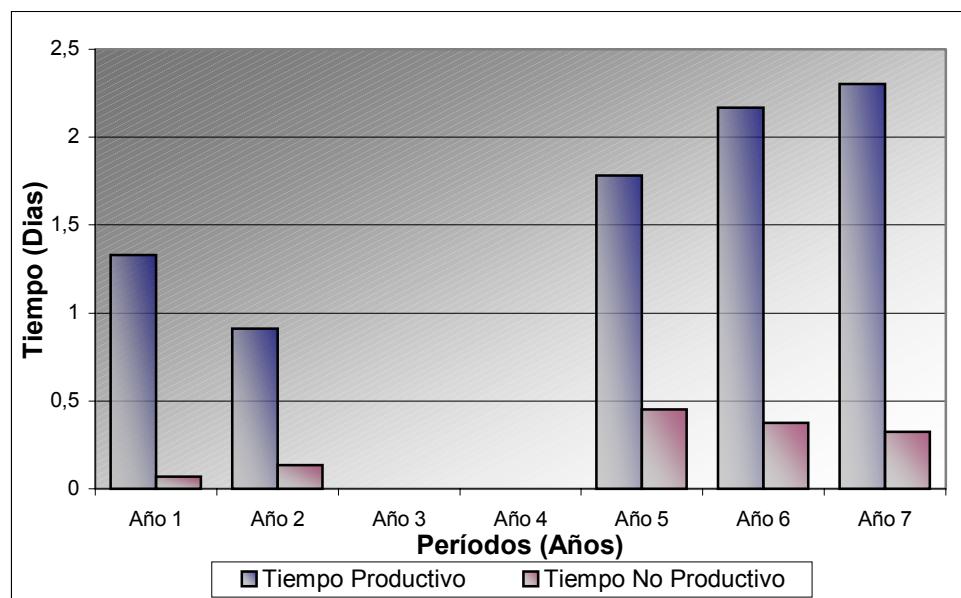


Figura 7.40. **Tiempos productivos y no productivos de la fase de Evaluación Geológica y Petrofísica - Diagrama de Pareto**

Como lo muestra la Figura 7.40, se aprecia que tanto los tiempos productivos como los no productivos han ido aumentando en los años 5, 6 y 7. El menor tiempo productivo registrado fue en el año 2 donde se utilizaron 0.91 días promedio, y el mayor tiempo se obtuvo en el año 7 donde el tiempo fue de 2.30 días, más del doble. Por otra parte, en cuanto a los tiempos no productivos el menor obtenido fue en el año 1 con un total de 0.1 días y el mayor obtenido fue en el año 5 con 0.45 días, casi cinco veces más ineficiente.

Generalmente, esta fase de registros o perfiles es realizada por compañías de servicios especializadas contratadas para dicha labor. Por lo tanto, las cuadrillas del taladro no tienen mucha experiencia en esta área y en muchos casos sólo se limitan a observar. Debido a esto, en las encuestas realizadas no se logró recabar suficiente información al

respecto como para elaborar una Tormenta de Ideas y con esta realizar el Diagrama Causa - Efecto que ayudaría a identificar las causas. Por ello, únicamente se contó con la información aportada por los Sumarios de Operación y con los Resúmenes de Operación de los pozos para elaborar un Diagrama de Pareto (Figura 7.41) con los principales problemas reportados y su frecuencia.

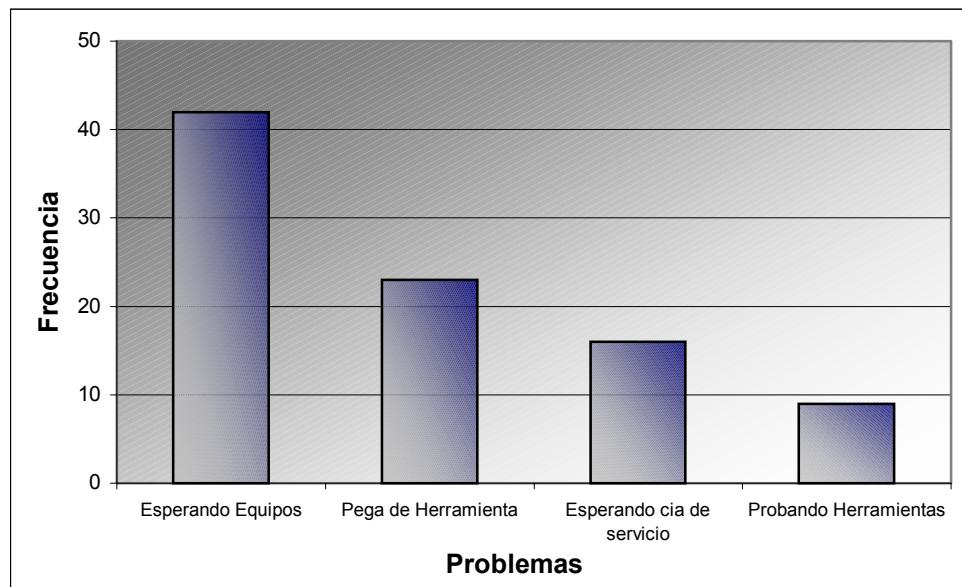


Figura 7.41. Problemas en la fase de Evaluación Geológica y Petrofísica - Gráfico de Pareto

En la Figura 7.41 se observa que los dos problemas asociados a "espera" son: )esperando por equipos y por compañía de servicios), con más del 70% de ocurrencia. Ambos son problemas que se pueden solventar con una buena planificación. Por otra parte, se encuentra el atascamiento de tubería. Esto se debe principalmente a la falta de supervisión, ya que normalmente la razón del atascamiento de las herramientas es la reducción del diámetro del hoyo y para bajar una herramienta al fondo debe ser condición indispensable conocer el diámetro del hoyo a todo lo largo del mismo.

## 7.6. FASE DE REVESTIMIENTO DEL HOYO DE PRODUCCIÓN

Esta fase es más susceptible a sufrir ineficiencias que la fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie, debido a que las profundidades de asentamiento del revestidor son mucho mayores. Mientras que en el de superficie las profundidades promedio eran de 2000 pies, en el revestimiento de producción están alrededor de 12000 pies (ver Anexo 7). Por lo tanto, la cantidad de tubos son mayores al igual que la profundidad recorrida. Igualmente ocurre con la actividad de la cementación, en la que los volúmenes de cemento son mayores y además se le adiciona el factor de mayores temperaturas y mayores presiones. Ambas alteran las propiedades del cemento y por lo tanto, esto debe ser tomado en cuenta. Siguiendo el mismo enfoque de las fases anteriores, inicialmente se realizó el gráfico de tendencia (Figura 7.42) para revisar cómo es el comportamiento de esta fase.

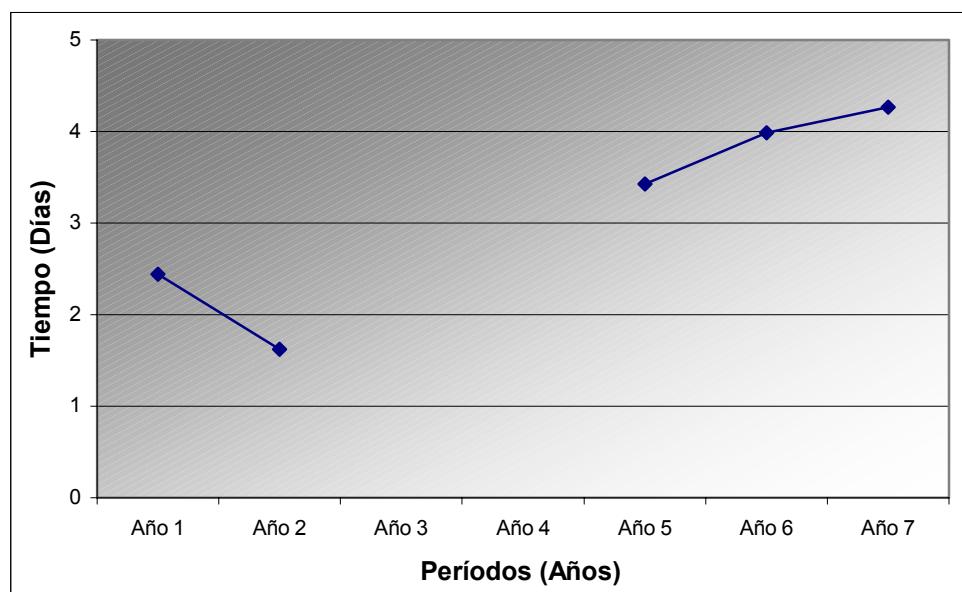


Figura 7.42. **Tiempo promedio por año de la fase de Revestimiento del Hoyo de Producción - Gráfico de Tendencia**

En el análisis de la gráfica anterior se observa claramente cómo el tiempo promedio por año ha ido aumentando. Tanto así, que la fase se realiza con mayor frecuencia y en tiempos mayores a los que se pueden considerar como tiempos óptimos o por lo menos los más eficientes (Figura 7.43).

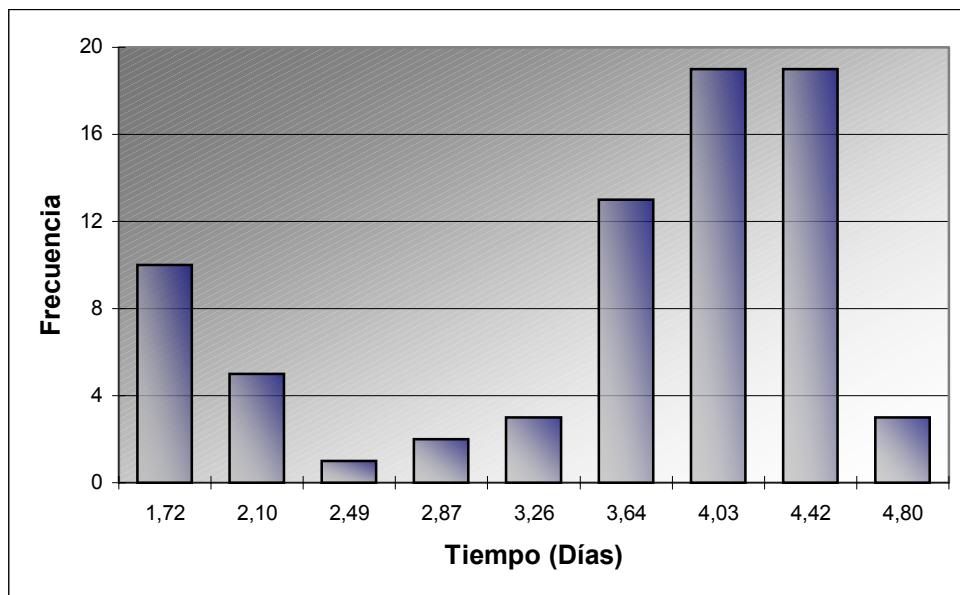


Figura 7.43.- **Fase de Revestimiento del Hoyo de Producción**  
**Histograma de Frecuencia**

Esto significa que, a pesar de que han aparecido en el mercado nuevas técnicas, equipos y materiales nuevos, la operación a lo largo del tiempo se ha hecho cada vez menos eficiente. Para corroborar lo reflejado por las gráficas anteriores, se elaboró la gráfica de control (Figura 7.44) a fin de verificar estas observaciones.

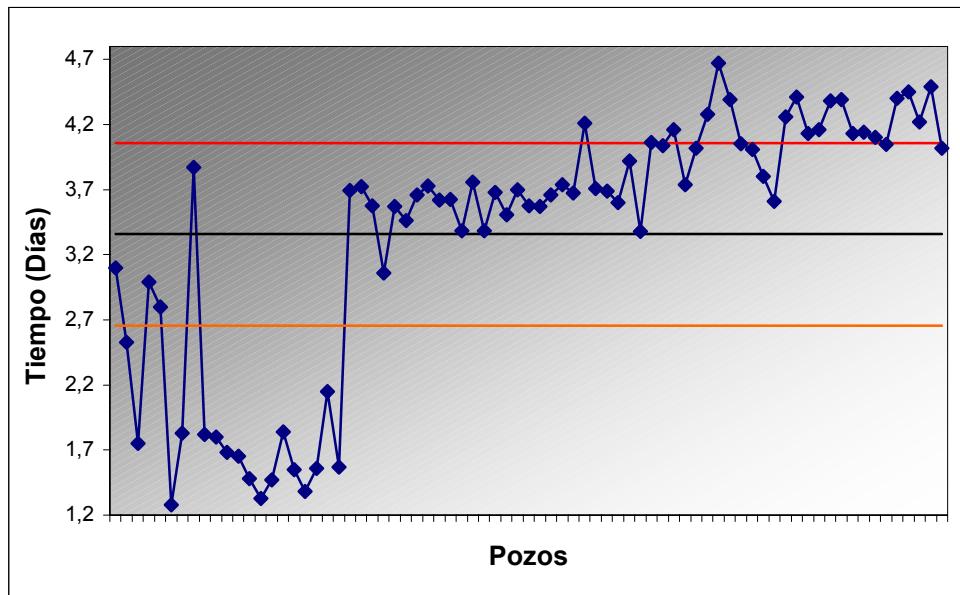


Figura 7.44. **Tiempo de la fase de Revestimiento del Hoyo de Producción**  
**Gráfico de Control**

El comportamiento que se muestra en la Figura 7.44 indica que la fase se encuentra fueras de control y confirma la tendencia al aumento de los tiempos como lo mostró la gráfica 7.42. Analizando detalladamente se encontró que en los 2 primeros años el 81% de los tiempos de los pozos de esos años están por debajo del límite de control inferior (2.66 días) y el 19% restante está por encima de él y el menor tiempo registrado de finalización de la fase fue de 1,28 días. Para los años, 5 y 6 el 84% de los pozos se encuentran entre el límite de control superior (4.06 días) y la media del proceso (3.36 días), el 13% está por encima del límite superior de control y apenas el 3% está entre la media y el límite de control inferior. En ese período se registró el mayor tiempo para finalizar la fase y este fue de 4,67 días. El último período que corresponde al año 7, posee el 93% de los pozos por encima del límite superior de control. Apenas un solo pozo está por debajo de dicho límite, es evidente entonces la presencia de desperdicios en la fase. Para discriminar el desperdicio presente se procedió a graficar los tiempos productivos y no productivos registrados para la fase de revestimiento del hoyo de producción (Figura 7.45).

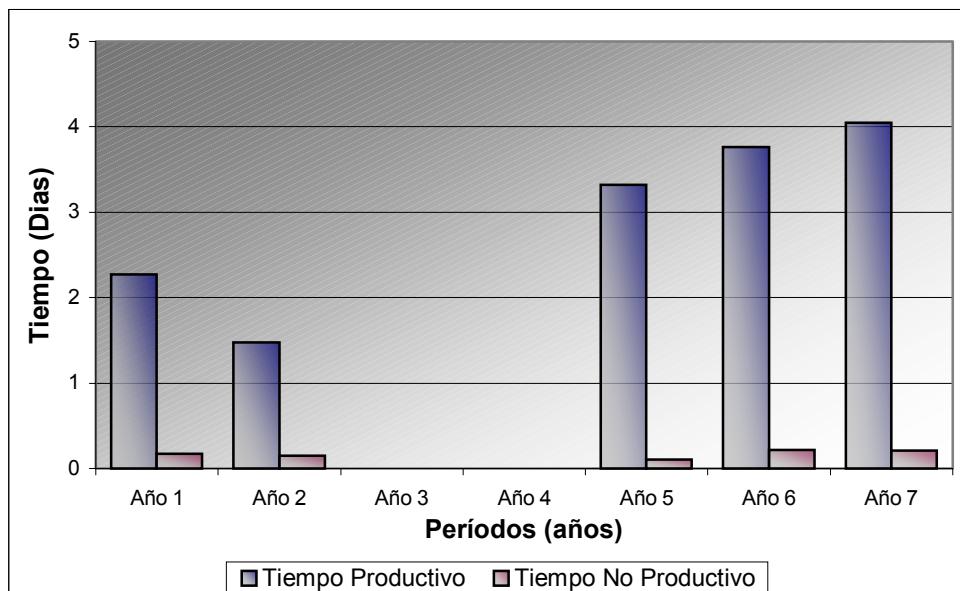


Figura 7.45. Tiempo productivo y tiempo no productivo de la fase de Revestimiento del Hoyo de Producción - Diagrama de Pareto

En los 2 primeros períodos de tiempo (año 1 y 2) los tiempos productivos son mucho más bajos que para los 3 últimos períodos (años 5, 6 y 7). No así, los tiempos promedios no productivos que se mantienen en el mismo rango, traduciéndose esto en que los

aumentos son debido a actividades planificadas, las cuales han aumentado las ineficiencias. El menor promedio de tiempo productivo se registró para el año 2 con un total de 1.48 días, mientras que el mayor valor promedio para el período 2 en el año 5 con 3.32 días, es decir más del doble del valor. En cuanto a los tiempos no productivos, la variación no es mayor de 0.1 días, valor que es despreciable en comparación con tiempos de otras fases.

Ya comprobada la existencia de desperdicios en la fase, la identificación de las causas se investigó utilizando una Tormenta de Ideas extraída de las encuestas y de los Sumarios de Operaciones, los cuales culminaron en un Diagrama Causa - Efecto (Figura 7.46):

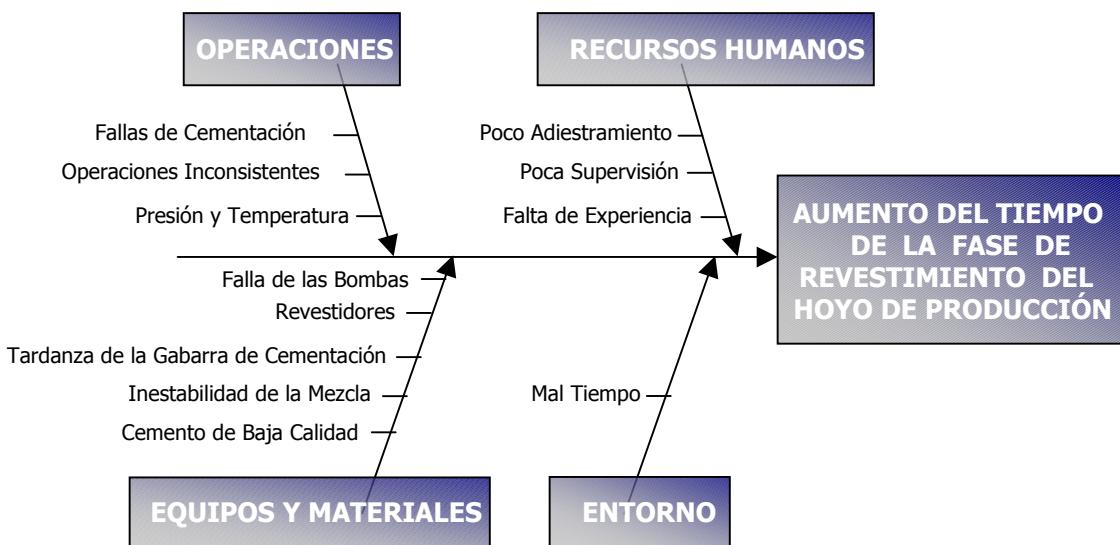


Figura 7.46. **Tormenta de Ideas de la fase Revestimiento del Hoyo de Producción - Diagrama Causa-Efecto**

Como se observa en el Diagrama Causa-Efecto que se encuentra en la Figura 7.46,, la actividades más mencionadas de la fase, y por ende la más susceptible a fallas son las referentes a la etapa de cementación. Por lo tanto, el mayor número de problemas de esta fase es debido a esta etapa como lo refleja el Diagrama de Pareto, elaborado en base a los Sumarios de Operaciones de los pozos. (Figura 7.47).

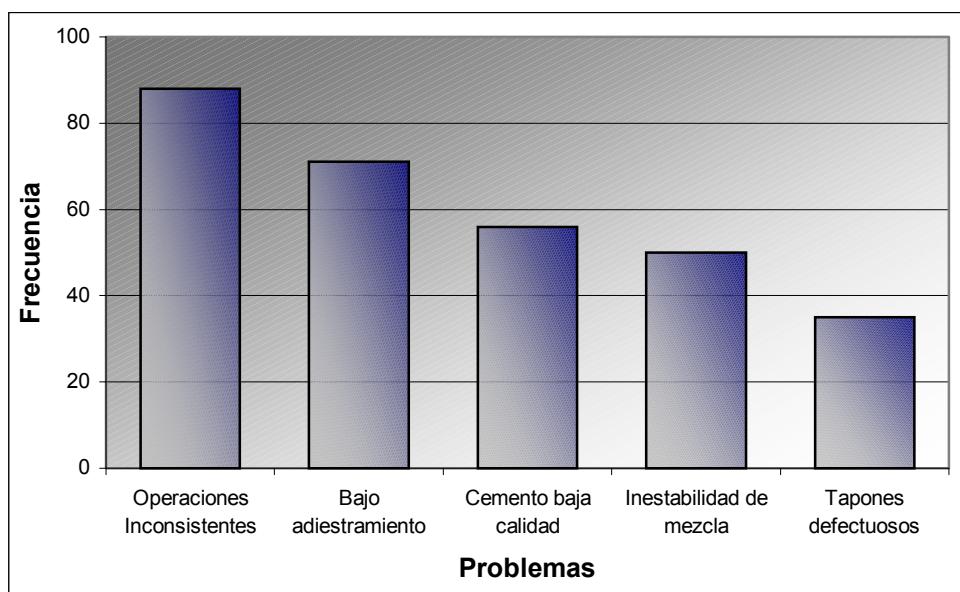


Figura 7.47. **Problemas en la fase de Revestimiento del Hoyo de Producción**  
**Diagrama de Pareto**

Según el diagrama anterior, en primer lugar, se encuentran las operaciones inconsistentes con una frecuencia del 29%, esto hace suponer que los métodos no son estándar ni están preestablecidos y que lo más posible es que se improvise sobre la marcha, lo que causa que se cometan errores que ocasionan pérdidas de tiempo, entonces se hace evidente la falta de planificación para generar un procedimiento normalizado. La siguiente causa más frecuente es la falta de adiestramiento del personal, la cual es recurrente en todos las fases del proceso, este problema abarca un 24% de frecuencia, que a su vez es causante de las operaciones inconsistentes. Una evidencia de que la falta de pericia del personal aumenta las ineficiencias de la fase es el aumento del tiempo invertido en la actividad de correr el revestidor, que consiste en armar junta por junta el revestidor y bajarlo hasta la profundidad de asentamiento. Para todos los pozos se normalizó en 12000 pies, así lo demuestra la gráfica de tendencia de la actividad (Figura 7.48), que indica que se desmejoró la actividad en más del 33% entre el primer año y el séptimo año, ocasionando así 0.38 días promedios de aumento en el tiempo de la actividad.

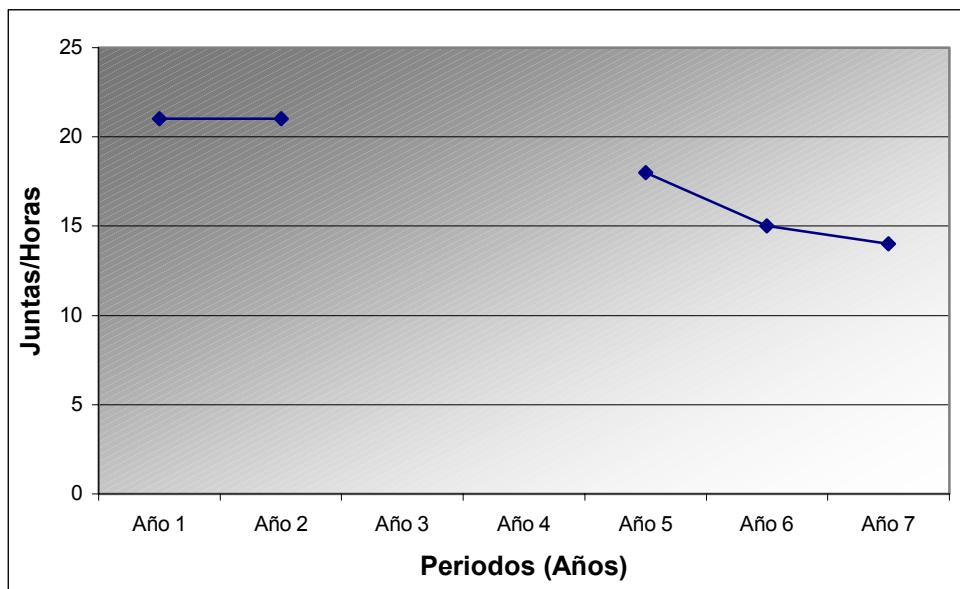


Figura 7.48. **Tiempo promedio de Corrida del Revestimiento del Hoyo de Producción en Juntas por Hora - Grafico de Tendencia**

En tercer y cuarto lugar del Diagrama de Pareto de la Figura 7.47 se encuentran el cemento de baja calidad y la inestabilidad de la mezcla, con un porcentaje de frecuencia de 19% y 17%, respectivamente. En cuanto a la primera ello es sinónimo de falta de supervisión y estudio de la mezcla, ya que esta debe ser previamente probada para comprobar que cumple con los requerimientos exigidos. Caso similar ocurre con la inestabilidad de la mezcla, a la cual se le deben hacer una serie de pruebas en el laboratorio antes de ser usadas en el pozo. Por último, se encuentra con un 11% de ocurrencia, los tapones defectuosos, los cuales, son generalmente consecuencia de la falta de supervisión de los equipos utilizados en la fase.

## 7.7. FASE DE COMPLETACIÓN

La Completación es la última fase del Proceso de Construcción de Pozos. Esta da paso al proceso de producción del mismo. Dicha fase comprende una actividad sumamente compleja y delicada como lo es el asentamiento de la empacadura. De esta actividad depende que dicha fase se culmine con éxito. En los 75 pozos estudiados no se hallaron

problemas asociados a esta fase, aunque los tiempos en los tres últimos años han ido en aumento, como lo indica la siguiente Gráfica de Tendencia (Figura 7.49)

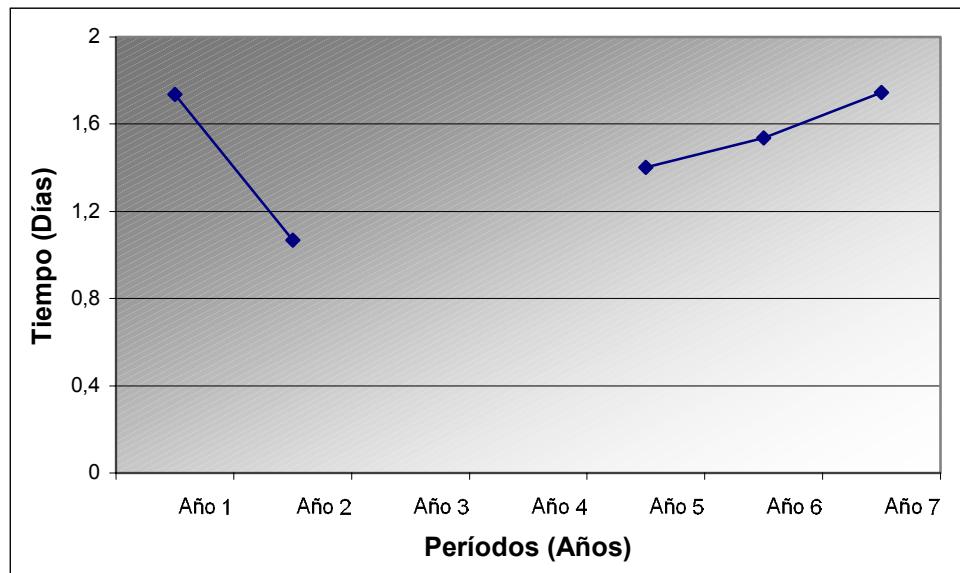


Figura 7.49. **Tiempos promedio por año de la fase de Completación**  
**Gráfico de Tendencia**

Aunque se observa que la tendencia en los últimos tres años es hacia el aumento, los tiempos se encuentran en un rango aceptable, ya que los mayores tiempos promedio registrados para la fase (1.74 días) se encuentran en los períodos extremos del estudio (años 1 y 7). El resto de los tiempos promedio calculados están por debajo de este valor, siendo en el año 2 donde se registró el menor tiempo promedio con un total de 1.07 días. Para investigar cuál es el estado de la fase, se procedió a realizar la Gráfica de Control (Figura 7.50) de los tiempos de completación de los 75 pozos que comprenden la muestra.

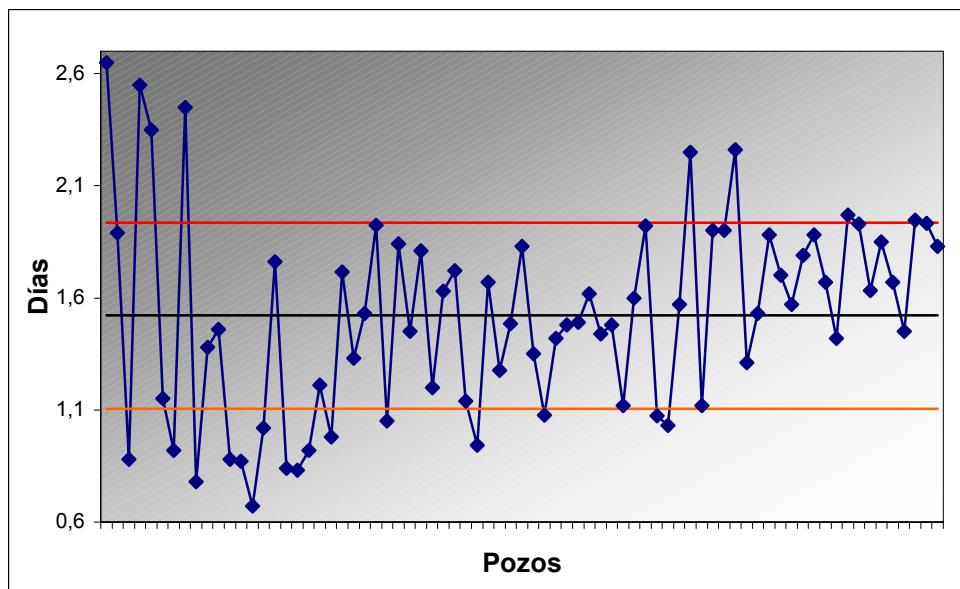


Figura 7.50. Tiempos de la fase de Completación - Gráfico de control

Como lo indica la gráfica anterior, la fase se encuentra fueras de control, ya que existen pozos que están por encima y por debajo de los límites de control. A pesar de esto, la fase es una de las más homogéneas de todas las fases antes analizadas, ya que la mayoría de los pozos registran tiempos bastante cercanos a la media (1.52 días) a lo largo de todo el período de tiempo estudiado. Apenas un 9% del número total de pozos se encuentra por encima del límite de control superior (1.94 días), un 21% por debajo del límite de control inferior (1.10 días) y el resto de los pozos se encuentran oscilando por encima y por debajo del valor de la media. Este considerable porcentaje de 21% de los pozos que se encuentran por debajo del límite inferior de control indica que la fase se puede llevar a cabo con mayor eficiencia.

Como queda demostrado en el Histograma de Frecuencia de la fase (Fig. 7.51), la mayoría de los casos analizados se ubican en el centro de la distribución, pero una parte importante de la muestra registra tiempos menores a los de la mayoría. Esto implica que la fase tiene ineficiencias que deben ser identificadas y eliminadas en la medida de lo posible.

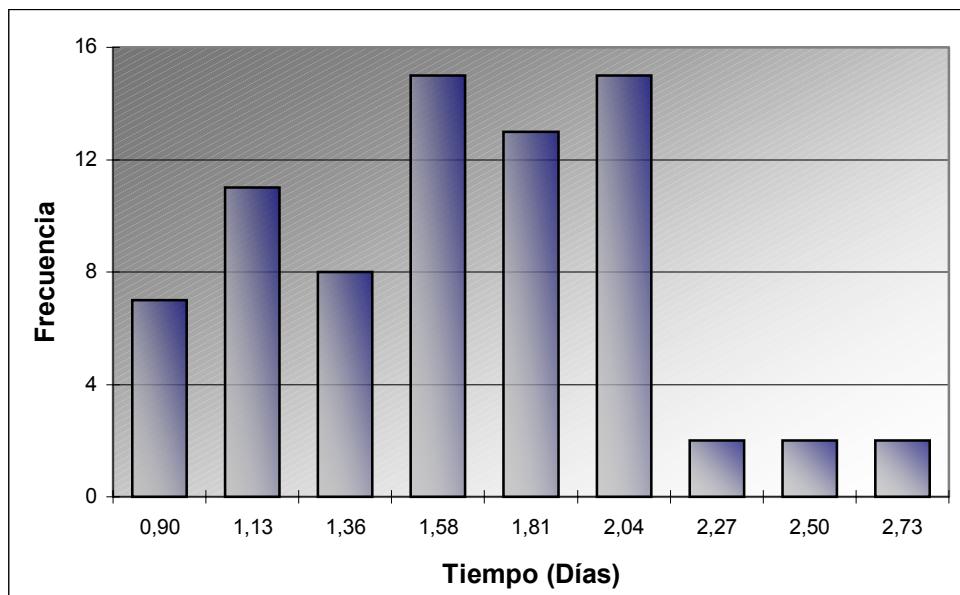


Figura 7.51. Fase de Completación - Histograma de Frecuencia

Siguiendo con la metodología utilizada para el análisis de los resultados, se estudió el Diagrama de Pareto que ilustra los tiempos productivos y no productivos de la fase denominada Completación (Figura 7.52).

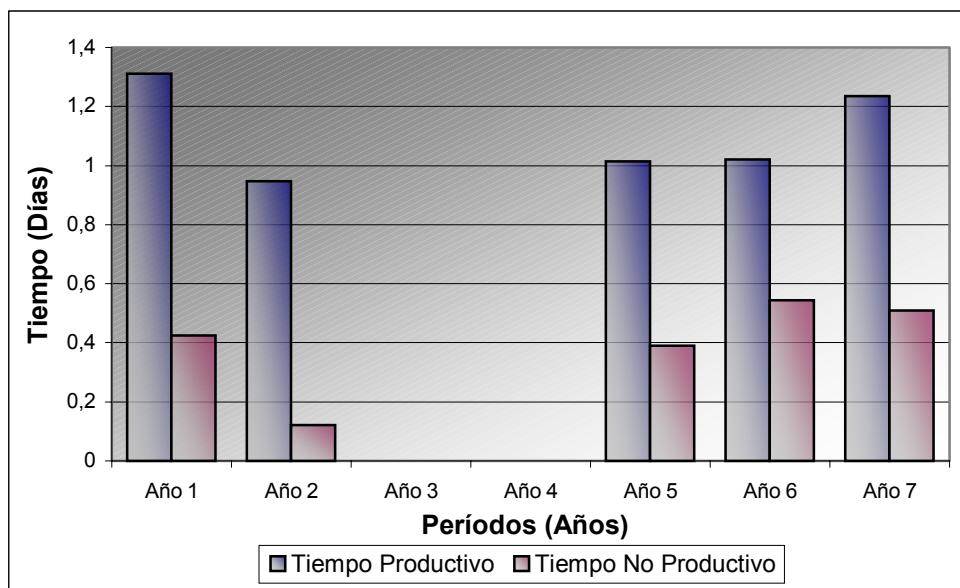


Figura 7.52. Tiempos productivos y no productivos promedio por año  
Para la fase de completación - Diagrama de Pareto

La Figura 7.52 muestra que a pesar de que la tendencia de la fase no experimenta aumentos abruptos en los tiempos de ejecución, las ineficiencias han desmejorado la curva natural de aprendizaje de la fase, ya que como indica el diagrama, el tiempo productivo de las operaciones tiende a disminuir aunque en el año 7 sufra un aumento de 0.2 días, problemas han ocasionado que la fase mantenga tiempos promedios constantes. Por lo tanto, si se logra disminuir estos desperdicios, la fase evolucionaría hacia la eficiencia máxima.

Como se indicó al comienzo de este punto, los Sumarios de Operaciones no reportan mayores inconvenientes en esta fase y ello queda reflejado de igual manera en la Tormenta de Ideas, donde los problemas mencionados se limitan a tres, como lo muestra el Diagrama Causa – Efecto (Figura 7.53):

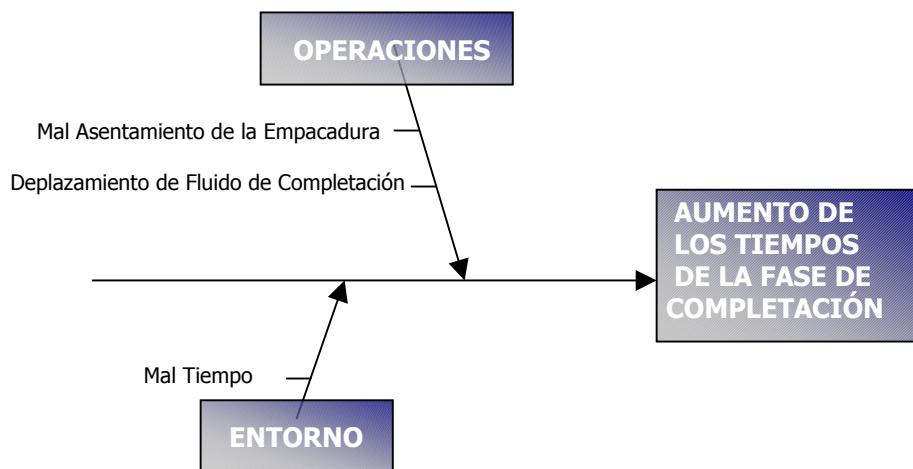


Figura 7.53. **Tormenta de Ideas de la fase de Completación**  
**Diagrama Causa - Efecto**

El diagrama de la Figura 7.53 confirma que los problemas de esta fase son muy pocos y se limitan al asentamiento de la empacadura, que se considerada la actividad más delicada y necesita de personal con mucha experiencia para desarrollarla sin inconvenientes, en cuanto al cambio de fluido, no se refiere a un problema como tal sino a una condición de las operaciones que podría mejorarse según los encuestados. La mejora de esta actividad consistirá en desplazar el cemento con el fluido que se va a completar.

## 7.8. CONDICIONES AMBIENTALES

Debido a que esta causa de fuerza mayor, descrita en la Metodología (punto 5.4.1.2), afecta a todas las fases del proceso, se decidió analizar las posibilidades de disminuir el tiempo perdido por esta circunstancia. Se cree que es posible atenuar esta causa debido a que en la recopilación de los datos de los 75 pozos se observó que los que se construían con gabarras tipo Tender sufrían menos retrasos por el mal tiempo que aquellos donde las gabarras utilizadas son Integrales. El Diagrama de Pareto (Figura 7.54) que se muestra a continuación indica la distribución de los distintos tipos de gabarras utilizadas en los pozos de la muestra.

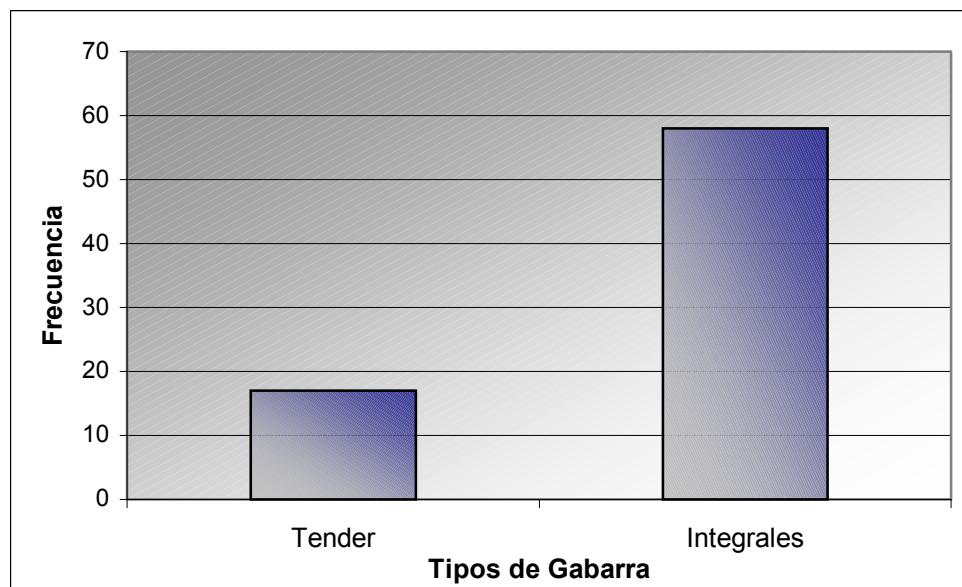


Figura 7.52. Distribución de los Tipos de Gabarras dentro de la Muestra - Diagrama de Pareto

Las gabarras Integrales son las más usadas en el área de estudio con más del 73% de frecuencia. En el siguiente Diagrama de Pareto es donde mejor puede observar cómo las condiciones ambientales afectan con mayor incidencia a las operaciones realizadas por gabarras Integrales, ya que se graficó el tiempo perdido por pozo por mal tiempo para cada tipo de gabarra (Figura 7.53).

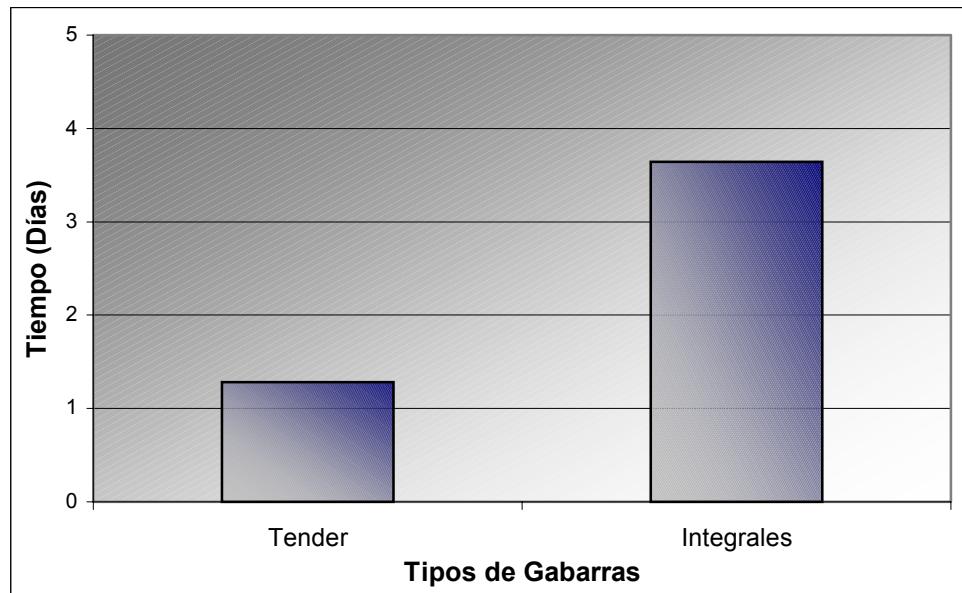


Figura 7.53. **Pérdidas por Mal Tiempo por Pozo para cada tipo de Gabarra - Diagrama de Pareto**

La Figura 7.53 cómo se duplica el tiempo perdido por mal tiempo en las gabarras Integrales con respecto a otro modelo. Al ser consultados los 5 ingenieros de taladros, a través de las encuestas, se obtuvo que la matriz de opinión indicó que al estar la cabria integrada a la gabarra, cada vez que las condiciones ambientales (vientos, marullos, etc) mueven la gabarra las operaciones deben ser suspendidas por falta de estabilidad, a diferencia de la gabarra Tender o Jack – Up, las cuales están asentadas en pilotes o patas respectivamente.

Además, las encuestas revelaron que la motivación del personal que opera la gabarra, al momento de presentarse las condiciones adversas, también es de suma importancia. Cuando el personal está motivado soporta más dificultades que si no lo está.

## 7.9. SIMULACIÓN DEL PROCESO MODELO

La simulación del proceso modelo consistió en elaborar una Curva de Progreso basada en la marca de la primera clase de cada fase (Tabla 7.4).

Tabla 7.4. Marca de la primera Clase de cada fase

Fases	Marca de Clase (Días)
Mudanza	1,14
Perforación del Hoyo de Superficie	0,44
Revestimiento del Hoyo de Superficie	0,61
Perforación del Hoyo de Producción	12,03
Evaluación Geológica y Petrofísica	0,90
Revestimiento del Hoyo de Producción	1,53
Completación	0,79
Tiempo Total	17,44

Estas “marcas de clases” proporcionan el perfil de un proceso modelo óptimo con un total de 17.44 días que se desarrollaría según la curva de progreso que se muestra a continuación (Figura 7.54):

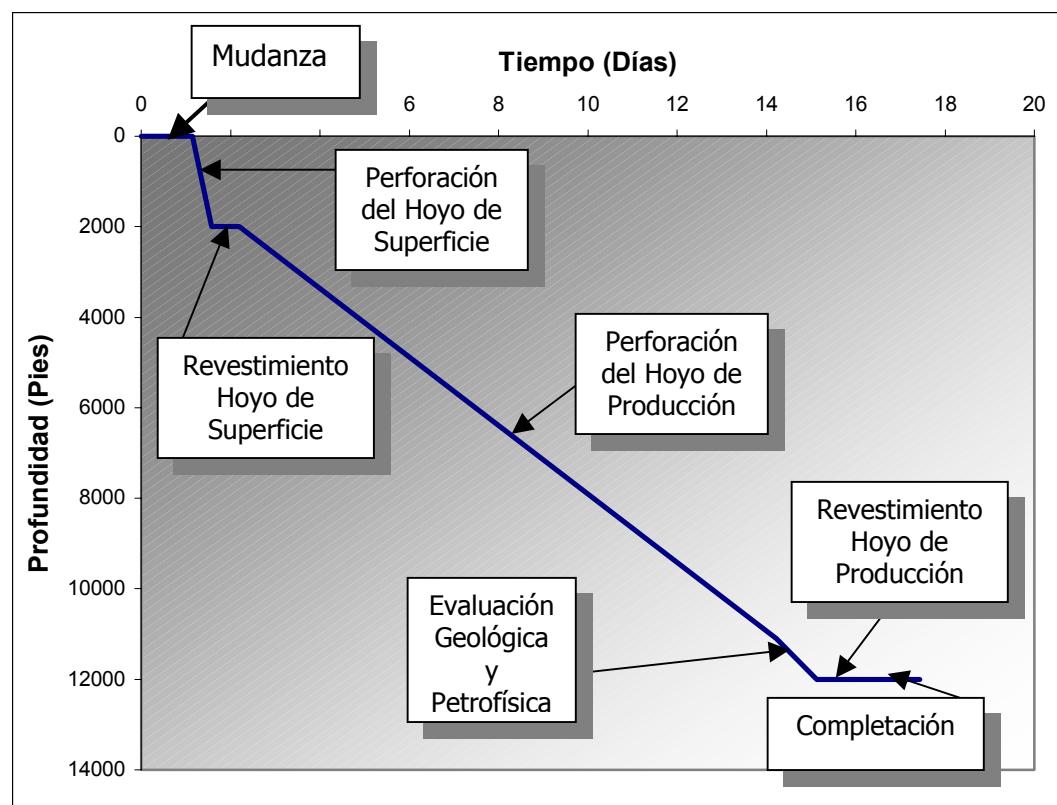


Figura 7.54. Proceso Modelo - Curva de Progreso

CAPÍTULO 8

## Conclusiones



## 8. CONCLUSIONES

- Mediante del uso de herramientas estadísticas se logró un programa óptimo de Construcción de Pozos, identificando los factores que afectan directamente al proceso y sugiriendo los correctivos necesarios, además de reconocer los mejores desempeños de cada fase.
- Mediante la metodología aplicada para el análisis del proceso de Construcción de Pozos se detectaron los mejores resultados en el área estudiada, identificando los desperdicios que afectan directamente al proceso. El mejor desempeño en el área fue para el Pozo P-14 el cual se construyó en un total de 16.8 días.
- En los pozos donde se utilizaron taladros “Tender” los tiempos de Construcción de Pozos eran menores que aquellos donde se utilizaron taladros “Integrales”.
- Los resultados de las encuestas, la experticia y la experiencia del personal hace que el trabajo se realice más rápido y que exista menos tendencia a accidentarse.
- En los primeros años de desarrollo del Área de Estudio, se registró un mayor número de visitas de supervisión a los taladros.

Para un mejor aprovechamiento de los resultados arrojados por el análisis resumido en el Capítulo 7, se decidió puntualizar las conclusiones alcanzadas para cada fase del proceso, según la Figura 5.2 de la metodología, esto se presenta a continuación:

## 8.1. FASE MUDANZA

- A partir del análisis de resultados se obtuvo que en el Área de Estudio la fase de Mudanza se puede efectuar en menos de 1.33 días.
- Debido a que la actividad de hincar el conductor no es 100% confiable, se debe perforar el hoyo de superficie a tasa controlada.
- Se concluyó que el principal problema de la fase fue el posicionamiento del taladro, originado por el mal anclaje de las boyas que se garrean a causa de la protección que se les adapta para que no se enganchen en las líneas de flujo tendidas en el fondo marino.
- La espera por transporte es otro de los factores que ocasionan perdidas de tiempo en la fase. Este factor es debido a la falta de planificación entre las gerencias involucradas.
- A pesar de que la actividad “ Esperando luz del día” es considerada como una causa de fuerza mayor, se determinó que proveer de equipo especial y de personal experimentado en el área, atenuarían las demoras originadas por esta actividad.

## 8.2. FASE DE PERFORACIÓN DEL HOYO DE SUPERFICIE

- El menor tiempo registrado para la culminación de esta fase fue de 0,40 días.
- El análisis de resultados indica, la falta de experiencia y de experticia del personal y su efecto sufre el óptimo desenvolvimiento de la Perforación del Hoyo de Superficie, pero además se determinó que dicha causa incide directamente sobre todas las fase del proceso.

- La falta de experiencia del personal conduce o causa algunas ineficiencias, como lo es la baja tasa de penetración, la cual se debe a la perforación a tasa controlada de los primeros 500 pies del hoyo.

### **8.3. FASE REVESTIMIENTO DEL HOYO DE SUPERFICIE**

- El tiempo óptimo empleado para la ejecución de la fase de revestimiento de superficie fue de menos de 0,71 días.
- La etapa más susceptible a sufrir demoras es la cementación, debido a la falta de supervisión de las actividades y los materiales utilizados en la etapa.

### **8.4. FASE PERFORACIÓN DEL HOYO DE PRODUCCIÓN**

- Como resultado del análisis realizado se estableció que la fase debe realizarse en tiempos menores a 14.44 días, tratando de aproximarse siempre al tiempo más eficiente registrado, que fue de 9.61 días en el Pozo P-26.
- La fase de perforación del Hoyo de Producción ocupa el mayor porcentaje de tiempo total de construcción de pozos, por lo tanto requiere de mayor supervisión por parte de la gerencia.
- Para una eficiente ejecución de actividades básicas de la fase como: retirar chimenea, instalación de Válvulas Impide-Reventones, perforación hasta la profundidad total, circular hoyo, y viajes, dependen de un personal altamente capacitado y experimentado.
- Los principales problemas operacionales del área son: el atascamiento de tubería, arrastre de tubería y pérdida de circulación; estos se pueden minimizar con una apropiada supervisión del mantenimiento y de la condición del hoyo.

## 8.5. FASE DE EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y PETROFISÍCA

- Debido a la variación de cantidad y tipo de registros que se llevan a cabo entre pozo y pozo, es difícil determinar un tiempo óptimo de ejecución para esta fase. Por lo tanto, es indispensable ejercer una supervisión precisa sobre las compañías de servicio que ejecutan la fase.

## 8.6. FASE DE REVESTIMIENTO DEL HOYO DE PRODUCCIÓN

- Las operaciones de corrida y cementación del Hoyo de Producción se establecieron en un rango óptimo de 1.72 días a 1.33 días.
- La baja capacitación del recurso humano encargado de ejecutar las actividades incluidas en esta fase, ocasionan los mayores inconvenientes en las operaciones.
- La etapa de cementación, al igual que en la fase de Revestimiento del Hoyo de Superficie, es la más propensa a sufrir retrasos debido a las malas operaciones y la poca supervisión de materiales y equipos.

## 8.7. FASE DE COMPLETACIÓN

- La metodología aplicada para el análisis de resultados se concluyó que la fase de Completación puede ser llevada a tiempos menores a 1 día.
- La realización óptima de esta fase depende esencialmente de la eficiencia con que se lleva a cabo la actividad de asentar la empacadura.
- El cambio del lodo para desplazar el cemento por el fluido de completación en la fase de Revestimiento del Hoyo de Producción, genera desperdicios que se deben minimizar.

## **8.8. CONDICIONES AMBIENTALES**

- Se concluyó que las condiciones ambientales pueden desmejorar la eficiencia de todas las fases que componen o constituyen el proceso.
- El análisis indicó que las gabarras Integrales son menos eficientes que las gabarras Tender y Jack Up, bajo condiciones ambientales adversas.
- La implementación de planes de contingencia y dotación de equipo adecuado para motivar al personal y evitar , en especial, en los momentos de mal tiempo el abandono repentino de los puestos de trabajo debido a la falta de seguridad.

CAPÍTULO 9

## Recomendaciones



## 9. RECOMENDACIONES

En base al trabajo realizado y a las Conclusiones descritas en el Capítulo 8, se ofrecen las siguientes Recomendaciones:

- Generar programas de entrenamiento a los Supervisores de Taladro sobre la Gerencia de Calidad y el Control Estadístico de Procesos, para así mantener una cultura de mejoramiento de las actividades involucradas en los procesos.
- Realizar los programas de Construcción de Pozos basados en los tiempos óptimos puntuizados en las Conclusiones descritas en el Capítulo 8 de este estudio.
- Implementar la construcción de pozos en el Área de Estudio objeto de este TEG mediante la utilización de taladros tipo Tender o Jack Up, ya que generan mayor estabilidad en las operaciones.
- Impulsar la creación de una institución que proporcione capacitación y entrenamiento técnico de campo al personal involucrado en la Construcción de Pozos.
- Se recomienda disminuir la rotación del personal en las distintas actividades descritas a fin de aumentar la experiencia y experticia del mismo en las operaciones que realizan.
- En el programa de supervisión, se debe aumentar el número de visitas de inspección a los diferentes taladros, para así llevar un mejor control de las operaciones y a su vez incrementar la motivación en el personal.
- Integrar a la Gerencia de Perforación un grupo de Transporte y Mantenimiento, de tal manera que se evite la actividad de “espera”.

- Dotar a los taladros de equipos especiales (radares, GPS, células fotoeléctricas) que permitan al grupo de transporte el posicionamiento del taladro y la movilización de equipos en cualquier momento del día.
- Usar de anclas sin protector para evitar el garro de las mismas. Sin embargo esto no se puede obviar la protección de las líneas de flujo
- Implementar una supervisión rigurosa en la actividad de hincada del conductor para un óptimo desenlace de la misma, y así lograr eliminar la perforación de los primeros 500 pies del hoyo de superficie a tasa controlada.
- Se propone establecer un programa de supervisión más riguroso sobre los materiales que se utilizan durante la etapa de cementación.
- Establecer mecanismos más estrictos de control durante la Fase de Perforación, debido a la importancia de ella dentro del proceso.
- Mantener a lo largo de la perforación las condiciones óptimas del hoyo con un seguimiento eficiente de las operaciones, para así minimizar los problemas que puedan suscitarse.
- Es necesario realizar un estudio sobre el desempeño de las compañías que realizan la evaluación geológica y petrofísica, con el cual se determinan las compañías más eficientes.

CAPÍTULO 10

## Referencias Bibliográficas



## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1).- GÓMEZ, E. "**Procesos de Perforación / Completación de Pozos en el Área del Bloque V, objetivos Arenas del Eoceno "C" ubicadas en el Lago de Maracaibo**". UCV, Caracas, 1999.
- (2).- VENEZUELA, Ministerio de Energía y Minas. Dirección General Sectorial de Servigeomin. Direc. De Geología. "**Léxico Estratigráfico de Venezuela**", Ccs MJ Editores CA, 1997.
- (3).- SÁNCHEZ F, "**Factibilidad de Perforación De pozos Interespaciados en el Yacimiento Eoceno "C", área del Bloque V, Centro**". Maracaibo 1995.
- (4).- PINTO, J. "**Revisión del estatus de pozos de la segregación Lagocinco**". Informe Técnico, 1997.
- (5).- CIED. "**Componentes y Sistemas de un Taladro de Perforación**". PDVSA 1988.
- (6).- LAGOVEN S.A. "**Flotación, Estabilidad y Anclaje de Equipos de Perforación**". PDVSA, 1979.
- (7).- PDVSA; "**Estandarización de Procesos de Construcción y Rehabilitación de Pozos**". PDVSA, 1999.
- (8).- CEPET; "**Manual de Herramientas para el Control Estadístico de Procesos**". PDVSA, 1989.
- (9).- MARAVEN. "**Calidad y Productividad**". PDVSA, 1987.
- (10).- Kauro Ishikawa; "**¿Qué es el Control de Calidad Total** ". Edit Norma, 1985.
- (11).- JURAN, J "**Juran y planificación para la calidad**". 3<sup>ra</sup> Edición.

- (12).- W. Edwards Deming; ***"Calidad, Productividad y Competitividad***, Ediciones Días de Santos, 1990.

CAPÍTULO 11

## Glosario de Términos



## 11. GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Ancla**: Instrumento fuerte de hierro forjado, en forma de arpón o anzuelo doble, compuesta de una barra sujetada a una cadena, que lleva una uñas dispuestas para aferrarse al fondo del mar.
- **Árbol de Navidad** : Conjunto de válvulas y conexiones que se coloca en la boca del pozo, en la parte superior de la tubería de producción, cuya función principal es la de regular la salida de petróleo y demás fluidos y dirigirlos por tuberías a los tanques de almacenamiento.
- **Boyas** : Cuerpo flotante sujeto al fondo del mar, de un lago, o río, que sirve de señal para indicar un sitio peligroso o un objeto hundido.
- **Calidad** : Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa, que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las otras de su especie.
- **Calizas** : Rocas sedimentarias de naturaleza calcárea. En Venezuela constituyen importantes secciones de roca-madre y de rocas-recipientes de depósitos gigantescos de hidrocarburos.
- **Desperdicios** : Es la diferencia entre como están las cosas ahora y como deberían o podrían estar si todo marchará bien.
- **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.
- **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.
- **Equipos de Control de Sólidos** : Equipo especial encargado de eliminar las impurezas, ripios y acondicionar el lodo de perforación para volverlo a circular al hoyo.
- **Estandarizar** : Tipificar, ajustar a un tipo , modelo o norma.

- **Estratigrafía** : Parte de la geología que estudia la disposición y características de las rocas.
- **Fluidos de Perforación o lodo** : Fluido que se hace circular durante la perforación de un pozo con el fin de retirar los ripios del fondo del hoyo y enfriar la mecha y la tubería. Así mismo el lodo evita el derrumbe de las paredes del hoyo.
- **Fundación** : Se aplica particularmente a la estructura básica de la plataforma y demás elementos necesarios para la perforación. El primer pozo completado en el Lago de Maracaibo (22 de Abril de 1924) tuvo fundación de madera ya para 1933 se usaban pilotes de concreto. En la tecnología moderna, muchos tipos de equipos de perforación mar adentro tienen sus propias instalaciones sustitutivas de una fundación.
- **Gabarra** : Embarcación que suele ir remolcada, indispensablemente para la perforación y mantenimiento de los pozos mar adentro,. La gabarra de perforación es aquella que se acuesta contra la plataforma en la perforación.
- **Guaya fina** : Cable de acero fuerte que se usa en la perforación para subir y bajar herramientas al pozo.
- **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.
- **Lutita** : Roca sedimentaria impermeable, producto de la compactación de arcillas, con estratificación muy delgada. Se consideran de las mejores roca-madre de hidrocarburos.
- **Multishot** : Registro de desviación que se utiliza al final de la perforación.
- **Malacate** . Conjunto de mecanismos que mueve las poleas viajeras en un taladro transformando la fuerza de tracción circular en movimientos verticales.
- **Measure While Drill (M.W.D.)** : Herramienta que se utiliza durante la perforación que permite realizar mediciones al mismo tiempo que se perfora (Temperatura, presiones, etc).
- **Píldora** : Volumen pequeño de lodo para subsanar problemas en el hoyo.
- **Pilote** : Pieza reforzada que se hinca en el suelo para consolidar los cimientos o soportar una carga.

- **Pozo Exploratorio** : Perforación con la que se espera encontrar un yacimiento de hidrocarburos
- **Rams** : Gomas de neopreno, que se colocan dentro de las válvulas impide reventones.
- **Singleshot** : registro de desviación que se utiliza cada vez que se saca la mecha.
- **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.
- **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.

CAPÍTULO 12  
**Anexos** 



## **LISTADO DE PARTES Y EQUIPOS DEL TALADRO DE PERFORACIÓN**

**1. UNIDAD DE APOYO DEL TALADRO:** (Para unidades en el Lago; para unidades en tierra, indicar aquello que aplique)

**A. Tipo:** Gabarra flotante con Cantiléver. Clasificado por American Bureau of Shipping.

**B. Características de la Gabarra:**

Desplazamiento: 5100 toneladas aprox.

Eslora: 200 pies

Manga: 85 pies

Puntal: 14 pies

**C. Carga sobre cubierta:**

Área de Carga: 550 m<sup>2</sup>

Capacidad:

- a. Para tuberías 16.000 pies D.P. y 900 pies Dc.
- b. General: 1000 t aproximadamente.

**D. Capacidad de Carga:**

a. Para equipo: variable.

b. Para tubería: 13.000 pies D.P. y 900 pies D.C.

19,5 lbs/pie 83 lbs/pie (250 tons. aprox.).

c. Para materiales: 13.000 pies Rev. 7" (250 tons. aprox.).

d. Para PERSONAL: 40 Personas (10 habitaciones).

e. Para otros: materiales de lodo.

**E. Tanques para agua dulce (potable):**

a. Cantidad: uno (1)

b. Capacidad: 363 Bls.

**F. Tanques para agua dulce (para el lodo):**

- a. Cantidad: dos (2).
- b. Capacidad: 1240 Bbls. c/u.

**G. Tanques de combustible:**

- a. Cantidad: dos (2).
- b. Capacidad: 974 Bls. c/u

**H. Grúas:**

- a. Cantidad: uno (1) Mariner 5000 o equivalente.
- b. Capacidad: 30 toneladas.

**I. Anclas:**

- a. Cantidad: ocho (8), siete de fijación y una (1) de emergencia, dos (2) juegos de siete (7) anclas cada uno por taladro.
- b. Disposición: siete (7)
- c. Peso: 1.000 lbs c/u.
- d. Cables: 1.500 x 1-1/4", siete (7) cables
- e. Guinches de las anclas: Dos (2) con cuatro tambores c/u.
- f. Otros: Boyas dos (2) juegos de (7> siete boyas cada uno por taladro. Cadena 2800 pies de 1-1/2" por cada juego. Total 5600 pies.

**J. Apoyos (si es autolevadiza):** No aplica

- a. Cantidad:
- b. Disposición:
- c. Peso:
- d. Motores:
- e. Máxima profundidad a la que puede operar:
- f. Mínima profundidad a la que puede operar:

**K. Luces de Navegación:** Las indicadas y requeridas por los reglamentos de seguridad marítima nacional e internacional para el tipo de unidad en referencia.

- a. Cantidad:
- b. Tipo:
- c. Clase:
- d. Colores:

**L. Helipuerto:**

- a. Dimensiones:
- b. Capacidad: 5 tons.

**M. Alojamientos:**

- a. Cantidad: Diez (10).
- b. Comodidades: 40 personas.

**N. Comunicaciones:** (equipos únicamente)

- a. Radios: de la Gabarra a la base del Contratista
- b. Teléfono: dos (2) sistemas en sitio compatible con el sistema de la empresa
- c. Sistema Interno: intercomunicación entre pisos, oficinas, áreas del taladro. 8 puntos.

**O. Comedor:**

- a. Capacidad: para supervisores (incluye nevera, cocina e implementos necesarios).
- b. Dimensiones: no registrado (adaptable de acuerdo a requerimientos).

**P. Edad y Permisos de operación:**

- a. Fecha de construcción o reconstrucción: 1994.
- b. Última revisión general en dique seco: 1994.
- c. Fecha próxima revisión en dique seco: 1999.
- d. Tipo de permiso de operación y vigencia: Requerido

## **2. BOMBAS DE LODO:**

**A. Cantidad:** dos (2)

**B. Marca. clase y características:** Triplex (Continental Emsco National o Oilwell)

**C. Potencia** (Horsepower): 1400 H.P.

**D. Desplazamiento:** 520 GPM 120 SPM 6-1/2" Liner

**E. Año de fabricación:** 1994

**G. Eficiencia:** 90%, eficiencia volumétrica

## **3. BOMBA DE MEZCLA:**

**A. Marca. clase y características:** 5"x 6"x 9-1/2" Impeler c/75 HP

**B. Desplazamiento o Dimensión:** 9-1/2" Impeler

**C. Año de fabricación:** 1994

**D. Ultima revisión general:** 1994

**E. Eficiencia:** 90%

**F. Cantidad:** Lo Requerido

**4. INSTALACIONES PARA FLUIDO DE PERFORACIÓN:****A. Tanques:**

- a. Cantidad: 9 nueve
- b. Capacidad: 3000 Bbls. (Total)

**B. Capacidad para material químico seco:**

- a. En sacos: 2000 sacos
- b. A granel: 2000 pies<sup>3</sup> (Barita)

**C. Vibradores:**

- a. Cantidad: 2
- b. Marca y características: (Movimiento Lineal)
- c. Tamaño del tamiz: Lo que es necesario, hasta 140

**D. Agitadores:**

- a. Cantidad: Cinco (5)
- b. Tipo: Variables según el caso
- c. Capacidad: 7.5 HP.

**E. Embudos:**

- a. Cantidad: Dos (2)
- b. Tamaño: Standard, baja presión.

**F. Desarenadores:**

- a. Cantidad: Uno (1)
- b. Tipo: Centrifugal con o equivalente (750 GPM).
- c. Marca: Harrisburg o equivalente
- d. Año de fabricación: 1994
- e. Última revisión: 1994.

**G. Desgasificador:**

- a. Tipo: atmosférico
- b. Marca: Drilco o equivalente.
- c. Año de fabricación: 1994.
- d. Última revisión: 1994.

**H. Separador de Gas:**

- a. Tipo: atmosférico.
- b. Arreglo: vertical 6" (Gas) x 10" (Lodo).
- c. Cantidad: Uno (1).

**I. Separador Arena Petróleo:**

- a. Tipo: atmosférico.
- b. Cantidad: Uno (1).

**J. Removedor de arcillas (desilters):**

- a. Cantidad: uno (1)
- b. Marca: Harrisburg o equivalente.
- c. Tipo: Centrifugal cones o equivalente (750 GPM).
- d. Año de fabricación: 1994.
- e. Última revisión: 1994.

**K. Detector de Gas en el sistema de lodo:**

- a. Cantidad: uno (1).
- b. Tipo: manual.
- c. Marca:
- d. Año de fabricación: 1994.
- e. Ultima revisión: 1994.

**L. Aparatos de Laboratorio:** Equipo portátil para análisis d lodo.

**5. BOMBAS DE AGUA:** Abastecimiento del equipo de perforación, sistema de lodo.

**A. Marca y clase:** vertical.

**B. Características:** vertical con motor eléctrico - 75 HP.

**C. Capacidad:** 500 GPM o variable.

**D. Eficiencia:** 85%.

CONTRA INCENDIOS: Caudal mínimo de 1500 GPM, 04 monitores de 750 GPM, Bomba de presurización.

**6. COMPRESORES:**

**A. Marca y tipo:** LE ROI modelo 5025 o equivalente.

**B. Capacidad y presión de trabajo:** 145 lppc.

**C. Compresor auxiliar:** uno (1).

**7. MOTORES Y TRANSMISIONES A LA PLATAFORMA DE PERFORACIÓN**

**A. Cantidad:** dos (2) motores eléctricos.

**B. Marca y características:** EMD D-79MB o equivalente

**C. Potencia:** 800 HP c/u.

**D. Año de fabricación o Puesta en servicio:** 1994.

**E. Última reparación mayor:** 1994.

**F. Marca y tipo de las transmisiones:** N/A.

**8. MOTORES DE LAS BOMBAS:**

- A. Cantidad:** dos (2) motores eléctricos.
- B. Marca y características:** EMD D-79MB o equivalente
- C. Potencia:** 800 HP c/u.
- D. Año de fabricación o Puesta en servicio:** 1994.
- E. Última reparación mayor:** 1994.

**9. PLANTAS ELÉCTRICAS:**

- A. Cantidad:** tres (3)
- B. Marca y clase:** Caterpillar D-3516 o equivalente.
- C. Voltaje voltios :** 600 voltios.
- D. Potencia (KVA):** 1050 c/u 1100 (mínimo o según requerido por el taladro).
- E. Generador auxiliar:** uno (1), marca Cartepillar, modelo 3412.

**10. MALACATE** (con frenos de disco).

- A. Marca y tipo:** (National, Oilwell, Gardner Denver o Ideco).
- B. Fecha de construcción:** 1994.
- C. Transformaciones hechas:**
- D. Ultima revisión general:** 1994.
- E. Otras características:** 1.500 HP mínimo.

**11. CABRIA:**

- A. Marca y serie:** (Lee c. Moore, Continental, Enesco o Varco)
- B. Tipo:** 147' mast (dinámico).
- C. Capacidad:** 750.000 lbs. mínimo (estática) con 12 líneas (1.000.000 lbs

normal).

**D. Altura:** 147'. Adecuada para utilizar Top Drive.

**E. Otras características:** Bloque con guía de la cabría.

**F. Última revisión:** 1994.

**G. Estado en que se encuentra:** excelente.

**H. Otros detalles:**

## **12. SUB- ESTRUCTURA:**

**A. Marca:**

**B. Tipo:** Cantiléver construida en astillero.

**C. Capacidad:** 1.000.000 lbs.

**D. Altura:** 45'.

**E. Otras:** Distancia del casco al centro de la mesa 25'.

**F. Última revisión:** 1994.

**G. Estado en que se encuentra:** nuevo.

## **13. IMPIDE REVENTONES Y OTROS EQUIPOS DE CONTROL:**

(suministrado por el CONTRATISTA: Hydrill, Shaffer, Cameron):

- Uno (1) Anular spherical 12" x 3000 lppc.
- Uno (1) Double cameron U 12" x 3000 lppc con rams de 13-3/8' hasta 2-3/8" y equivalentes.
- Unidad de acumulador de presión Koomey tipo 80 o shaffer.
- Unidad Shear Rams.

## **14. LLAVES MANUALES E HIDRÁULICAS:**

**A. Cantidad:** dos (2).

**B. Clase:** manual.

**C. Tipo:** BJ o BB equivalente.

**D. Tamaños:** 4-1/2" hasta 13-3/8".

#### **15. BLOQUE CORONA:**

**A. Marca:** (Bj, Continental, Emsco National, Ideco).

**B. Capacidad:** 450 Toneladas.

**C. Número de líneas:** 12 líneas.

**D. Otras características:** para guaya de 1-3/8".

**E. Última revisión:** 1994.

#### **16. EQUIPO DE CEMENTACIÓN:**

**A. Capacidad:** 3000 cuft

**B. Tanques:** sobre cubierta

#### **17. BLOQUE VIAJERO:**

**A. Marca:** ( Varco, National, Continental enesco)

**B. Capacidad:** 500 Tons.

**C. Número de líneas:** 12

**D. Otras características:** Guaya de 1-3/8

#### **Gancho:**

**A. Marca:** ( Varco, National, Continental enesco)

**B. Capacidad:** 500 Tons.

#### **SWIVEL:**

**A. Marca:** ( Varco, National, Continental enesco)

**B. Capacidad:** 500 Tons.

**CUADRANTE:**

- A. Cantidad:** 1
- B. Marca y Tipo:** Hexagonal
- C. Dimensión:** 5 1/4"X 40'
- D. Válvulas:** Lower Kelly Cock
- E. Kelly Spinner:** 1

**18. TUBERÍAS DE PERFORACIÓN:**

- A. Tamaños:** 5"
- B. Pesos:** 19,5 lbs/pie
- C. Grados:** S-135
- D. Revestimiento interno:** PLASTIC.
- E. Clase:** IVE-R.2.
- F. Pies disponibles:** 12,000'.
- G. Pies perforados anteriormente:** cero
- H. Ultima revisión:** 1994.
- I. Tubería:** H.W. 1200' de 5".

**19. PORTAMECHAS:**

- A. Cantidad:** 6 de 8", 30 de 6-1/4 ó 6-1/2", 30 de 7"
- B. Tamaño externo e interno:** 2" Diámetro Interno
- C. Clase:** nuevo.
- D. Pies perforados:** cero.
- E. Ultima revisión:** 1994.

**20. EQUIPO MENOR:** elevadores. cuñas. y otras herramientas para el manejo de tuberías.

- A. Para tuberías de revestimiento:** 13-3/8", 10-3/4", 9-5/8", 7", 5-1/2".
- B. Para tuberías de perforación:** 5" DP, 8" DC, 6-1/4", 7" DC.
- C. Para tuberías de producción:** 3-1/2", 4-1/2", 2-7/8" y 2-3/8".

**21. SUSTITUTOS, MARTILLOS, BUMPER SUBS.**

- A. Sustitutos:** los necesarios para la tubería de perforación descrita.
- B. Saca núcleos:** Ninguno.
- C. Martillos y Bumper subs:** Ninguno.
- D. Juntas de seguridad:** Ninguno.
- E. Empacaduras :** Ninguno.
- F. Válvula de seguridad para tubería de perforación:** HYDRILL o equivalente.
- G. Estabilizadores:** N/A.
- H. Otros accesorios:** N/A.

**22. EQUIPO PARA PESCA DE:**

- A. Tubería de perforación:** Todo lo necesario para la sarta de perforación y portamechas del contratista limitado a over shot y spear para cada tamaño.
- B. Tubería de producción:** Todo lo necesario para la sarta de producción y equipo de empaque.
- C. Tubería de revestimiento:** Lo necesario para recuperar revestimiento de 9-5/8", 7" y 5- 1/2"
- D. Tubería Lavadora:** 3-1/2", 4-1/2", 5-1/2", 15 Jts c/u.
- E. Desperdicios:** Tubería de cola 15/16"
- F. Bloque de impresión:** 2-3/8", 2-7/8", 3-1/2", 4-1/2", 5", 5-1/2".
- G. Gato hidráulico:** 4", 5".

**23. INDICADORES DE PESO:**

- A. Cantidad:** uno (1).
- B. Tipo:** Mecánico y / o digital.
- C. Última calibración y limpieza:** 1994.

**24. MEDIDOR DE DESVIACIÓN:**

- A. Cantidad:** dos (2).
- B. Marca:** Totco.
- C. Alcance en desviación:** (0-8 grados), (0-16 grados).
- D. Última revisión:** 1994.

**25. MANGUERAS DE PERFORACIÓN:**

- A. Cantidad:** dos (2).
- B. Diámetro:** 3 ID x 60' largo (5.000 lppc).
- C. Clase:**
- D. Tipo:** Flexible o equivalente.
- E. Última revisión:** 1994.

**26. CABLE DE PERFORACIÓN:**

- A. Marca:** Unión Wise Rope o equivalente.
- B. Longitud:** 7.500' aprox.
- C. Diámetro:** 1-3/8".
- D. Tipo:** 6 x 19 IWRC.
- E. Uso:**
- F. Ultima revisión:** 1994.

**27. GUAYAS DE LAS LLAVES:**

- A. Longitud:** lo necesario.
- B. Diámetro:** 5/8".
- C. Última revisión:** 1994.

**28. EQUIPO DE ACHIQUE (Swab):**

- A. Dimensiones barra:** 1 3/4" x 20 Pies
- B. Tipo de Gomas:**
- C. Profundidad máxima de succión:** 12.000'.
- D. Diámetro y longitud del cable:** 9/16" x 12.000'.
- E. Última revisión:** 1994.

**29. EQUIPO DE SEGURIDAD:**

- Un bote salvavidas con motor, adecuado al número de personas en el taladro.
- Chaleco salvavidas.
- Extinguidores con químicos secos.
- Extinguidores con agua y C0<sub>2</sub>.
- Equipos requeridos por institutos nacionales e internacionales.

**30. REGISTRADOR DE PROFUNDIDAD DEL POZO:**

- A. Marca:**
- B. Tipo:** Guaya Fina 13.000'
- C. Barras:** de peso y equipo para pescar tapones en carta de producción.

**31. GEOLÓGRAFO:**

- A. Número de plumas o canales:** seis (6).
- B. Marca:**
- C. Tipo:** Hidráulica o digital.
- D. Año de fabricación:** 1994.
- E. Última revisión:** 1994.
- F. Propiedades que registra:** pies perforados por unidad de tiempo, presión de bombas, SPM, peso, RPM.

**32. ESTRANGULADOR AJUSTABLE (CHOKE):**

- A. Cantidad:** dos (2).
- B. Marca:** CAMERON o equivalente.
- C. Tamaños y presiones máximas:** 2" 5000 Lppc ajustable manual
- D. Año de fabricación:** 1994.
- E. Última revisión:** 1994.

**33. PANEL DEL PERFORADOR:**

- A. Marca:** N/D
- B. Tipo:** Spectrum 1000 o similar
- C. Año de fabricación:**
- D. Última revisión:**

**34. MAQUINAS DE SOLDAR:**

- A. Cantidad:** uno (1).

**B. Tipo:** Lincoln TM-400 o equivalente.

### **35. EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN:**

- Equipos mínimos requeridos. Consola de perforación (mecánica o digital) con PSM (peso sobre la mecha), peso en el gancho, RPM, torque, SPM, presión de bomba.
- Tres indicadores de presión, dos en la bomba, y uno en el piso del taladro.

### **36. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE:**

**A. Capacidad:** la requerida por el taladro.

**B. Características:** para procesar agua del lago.

## **NORMAS PARA LA ESTABILIDAD DE GARRAS DE PERFORACIÓN**

- Como medidas de reafirmación de buenas prácticas de seguridad debemos conservar las siguientes normas de Estabilidad en las Gabarras de Perforación:
1. Mantener un mínimo de tres pies de francobordo, o sea la distancia vertical entre la cubierta y el nivel del agua en todo el contorno de la gabarra; pero se debe permitir diez pulgadas más de francobordo en la proa, en comparación con el de popa, especialmente en el caso de que la gabarra sea de cabria incorporada.
  2. En las gabarras de 180 pies de eslora los compartimientos de los extremos deben ser conservados vacíos, y cualquier filtración en ellos de más de medio barril por día deberá ser corregida inmediatamente.
  3. En las gabarras "Tender" permitir, solamente el uso de cuatro tanques de lastre, los cuales están localizados después del primer mamparo en la proa y antes del último en popa, por los costados de babor y estribor respectivamente.
  4. En las gabarras de cabria incorporada se recomienda esta misma disposición de los tanques de lastre. Sin embargo, las condiciones de carga pueden exigir un arreglo diferente, por lo que se permitirá usar los compartimientos que están inmediatamente antes de los de popa y después de los de proa, en sustitución de los anteriores; pero en ningún caso se deberán usar más de dos compartimientos en proa y cuatro en popa, y esto solamente cuando se hayan llenado dos compartimientos en popa y no se haya podido nivelar la gabarra con un francobordo aceptable en la proa.
  5. En las gabarras más pequeñas, tales como C-95, 96, 97 y C-234 no deberán usarse más de cuatro compartimientos de lastre, los cuales serán los primeros compartimientos de la proa y los penúltimos de la popa.
  6. Todos los demás compartimientos que no son destinados para lastre, combustible, lodo, petróleo, o aceite combustible, deberán permanecer vacíos. Asimismo, para los efectos

de la medición de los tanques deberán instalarse en todas las gabarras un conducto que consistirá de un tubo de unos 3 pies de altura enroscado en un cuello en la cubierta y con un tapón de rosca también para mantenerlo tapado. El lugar donde se instale deberá ser de fácil acceso, aun en los casos de mal tiempo, y donde no haya obstáculos para la medición.

7. Periódicamente los manparos estancos deben ser revisados hidrostáticamente. En especial si la gabarra recibe un fuerte impacto externo, el daño se debe inspeccionar en los interiores del área para asegurarse de la estanqueidad del casco y manparos de inmediato después del accidente.
8. La tubería que se tenga en la cubierta deberá mantenerse confinada en su lugar mediante postes enroscados en la cubierta en las bases allí instaladas para tal fin, además de estar amarrada con cadenas tensadas como medida de precaución para mal tiempo. De la misma manera, y en cuanto sea posible, la carga deberá estar distribuida uniformemente sobre la cubierta.
9. No se permitirá que en la cubierta permanezca ninguna entrada o acceso abiertos, excepto los respiraderos, que por sus características son de índole permanente. Las bocas de visita que están a ras con la cubierta deben tener empacaduras y mantenerse cerradas y apretadas para evitar la entrada de agua o de cualquiera otra sustancia. Las demás entradas para las salas de bombas deberán tener un borde en forma de caja que sobresalga en todo su contorno. Todos estos accesos deberán estar provistos de tapas con empacaduras y pernos de mariposa que permitan un ajuste seguro y fácil. Por último, todas las entradas deberán ser aprobadas por los ingenieros competentes de Ingeniería Naval.
10. Antes de efectuar trabajos de reparación o modificaciones de cualquier naturaleza al casco o a la cubierta, deberá obtenerse la aprobación del ingeniero naval y al concluir el trabajo se le debe hacer la inspección correspondiente. Tampoco se podrán efectuar modificaciones ni orificios de drenaje en la superestructura sin la revisión y aprobación de un ingeniero versado en asuntos navales.

11. Por lo menos una vez por semana cada cuadrilla deberá hacer una práctica para casos de mal tiempo y el abandono de la gabarra, de la siguiente manera:

- a. Ponerse los salvavidas.
- b. Asegurar las tapas de los compartimientos.
- c. Asegurar carga.
- d. Revisar el calado en las cuatro esquinas de la gabarra.
- e. Operar los sifones de los compartimientos.
- f. Preparar las balsas para su lanzamiento.

Todo esto sin perjuicio de la vigilancia estricta que en todo momento deberán mantener todos los miembros de las cuadrillas.

12. Además de los puntos anteriores es responsabilidad dc los supervisores efectuar una revisión diaria de las siguientes condiciones para descubrir cualquier anomalía y reportar diariamente el calado de la gabarra:

- a. Asegurarse de que las tapas de los tanques estén bien ajustadas en todo momento.
- b. Asegurarse de que los respiraderos y venteos de todos los compartimientos estén en buenas condiciones. Estos deben estar por lo menos 3 pies por encima de la cubierta principal o tener venteo con válvulas de retención especiales para esta función.
- c. Los sifones de achique deben estar en buenas condiciones de operación en todo momento. Estos deben mantenerse tapados cuando no se están utilizando y destaparse durante la operación de achique. Es muy importante que el operador del sifón está familiarizado con este tipo de bomba.
- d. Revisar el casco diariamente para asegurar de que está en buenas condiciones y que no hay roturas por donde el agua pueda filtrarse.
- e. Conocer el calado de la gabarra y asegurarse de que mantiene un francoborde correcto.
- f. Conocer las condiciones de la carga de la gabarra.
- g. Revisar diariamente la cantidad de fluido en cada tanque y observar cuáles tanques

- de los que deben estar secos aparecen con agua para investigar de inmediato la situación.
- h. Revisar todas la válvulas del sistema de lastre para asegurarse de que todos están cerrados, excepto aquellos que en el momento están en uso, y probar periódicamente el sistema para saber si hay válvulas que se filtran por la presión. Todas las válvulas que no estén en perfectas condiciones de operación deben ser reparadas o cambiadas.
13. Se permitirá el uso de las bombas de lodo o de petróleo para efectuar los movimientos de lastre solamente bajo condiciones de extrema necesidad o de peligro inminente. Se deberá informar al Superintendente de la organización de cualquier necesidad que haya habido para el uso de estas bombas en el sistema de lastre; y dentro de las 24 hora siguientes se deberá efectuar una revisión para asegurarse de que dichos compartimientos no se han contaminado con gases inflamables. Si las pruebas de los gases resultan con más de cuatro por ciento del límite inferior de inflamabilidad habrá que efectuar una limpieza y ventilación de los compartimientos afectados hasta librarlos de concentraciones peligrosas.
14. Cuando se usan bombas de lastre centrífugas de 6 \* 8 y se operan a 1800 RPM éstas deberán tener impelentes de diámetro mayor de 13 pulgadas. Los reguladores de velocidad de los motores diesel acoplados con dichas bombas deben estar ajustados para operar desde 1800 RPM hasta cuando se está efectuando una operación de bombeo de lastre, un máximo de 2100 RPM. Además la descarga deberá indicar más de 90 Ippc.
15. Las líneas de suministro de agua de lastre, operación de sifones, y apagafuegos, deben salir de una T de reducción montada sobre el vertical se salida de 6 pulgadas, de la bomba, con líneas de 4 pulgadas de distribución por los lados de babor y estribor, y continuar desde allí hasta cada extremo de la popa y proa. Las conexiones para sifones y llenado de lastre deben ser de 2 pulgadas y estar en el lugar más cercano para la distribución. En los sifones las líneas y válvulas deben ser de 2

pulgadas hasta llegar a las boquillas. Todo el sistema debe tener suficientes uniones para su limpieza y debe estar diseñada para una mínima caída de presión por fricción.

### **RESPONSABILIDADES DE LOS SUPERVISORES DE GABARRA PARA GARANTIZAR LA ESTABILIDAD DE LA MISMA**

- a. Asegurarse de que las tapas de los tanques estén bien ajustadas en todo momento.
- b. Asegurarse de que las líneas de venteo de los tanques estén en buenas condiciones. Estas deben estar por lo menos 2' por encima de la cubierta principal o tener venteos con válvulas de retención especiales para esta función.
- c. Los sifones de achique deben estar en buenas condiciones de operación en todo momento. Estos deben mantenerse tapados cuando no se estén utilizando y destaparse durante la operación de achique. Muy importante es que el operador del sifón estén familiarizado con este tipo de bomba.
- d. No se deben practicar modificaciones ni orificios de drenaje en la superestructura sin la revisión y aprobación de un ingeniero que conozca de estabilidad.
- e. Revisar el casco diariamente para asegurarse que éste está en buenas condiciones y no haya roturas por donde el agua pueda filtrarse.
- f. Periódicamente los mamparos estancos deben ser revisados hidrostáticamente. En especial si la gabarra recibe un fuerte impacto externo, el daño se debe inspeccionar en los interiores del área para asegurarse de la estanqueidad del casco y mamparos.
- g. Conocer el calado de la gabarra y asegurarse de que mantiene un francobordo adecuado.
- h. Conocer la condición de carga de la gabarra.

- i. Revisar diariamente la cantidad de líquidos en cada tanque y cuales tanques de los que deben estar secos aparecen con agua para investigar de inmediato la situación.

### **SISTEMAS DE ANCLAJE:**

No hay ninguna definición ni regla que establezca rígidos patrones de anclaje. Los principios empleados hoy en día son los mismos de hace 50 años atrás. Su variación depende del propósito principal del anclaje. Es decir, la nave cuando está anclada es un sistema dinámico sujeto a movimientos de acuerdo a la excitación de las olas y otras fuerzas externas, por lo que el anclaje varía de acuerdo al grado de libertad de movimiento que deseamos en la unidad.

Lo ideal sería no restringir la libertad de movimiento de la embarcación, en otras palabras, permitir que la embarcación estén en libertad de movimiento para minimizar las tensiones en las líneas de amarre desafortunadamente en el campo petrolero no tenemos esta libertad y necesitamos que la embarcación sea lo más rígida posible.

Desde el punto de vista operacional se puede hacer la siguiente clasificación:

1. Embarcaciones con anclas incorporadas; éstas están dotadas del sistema de anclaje en la unidad.
2. Embarcaciones que disponen de sistemas dinámicos; estos permiten la fijación de la unidad en un punto determinado mediante señales de posición que son analizadas y transformadas a señales de orientación y revoluciones del sistema propulsor, el cual se encuentra ubicado en diferentes partes del casco para garantizar la posición de la unidad.
3. Embarcaciones que utilizan localizaciones pre-boyadas; en este caso la embarcación no tiene instaladas las anclas en la unidad sino que las anclas, cadenas y boyas son colocadas en sitio con anticipación.

4. Combinaciones de los anteriores.

**BÁSICAMENTE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE ANCLAJE ESTÁN COMPRENDIDOS DE LOS SIGUIENTES ELEMENTOS:**

1. Ancla (punto de agarre en el fondo)
2. Línea de anclaje (conexión entre el ancla y la unidad o boyo)
3. Boya (si el sistema requiere boyas)
4. Punto de amarre en la gabarra o embarcación por medio de guinchos o molinetes según el tipo de anclaje

**PRINCIPIOS BÁSICOS PARA SISTEMAS DE ANCLAJE:**

a. **Fuerza de agarre de las anclas.** Analizando el tipo "Danforth" (Figura A).

El hundimiento es horizontal y el ancla se enterrará por si misma y ángulo de inclinación de las pesuñas (flukes). Un incremento en la fuerza horizontal hará que el ancla se entierre aún más. La línea de anclaje debe estar horizontal o más de 60 de inclinación, de lo contrario cualquier tensión vertical hará que el ancla se desprenda del fondo; en este caso, el ancla traerá a la superficie una gran cantidad de lodo con ella.

Algunas veces la fuerza de agarre del ancla es presentada sin términos de relación de fuerza de agarre con el peso del ancla en el aire. Un ancla eficiente debe tener una alta relación de agarre / peso. Lo que es lo mismo, un alto nivel de agarre para un mínimo peso. Idealmente este nivel debe exceder de 10 para cualquier tipo de fondo. Un estimado conservativo es el siguiente: Fuerza de agarre = 3 veces el peso del ancla

Se dice que la fuerza de agarre es sensible al ángulo de inclinación de las pesuñas (flukes); por lo tanto se puede seguir la siguiente regla:

50° Inclinación, pesuñas : para fondos pantanosos

30° Inclinación, pesuñas : para fondos arenosos

En fondos duros se requiere mayor longitud del cepo (stock) para evitar que el anda se volteé.

**b. Catenaria:** el peso de la línea de anclaje produce un seno que lleva el nombre de Catenaria. Esta catenaria permite que el anda reciba una tensión horizontal y no vertical. La relación de la longitud de la línea de anclaje y profundidad del agua se denomina pendiente.

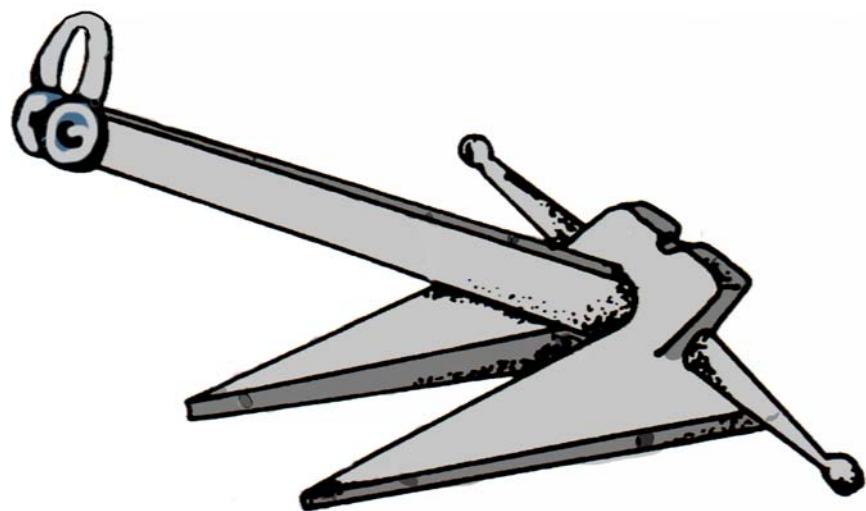
Pendiente =  $S / d$

donde:  $S$  = longitud de la línea

$d$  = profundidad del agua

En las gabarras de perforación los valores típicos de la pendiente 5,0 a 7,0 o sea de 5 a 7 veces la profundidad del agua.

**c. Fuerza del molinete:** fuerza de rotura de la cadena entre 2



## DANFORTH

Figura A. Ancla Danforth

## CÁLCULOS TIPO

### 1. CÁLCULO TIPO PARA EL GRAFICO DE CONTROL

El calculo de la media y límites de control fue realizado con las ecuaciones descritas en el Marco Teórico y en base a los datos que se presentan a continuación.

Año 1	
Nombre del Pozo	Tiempo de Construcción del Pozo (Días)
P - 1	27,01
P - 2	24,00
P - 3	22,01
P - 4	26,02
P - 5	24,08
P - 6	24,00
P - 7	23,05
P - 8	26,01
P - 9	22,00

Año 2	
Nombre del Pozo	Tiempo de Construcción del Pozo (Días)
P - 10	21,71
P - 11	21,42
P - 12	21,48
P - 13	22,30
P - 14	16,76
P - 15	22,87
P - 16	22,57
P - 17	20,62
P - 18	21,43
P - 19	22,20
P - 20	21,11
P - 21	20,65

Año 5	
Nombre del Pozo	Tiempo de Construcción del Pozo (Días)
P - 22	25,15
P - 23	25,45
P - 24	26,70
P - 25	21,83
P - 26	21,11
P - 27	26,64
P - 28	30,58
P - 29	29,44
P - 30	28,12
P - 31	27,88
P - 32	25,60
P - 33	25,95
P - 34	24,08
P - 35	24,65
P - 36	22,75
P - 37	24,96
P - 38	24,89
P - 39	21,57
P - 40	23,98
P - 41	29,89
P - 42	29,67

Año 6	
Nombre del Pozo	Tiempo de Construcción del Pozo (Días)
P - 43	31,29
P - 44	26,52
P - 45	24,50
P - 46	28,84
P - 47	27,50
P - 48	22,10
P - 49	30,31
P - 50	23,79
P - 51	28,24
P - 52	21,50
P - 53	31,73
P - 54	31,04
P - 55	33,83
P - 56	33,64
P - 57	29,12
P - 58	31,45
P - 59	30,34
P - 60	25,96

Año 7	
Nombre del Pozo	Tiempo de Construcción del Pozo (Días)
P - 61	35,21
P - 62	28,05
P - 63	28,01
P - 64	40,27
P - 65	44,53
P - 66	34,68
P - 67	33,34
P - 68	32,53
P - 69	31,42
P - 70	33,86
P - 71	34,75
P - 72	29,12
P - 73	32,48
P - 74	30,07
P - 75	30,39

Como el tamaño de la muestra es considerablemente grande, para el calculo de la media se dividió la muestra en 15 sub – grupos, desde el pozo 1 al 5 y sucesivamente hasta alcanzar la totalidad de la muestra, a cada sub - grupo se le calculó la media y con ellas se calculo la media de toda la muestra. A continuación se muestra el calculo tipo para el primer sub – grupo.

Nombre del Pozo	Tiempo de Construcción del Pozo (Días)
P - 1	27,01
P - 2	24,00
P - 3	22,01
P - 4	26,02
P - 5	24,08

$$\left. \right\} \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n=5} X_i}{n} = \frac{27,01 + 24 + 22,01 + 26,02 + 24,08}{5} = 24.62 \text{ días}$$

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

Sub - Grupo	Media (Días)
1	24,62
2	23,35
3	20,97
4	21,59
5	23,95
6	27,18
7	25,63
8	23,63
9	28,37
10	26,51
11	29,27
12	30,10
13	35,21
14	33,17
15	31,36

A partir de estos valores se calcula la media de todo el Proceso.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n=15} X_i}{n} = \frac{24,62 + 23,35 + 20,97 + 21,59 + 23,95 + 27,18 + 25,63 + 23,63 + 28,37 + 26,51 + 29,27}{15} +$$

$$+ \frac{30,10 + 35,21 + 33,17 + 31,36}{15} = \boxed{26,99 \text{ días}}$$

Para el calculo del límite superior de control, necesitamos el rango (R) del proceso, que según el Marco Teórico es:

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

Para el Proceso de Construcción de Pozos los valores se registran en la siguiente tabla:

Nombre del Pozo	Tiempo de Construcción de Pozo (Días)	
P - 65	44,53	<b>Xmax</b>
P - 14	16,76	<b>Xmin</b>

$$R = 44,53 + 16,76 = \boxed{27,77 \text{ días}}$$

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 <sub>2</sub>
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

Para el tamaño de 15 sub – grupos, A<sub>2</sub> es 0,21 entonces, el límite superior de control es:

$$LSC\bar{x} = \bar{X} + R * A_2 = 26,99 + (27,77 * 0,21) = 32,83 \text{ días}$$

y el límite inferior de control es:

$$LIC\bar{x} = \bar{X} - R * A_2 = 26,99 - (27,77 * 0,21) = 21,16 \text{ días}$$

De esta manera se calcularon los límites de control y la media del Proceso, Fases, Actividades y Sub – Actividades incluidas en el Análisis de Resultados.

## 2. CALCULO TIPO PARA EL HISTORAMA DE FRECUENCIA

Para el calculo de las clases del histograma de frecuencia del Proceso de Construcción de Pozos se utilizo el proceso descrito en el punto 4.4.6 del Marco Teórico:

1. El tamaño de la muestra,  $n$ , es igual a 75 pozos
- 2 y 3. El Rango es  $R = 27,77$  días, calculado en el punto anterior del anexo
4. La cantidad de clases fue calculada de la siguiente manera:

$$k = \sqrt{n} = \sqrt{75} = 8,66 \approx 9$$

5. La amplitud de las clases es:

$$A = \frac{R}{k} = \frac{27,77}{9} = 3,09 \approx 3$$

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

Clases (k)	Límite Inferior (Días)	Límite Superior (Días)
1	16,72	19,97
2	19,97	23,17
3	23,17	26,38
4	26,38	29,59
5	29,59	32,79
6	32,79	36,00
7	36,00	39,21
8	39,21	42,41
9	42,41	45,62

7. Las Marcas de Clase se calcularon con la siguiente función:

$$Xi = \frac{(Ls + Li)}{2}$$

y se determinó para cada primera clase de cada fase como se muestra a continuación para la fase de Mudanza:

$$Xi = \frac{(1,33 + 0,94)}{2} = \boxed{1,14 \text{ días}}$$

8. La distribución de los datos se muestran a continuación

Clases (k)	Límite Inferior (Días)	Límite Superior (Días)	Frecuencia
1	16,72	19,97	1
2	19,97	23,17	20
3	23,17	26,38	17
4	26,38	29,59	14
5	29,59	32,79	14
6	32,79	36,00	7
7	36,00	39,21	0
8	39,21	42,41	1
9	42,41	45,62	1

## RESUMEN DE OPERACIONES

**Nombre del Pozo:** P-58

**Localización:** XXX

**Nom. Camp:** XXX

**Objetivo:** Arenas C-2.

**Clasificación:** A-O

**Costo P./R.:**

**Tiempo Est.:** 26 días

**Tiempo Real:** 32 días

**Prof. Est.:** 11450 pies

**Prof. Real:** 11450 pies

**Inicio perf.:** 20/04/XX

**Fin perf.:** 21/05/XX

### Esquema de Revestidores / Completación

Hoyo	Diám. Hoyo	Fluid. Perf.	Long. Perf.	Revestidor	Comentarios
<b>Superficie</b>	12-1/4	ADL	0-2030	Zapata 9-5/8" 36lb/p	S/P
<b>Producción</b>	8-1/2	100% Aceite	2030-11448	Zapata 5-1/2 17lb/p	(a)
				N-80 – P-110	Anexo
<b>Tub. Comp</b>	2-7/8"**6.5#*N-80 con Empacadura HYD "Hidro-8"				0-10630

**Registros Eléctricos:** Compañía: Halliburton logging Services.

.-GR/CNL/CAL: -RFT.:  
desde 10840' hasta 11320' 20 puntos.

**Intervalos Cañoneados:**

Se cañonearán los siguientes intervalos con cañón tipo deep penetration 28.5", 6 tiros por pie

10747'-10755' (6') 10576'-10578' (4')  
10587'-10591' (5') 11110'-11115' (16')

**Comentarios:**

(a) Perforó hoyo se Superficie a tasa controlada los primeros 500 pies. Bajó mecha de 8-1/2" perforando hoyo de producción desde 2030' hasta 3111', saco mecha a mecha a superficie por baja rata de penetración encontrando mecha con desgaste general (100%). Continuó perforando con mecha PDC de 8-1/2" G-545 y sarta estabilizada a 30'-60' desde 3111' hasta 11450' (PT), se empleó lodo versacore 100% gas-oil con peso final de 80 Ippc.

Nota: Bajó y cemento revestidor de 5-1/2 a 11448' sin problemas. El registro CBL-VDL indicó buena adherencia de cemento a la tubería y formación para las arenas objetivos.

**Arrastre a:**

10585' 40MLBs

**Repasos a:**

8554' hasta 9053'  
9635' hasta 9785'

**Pegas a:**

10585'

## RESUMEN DE OPERACIONES

<b>Nombre Pozo:</b> P-60	<b>Tiempo Est.:</b> 37 días
<b>Localización:</b> XXX	<b>Tiempo Real:</b> 26 días
<b>Nom. Camp:</b> XXX	<b>Prof. Est.:</b> 12900 pies
<b>Objetivo:</b> Arenas C-2.	<b>Prof Real:</b> 12900 pies
<b>Clasificación:</b> A-O	<b>Inicio perf.:</b> 24/04/XX
<b>Costo P./R.:</b>	<b>Fin perf.:</b> 19/05/XX

### Esquema de Revestidores / Completación

Hoyo	Diám. Hoyo	Fluid. Perf.	Long. Perf.	Revestidor	Comentarios
<b>Superficie</b>	12-1/4	ADL	0-2045	Zapata 9-5/8" 36lb/p	S/P
<b>Producción</b>	8-1/2	CBM-Lignos	2000-12900	Zapata 5-1/2 17lb/p	(a)
				P-110	Pta de tubería
<b>Tub. Comp</b>	<b>2-7/8"**6.5#*P-110 con Empacadura Hidro-8</b>				<b>0-11910</b>

**Registros Eléctricos:** Compañía: W. Atlas.

.-GR.: -RFT.:  
desde 12840' hasta 10000' 20 puntos.

**Intervalos Cañoneados:**

Se bajo cañón de 3-3/8" y se cañoneo los siguientes intervalos a 6 TPP y 60° de fase

12747'-12755' (8')	12576'-12578' (2')
12587'-12591' (4')	11678'-1 1683' (5')
12581'-12583' (2')	

**Comentarios:**

(a) Se perforó a tasa controlada los primeros 500 pies del Hoyo de Superficie. Perforó hoyo de producción con mecha de 8-1/2" hasta 3500', donde realizó cambio de lodo ADL por Lignosulfonato. Lanzó multishot @ 6993' bombeo y desplazó píldora de viaje. Sacó tubería desde 6993' hasta superficie. Conectó mecha#3 y perforó hasta 9053', Lanzó multishot Sacó tubería del hoyo. Armó y bajó BHA compuesto por motor de fondo y perforó hasta 10755 sacó tubería hasta superficie, Armó y bajo sarta 5/motor de fondo perforando hasta 12900' (P.T.).

**Arrastre a:**

7843' hasta 6900' (Puntuales)	40MLBs
9053' hasta 7658' (Puntuales)	30MLBs
10755' hasta 9345'	30MLBs.
12900' hasta 10600'	

**Repasos a:**

8554' hasta 9053'
-------------------

**Pegas a:**

**Pérdida de circulación a:**  
9345'

## RESUMEN DE OPERACIONES



**Hoyo de Superficie:** 1550' (Revestidor 10-3/4,  
J-55 40.5 #/pie @ 1550')

**Hoyo de Producción:** Perforó hoyo de 8-1/2" con mecha #2 H/4700', cambió ADL por Emulsión de Petróleo, continuó perforando con mecha #2 @ 13 H/11572', circuló. STH. No reportó problemas operacionales. Corrió registros Induction Log, GR, FDC y CNL,, Proximity, Microlog y Dipmeter, sin problemas. No encontró arenas prospectivas y abandono pozo con tapones de cemento.

Hoyo 9-//8 H / 11572'  
ABANDONADO

**P-39** ( Perforado del 04 / 09 / XX al 26 / 09 / XX ) (22 días)

## FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Profund.	Tipo de lodo	P(LPG)	VE(SEG/QT)	VP(cps)	PC(lbs/p)
<b>1550</b>	CBM	8.5	36	-	-
<b>470</b>	CBM	8.5	35	-	-
<b>5010</b>	Emulsión de Petróleo	8.9	35	-	-
<b>6700</b>	Emulsión de Petróleo	9.2	36	6	3
<b>7623</b>	Emulsión de Petróleo	9.5	41	10	4
<b>8100</b>	Emulsión de Petróleo	9.6	40	11	5
<b>8350</b>	Emulsión de Petróleo	9.7	40	9	3
<b>8990</b>	Emulsión de Petróleo	9.8	40	14	5
<b>9660</b>	Emulsión de Petróleo	9.8	40	12	4
<b>10038</b>	Emulsión de Petróleo	9.9	42	10	4
<b>10900</b>	Emulsión de Petróleo	9.7	42	17	6
<b>11033</b>	Emulsión de Petróleo	9.8	43	16	5
<b>11330</b>	Emulsión de Petróleo	9.8	41	14	3
<b>11440</b>	Emulsión de Petróleo	9.8	40	14	4
<b>11572</b>	Emulsión de Petróleo	10.0	44	21	6

## PROGNOSIS GEOLÓGICA

Topes geológicos esperados

Formación/Miembro	Profun.(BNL)	Profun.(BMR)	Presión (psi)	P (LPG)
<b>Sta Bárbara</b>	8060	8110		
<b>Disc. Eoceno</b>	8090	8140		
<b>Misoa/C-4-X</b>	10130	10180		
<b>Misoa/C-5-X</b>	10630	10680		
<b>Misoa/C-6-X</b>	11030	11080		
<b>Profun. final</b>	11522	11572		



## RESUMEN DE OPERACIONES

**Hoyo de Superficie:** Perforó con mecha #1 a tasa controlada los 1° 500 pies H/2036, circuló, realizó viaje corto H/641', regresó al fondo sin problemas, circuló. Corrió GR, mostró una arena de 50' interpretada gasifera. Bajo y cementó. Rev 10-3/4' J-55 40.5#/pie STC @ 2018'

**Hoyo de Producción:** Perforó hoyo 9-5/8" con mecha #2 H/4400', cambió ADL por Emulsión de Petróleo, continuó perforando con mecha #2 @ 24 H/12164', circuló. STH. No reportó problemas operacionales. Corrió registros IEL, SL, Log, WSS, Directional, Microlog y Dipmeter, sin problemas. Bajo y cementó revestidor de 7" @ 12029'. Esperó fraguado, corrió registros GR, observó mala cementación. Cementación forzada Cañoneo y completó pozo

Revest 7" @ 12029'

**P-65** ( Perforado del 28 / 09 / XX al 10 / 11 / XX ) (43 días)

## FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Profund.	Tipo de lodo	P(LPG)	VE(SEG/QT)	VP(cps)	PC(lbs/p)
2036	CBM	8.9	50	-	-
5129	CBM	9.2	35	-	-
6445	UNICAL	9.4	35	-	-
7801	UNICAL	9.6	35	-	-
8154	UNICAL	9.7	40	-	-
8860	UNICAL	9.9	40	-	-
9514	UNICAL	10.0	45	-	-
9735	UNICAL	9.9	40	-	-
10300	UNICAL	9.8	40	-	-
10540	UNICAL	10.0	45	-	-
10691	UNICAL	10.1	48	-	-
10955	UNICAL	10.1	45	-	-
11491	UNICAL	10.0	46	-	-
11929	UNICAL	10.1	48	-	-
12164	UNICAL	10.1	48	-	-

## PROGNOSIS GEOLÓGICA

Topes geológicos esperados

Formación/Miembro	Profun.(BNL)	Profun.(BMR)	Presión (psi)	P (LPG)
Disc. Eoceno	8465	8510	-	-
Misoa/B-6-X	8514	8559	-	-
Misoa/C-1-X	9012	9057	-	-
Misoa/C-2-X	9353	9398	-	-
Misoa/C-3-X	10370	10415	-	-
Misoa/C-4-X	10720	10765	-	-
Misoa/C-4-B	10895	10940	-	-
Misoa/C-5-X	11260	11305	-	-
Profun. final	12105	12150	-	-

## HOJA DE EXCEL – FASE DE MUDANZA (AÑO 5)

Fase		MUDANZA												Tiempo Total								
		Tiempo Productivo Total						Tiempo No Productivo Total														
Pozo	Tiempo Total de Construcción de Pozos	Baja		Desvestir		Transportar		Vestir		Mantenimiento		Espera	Luz del Día	Desvestir / Transportar / Vestir / Mantenimiento		Paro	Ciclo / Síndical / Legal	Reparaciones		Espera	Condiciones Ambientales	Otras
		Desvestir	Disconnectar Tubería	Transportar	Laventar Andía / Sotar Boyas	Agarrar Boyas / Posicionar Equipo	Vestir Conducto / Instalar Chimenea	Acondicionar Parar Tubería	Mantenimiento Programado	Acoplamiento de Equipo	Espera			Reparaciones								
P-22	25,15	0,49	0,27	0,31	0,08	0,21	0,19	0,10	0,03	0,05	0,07	0,00	1,80	0,00	0,18	0,18	0,18	0,16	0,70	2,50		
P-23	25,37	0,52	0,28	0,33	0,08	0,43	0,20	0,10	0,03	0,05	0,07	0,00	2,09	0,00	0,19	0,19	0,19	0,17	0,74	2,83		
P-24	26,70	0,18	0,10	0,45	0,12	0,48	0,26	0,10	0,04	0,05	0,07	0,25	2,10	0,00	0,18	0,18	0,17	0,16	0,69	2,79		
P-25	21,83	0,42	0,23	0,25	0,07	0,33	0,07	0,03	0,01	0,05	0,07	0,00	1,53	0,00	0,00	0,00	0,30	0,24	0,54	3,07		
P-26	21,11	0,44	0,24	0,27	0,08	0,35	0,07	0,03	0,01	0,05	0,07	0,00	1,61	0,00	0,00	0,00	0,33	0,23	0,56	2,17		
P-27	26,64	0,35	0,25	0,29	0,14	0,38	0,18	0,09	0,03	0,05	0,07	0,40	2,23	0,00	0,12	0,12	0,12	0,11	0,47	2,70		
P-28	30,98	0,22	0,12	0,41	0,07	0,90	0,15	0,10	0,03	0,05	0,07	0,30	2,12	0,00	0,11	0,11	0,11	0,10	0,43	2,55		
P-29	29,44	0,46	0,25	0,29	0,01	0,38	0,17	0,08	0,03	0,05	0,07	0,50	2,30	0,00	0,16	0,16	0,16	0,16	0,64	2,94		
P-30	28,12	0,18	0,10	0,35	0,11	0,39	0,16	0,11	0,04	0,05	0,07	0,25	1,81	0,00	0,13	0,13	0,13	0,10	0,49	2,30		
P-31	27,88	0,15	0,08	0,40	0,09	0,50	0,25	0,12	0,04	0,05	0,07	0,35	2,11	0,00	0,11	0,11	0,11	0,09	0,42	2,53		
P-32	25,60	0,45	0,27	0,31	0,07	0,44	0,21	0,11	0,03	0,05	0,07	0,00	2,01	0,00	0,15	0,15	0,15	0,11	0,55	2,57		
P-33	25,95	0,41	0,25	0,28	0,08	0,36	0,17	0,09	0,01	0,05	0,07	0,15	1,91	0,00	0,11	0,11	0,11	0,10	0,43	2,34		
P-34	24,08	0,52	0,28	0,31	0,08	0,41	0,08	0,04	0,02	0,05	0,07	0,00	1,96	0,00	0,00	0,00	0,40	0,26	0,66	2,52		
P-35	24,65	0,55	0,29	0,33	0,08	0,43	0,09	0,05	0,01	0,05	0,07	0,00	1,95	0,00	0,00	0,00	0,42	0,27	0,69	2,84		
P-36	22,75	0,51	0,28	0,31	0,07	0,40	0,08	0,04	0,01	0,05	0,07	0,00	1,82	0,00	0,17	0,16	0,16	0,16	0,65	2,47		
P-37	24,96	0,46	0,24	0,29	0,07	0,38	0,18	0,08	0,03	0,05	0,07	0,00	1,85	0,00	0,17	0,16	0,16	0,16	0,65	2,60		
P-38	24,89	0,46	0,24	0,29	0,07	0,38	0,18	0,04	0,03	0,05	0,07	0,00	1,81	0,00	0,17	0,17	0,16	0,16	0,65	2,47		
P-39	21,57	0,45	0,24	0,27	0,07	0,35	0,08	0,04	0,01	0,05	0,07	0,00	1,63	0,00	0,00	0,00	0,35	0,23	0,68	2,21		
P-40	23,98	0,47	0,25	0,28	0,12	0,37	0,08	0,04	0,01	0,05	0,07	0,00	1,74	0,00	0,00	0,00	0,36	0,24	0,80	2,24		
P-41	23,93	0,20	0,10	0,49	0,13	0,64	0,29	0,14	0,01	0,05	0,07	0,00	2,12	0,00	0,20	0,19	0,19	0,19	0,77	2,29		
P-42	23,67	0,20	0,12	0,46	0,14	0,35	0,32	0,15	0,05	0,05	0,07	0,00	1,91	0,00	0,14	0,14	0,14	0,12	0,54	2,45		

**HOJA DE EXCEL – FASE DE PERFORACIÓN Y REVESTIMIENTO  
DEL HOYO DE SUPERFICIE (AÑO 5)**

Fase		PERFORACIÓN						REVESTIMIENTO						Tiempo No Productivo			
		Tiempo Productivo Total		Fase de Revestimiento de Superficie				Tiempo Productivo Total									
Etapa		Perforación del Hoyo de Superficie				Tiempo Total	Cortar Revestidor de Superficie		Cementar		Lavar Revestidor		Pruebas		Actividades Comunes		
Pozo	Tiempo Total de Construcción de Pozos	Perforar	Viaje	Acord. Fluido	Cambio del Sistema de Fluido		Act. Comunes								Falla en la Comida Revestidor	Falla de Cementación	Tiempo Total
P-22	25,15	0,39	0,04	0,05	0,06	0,06	0,60	0,60	0,35	1,00	0,30	0,29	0,09	1,93	0,00	0,52	0,52 1,93
P-23	25,37	0,40	0,04	0,05	0,07	0,07	0,64	0,64	0,27	0,88	0,12	0,28	0,09	1,64	0,00	0,48	0,48 1,64
P-24	26,70	0,50	0,07	0,09	0,09	0,12	0,87	0,87	0,25	0,95	0,13	0,26	0,09	1,68	0,00	0,50	0,50 1,68
P-25	21,83	0,32	0,04	0,04	0,05	0,05	0,49	0,49	0,22	0,98	0,17	0,24	0,09	1,70	0,00	0,56	0,56 1,70
P-26	21,11	0,34	0,04	0,04	0,05	0,05	0,51	0,51	0,28	0,96	0,09	0,24	0,09	1,66	0,00	0,54	0,54 1,66
P-27	26,64	0,58	0,07	0,07	0,10	0,11	0,93	0,93	0,34	0,91	0,07	0,25	0,09	1,66	0,00	0,54	0,54 1,66
P-28	30,58	0,28	0,11	0,13	0,08	0,12	0,72	0,72	0,33	0,75	0,15	0,28	0,09	1,60	0,00	0,48	0,48 1,60
P-29	29,44	0,59	0,07	0,07	0,10	0,11	0,93	0,93	0,27	0,91	0,16	0,26	0,09	1,68	0,00	0,52	0,52 1,68
P-30	28,12	0,61	0,07	0,07	0,10	0,11	0,95	0,95	0,26	1,06	0,12	0,23	0,09	1,76	0,00	0,50	0,50 1,76
P-31	27,98	0,64	0,07	0,08	0,10	0,12	1,01	1,01	0,36	0,99	0,13	0,14	0,09	1,71	0,00	0,50	0,50 1,71
P-32	25,60	0,59	0,07	0,07	0,07	0,11	0,91	0,91	0,27	0,88	0,14	0,19	0,09	1,37	0,00	0,48	0,48 1,37
P-33	25,95	0,40	0,04	0,05	0,06	0,07	0,63	0,63	0,29	0,79	0,09	0,38	0,09	1,64	0,00	0,56	0,56 1,64
P-34	24,08	0,35	0,04	0,04	0,06	0,06	0,55	0,55	0,10	1,14	0,07	0,38	0,09	1,78	0,00	0,56	0,56 1,78
P-35	24,65	0,36	0,04	0,04	0,05	0,06	0,55	0,55	0,51	1,40	0,05	0,25	0,09	2,30	0,00	0,48	0,48 2,30
P-36	22,75	0,33	0,04	0,04	0,06	0,05	0,52	0,52	0,30	0,87	0,18	0,24	0,09	1,48	0,00	0,50	0,50 1,48
P-37	24,96	0,39	0,04	0,04	0,06	0,06	0,59	0,59	0,25	0,98	0,19	0,23	0,09	1,74	0,00	0,50	0,50 1,74
P-38	24,89	0,39	0,04	0,03	0,05	0,06	0,57	0,57	0,26	0,96	0,17	0,21	0,09	1,68	0,00	0,48	0,48 1,68
P-39	21,57	0,31	0,03	0,04	0,05	0,05	0,48	0,48	0,37	0,97	0,12	0,56	0,09	2,11	0,00	0,56	0,56 2,11
P-40	23,98	0,34	0,04	0,02	0,11	0,05	0,56	0,56	0,39	0,93	0,13	0,20	0,09	1,74	0,00	0,54	0,54 1,74
P-41	23,89	0,63	0,07	0,08	0,11	0,12	1,02	1,02	0,34	0,91	0,16	0,16	0,09	1,86	0,00	0,54	0,54 1,86
P-42	29,67	0,56	0,10	0,09	0,09	0,10	0,94	0,94	0,19	0,94	0,13	0,17	0,09	1,52	0,00	0,52	0,52 1,52

**HOJA DE EXCEL – FASE DE PERFORACIÓN DEL HOYO DE PRODUCCIÓN Y EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y PETROFÍSICA (AÑO 5)**

Fase	PERFORACIÓN												EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y PETROFÍSICA														
	Etapa	Tiempo Productivo Total						Tiempo Productivo Total						Tiempo Productivo Total						Tiempo No Productivo Total							
		Perforación del Hoyo de Producción	Retirar Cimentación / Instalar Cabezal / Pórtula	Viaje	Acopl. Hoyo	Ampliar Hoyo	Acopl. Piso	Act. Comunes	Tiempo Productivo Total	Recom. Fricc.	Falla Susto de Perforación	Desvío	Act. Comunes	Tiempo Total	Medida de Presión / Temperatura	Corer	Toma de Nuevos	Toma de Muestras	Actividades Comunes	Falla de Registros	Falla de Muestras	Condiciones Ambientales	Actividades Comunes	Tiempo Total			
P-22	25,6	0,14	6,10	251	0,47	0,51	0,57	0,42	10,73	0,00	0,00	0,10	1,87	1,97	12,70	1,00	0,65	0,00	0,00	0,04	1,89	0,20	0,00	0,07	0,05	0,32	201
P-23	25,7	0,14	7,10	269	0,46	0,53	0,56	0,38	12,16	0,00	0,00	0,02	1,01	1,03	13,19	0,95	0,62	0,00	0,00	0,04	1,61	0,28	0,00	0,07	0,05	0,41	202
P-24	26,70	0,14	5,56	3,87	0,51	0,51	0,64	0,45	11,49	0,58	0,00	0,13	1,15	1,86	13,34	1,06	0,98	0,30	0,00	0,04	2,38	0,27	0,14	0,07	0,05	0,53	291
P-25	21,83	0,14	4,90	2,00	0,45	0,38	0,46	0,53	9,45	0,00	0,00	0,13	1,16	1,29	10,74	0,95	0,74	0,00	0,00	0,04	1,73	0,00	0,00	0,07	0,05	0,12	165
P-26	21,11	0,15	4,88	2,25	0,47	0,39	0,46	0,53	8,80	0,00	0,00	0,00	1,01	1,01	9,51	0,90	0,63	0,41	0,00	0,04	1,98	0,31	0,13	0,07	0,05	0,56	254
P-27	26,64	0,14	7,66	3,01	0,50	0,49	0,59	0,37	12,75	0,00	0,00	0,08	1,27	1,35	14,10	0,62	0,59	0,16	0,05	0,04	1,45	0,20	0,17	0,07	0,05	0,48	195
P-28	26,59	0,15	9,90	3,70	0,58	0,37	0,90	0,64	15,74	0,07	0,00	0,17	1,02	1,36	18,17	0,94	0,51	0,49	0,09	0,04	2,07	0,16	0,15	0,07	0,05	0,49	250
P-29	29,44	0,14	9,63	2,31	0,49	0,37	0,78	0,40	14,12	0,00	0,00	0,00	1,98	1,98	16,10	0,95	0,79	0,00	0,15	0,04	1,93	0,19	0,00	0,07	0,05	0,31	224
P-30	26,12	0,14	9,25	2,71	0,50	0,52	0,88	0,38	14,39	0,00	0,00	0,00	1,13	1,13	15,52	0,93	0,81	0,38	0,13	0,04	2,37	0,16	0,12	0,07	0,05	0,40	271
P-31	27,88	0,14	8,20	2,98	0,49	0,53	0,86	0,42	13,63	0,00	0,00	0,15	1,08	1,23	14,86	0,91	0,96	0,16	0,00	0,04	2,03	0,14	0,18	0,07	0,05	0,44	251
P-32	25,60	0,14	6,56	2,88	0,51	0,51	0,65	0,39	11,84	0,00	0,00	0,13	1,02	1,25	12,88	0,97	0,64	0,16	0,00	0,04	1,70	0,20	0,14	0,07	0,05	0,16	278
P-33	25,55	0,14	7,71	2,65	0,49	0,53	0,86	0,38	12,94	0,00	0,00	0,00	1,98	1,98	14,92	0,94	0,76	0,00	0,12	0,04	1,65	0,25	0,00	0,07	0,05	0,37	157
P-34	24,08	0,13	6,10	2,57	0,46	0,52	0,81	0,32	10,91	0,00	0,00	0,15	1,85	2,01	12,92	1,05	0,57	0,00	0,15	0,04	1,62	0,24	0,00	0,07	0,05	0,36	198
P-35	24,65	0,14	5,91	2,25	0,47	0,51	0,68	0,33	10,30	0,00	0,00	0,05	1,65	1,70	12,00	1,08	0,46	0,00	0,19	0,04	1,49	0,21	0,00	0,07	0,05	0,33	181
P-36	22,75	0,13	5,48	2,14	0,46	0,52	0,73	0,29	9,74	0,00	0,00	0,03	1,65	1,48	11,22	1,03	0,89	0,00	0,00	0,04	1,95	0,20	0,00	0,07	0,05	0,32	228
P-37	24,95	0,14	5,90	2,82	0,48	0,51	0,72	0,34	10,92	0,00	0,00	0,14	1,32	1,46	12,38	1,00	0,74	0,12	0,00	0,04	1,90	0,19	0,36	0,07	0,05	0,67	257
P-38	24,93	0,14	6,87	2,56	0,48	0,57	0,68	0,38	11,53	0,00	0,00	0,11	1,16	1,27	12,65	1,09	0,49	0,00	0,00	0,04	1,62	0,16	0,00	0,07	0,05	0,28	190
P-39	21,57	0,13	4,92	2,01	0,36	0,53	0,58	0,23	8,75	0,00	0,00	0,08	1,14	1,22	9,97	0,96	0,76	0,00	0,00	0,04	1,76	0,00	0,00	0,07	0,05	0,12	188
P-40	23,98	0,13	5,68	2,00	0,49	0,56	0,73	0,43	12,21	0,00	0,00	0,08	1,20	1,28	11,49	0,94	1,06	0,00	0,10	0,04	2,14	0,05	0,00	0,07	0,05	0,31	311
P-41	23,99	0,14	8,65	3,13	0,50	0,51	0,81	0,29	14,13	0,05	0,23	0,11	1,00	1,29	15,52	0,99	1,37	0,10	0,00	0,04	2,50	0,15	0,07	0,07	0,05	1,14	384
P-42	24,67	0,15	9,91	2,66	0,54	0,52	0,87	0,58	15,63	0,04	0,00	0,17	1,60	1,81	17,24	1,04	1,00	0,00	0,00	0,04	2,08	0,16	0,00	0,07	0,05	0,36	236

**HOJA DE EXCEL – FASE DE REVESTIMIENTO DE PRODUCCIÓN Y COMPLETACIÓN (AÑO 5)**

Fase		REVESTIMIENTO										COMPLETACIÓN					
		Tiempo Productivo Total					Tiempo No Productivo Total					Tiempo Productivo Total		Tiempo No Productivo Total			
		Etapa	Bajar y Cementar Revestidor de Producción				Revestir Hoyo de Producción				Tiempo Total	Completación	Completación	Tiempo Total			
			Pozo	Tiempo Total de Construcción de Pozos	Bajar Revestidor de Cementar Superficie	Limpiar Revestidor	Pruebas	Act. Comunes	Falla Bajando Revestidores	Fallas de Cementación							
P-22	25,15	1,01	0,44	1,08	0,73	0,27	3,54	0,04	0,09	0,01	0,02	0,16	3,70	1,05	1,06	0,67	1,72
P-23	25,37	1,01	0,46	1,09	0,89	0,29	3,54	0,05	0,09	0,01	0,03	0,18	3,72	1,00	1,00	0,33	1,33
P-24	26,70	0,93	0,47	1,05	0,77	0,25	3,46	0,00	0,09	0,01	0,02	0,12	3,58	1,15	1,15	0,38	1,53
P-25	21,93	0,97	0,41	0,81	0,54	0,27	3,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,06	3,06	1,62	1,62	0,30	1,92
P-26	21,11	0,95	0,43	1,04	0,73	0,25	3,40	0,06	0,09	0,00	0,02	0,17	3,57	0,85	0,85	0,20	1,05
P-27	26,64	1,04	0,42	1,03	0,65	0,29	3,43	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	3,45	1,21	1,21	0,63	1,84
P-28	30,98	0,91	0,45	1,06	0,84	0,27	3,54	0,00	0,09	0,01	0,02	0,12	3,66	1,21	1,21	0,24	1,45
P-29	29,44	0,92	0,47	1,40	0,61	0,25	3,68	0,05	0,00	0,00	0,02	0,07	3,73	1,11	1,11	0,70	1,81
P-30	29,12	1,02	0,51	1,17	0,65	0,25	3,60	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	3,62	0,99	0,98	0,21	1,20
P-31	27,88	0,96	0,41	1,19	0,89	0,29	3,55	0,06	0,00	0,00	0,02	0,08	3,63	0,98	0,98	0,65	1,83
P-32	25,80	0,88	0,44	0,96	0,73	0,29	3,30	0,06	0,00	0,00	0,02	0,08	3,38	1,42	1,42	0,30	1,72
P-33	25,95	1,02	0,36	1,32	0,61	0,27	3,58	0,05	0,09	0,01	0,02	0,17	3,76	1,14	1,14	0,00	1,14
P-34	24,08	0,92	0,34	1,08	0,59	0,27	3,21	0,05	0,09	0,01	0,02	0,17	3,38	0,73	0,73	0,21	0,94
P-35	24,65	0,95	0,58	1,15	0,72	0,25	3,65	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	3,68	0,99	0,98	0,68	1,67
P-36	22,75	0,99	0,44	1,10	0,61	0,29	3,43	0,05	0,00	0,00	0,02	0,07	3,51	0,77	0,77	0,50	1,27
P-37	24,96	1,15	0,45	1,06	0,65	0,27	3,59	0,00	0,09	0,00	0,02	0,11	3,70	0,90	0,90	0,58	1,48
P-38	24,89	1,02	0,34	1,07	0,73	0,25	3,40	0,06	0,09	0,00	0,02	0,17	3,58	1,18	1,18	0,65	1,83
P-39	21,57	0,92	0,42	1,11	0,89	0,25	3,39	0,07	0,09	0,00	0,02	0,18	3,57	1,04	1,04	0,31	1,35
P-40	23,98	0,88	0,37	1,22	0,81	0,29	3,56	0,07	0,00	0,01	0,02	0,10	3,66	0,84	0,84	0,24	1,08
P-41	29,99	0,95	0,35	1,51	0,61	0,29	3,71	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	3,74	0,84	0,84	0,58	1,42
P-42	29,67	1,02	0,39	1,18	0,65	0,27	3,51	0,06	0,09	0,00	0,02	0,17	3,67	1,27	1,27	0,21	1,48

## **ENCUESTAS**

**Nombre:** \_\_\_\_\_ **Edad:** \_\_\_\_\_

**1. Nivel de Instrucción:** (Marque con una X):

- . Universitaria: \_\_\_\_\_ . Postgrado: \_\_\_\_\_ . Doctorado: \_\_\_\_\_  
. Bachiller:..... \_\_\_\_\_  
. Primaria:..... \_\_\_\_\_

**2. Cargo que ocupa actualmente:** \_\_\_\_\_

**3. Tiempo que lleva ocupando dicho cargo:** \_\_\_\_\_

**4. Cargos anteriores que ha desempeñado:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**4.1. Tiempo que desempeño en cada cargo:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**5. Tiempo que lleva laborando en la Industria Petrolera:** \_\_\_\_\_

**6. Ha recibido cursos de capacitación:** SI : \_\_\_\_\_ NO: \_\_\_\_\_

**6.1. En caso de que la respuesta sea afirmativa; indique el tipo de curso que ha recibido y el tiempo de duración y dé un breve comentario:**

---

---

---

---

---

**6.2. En caso de que la respuesta sea negativa; indique que tipo de curso desearía recibir y porque. De su comentario:**

---

---

---

---

**7. En que Fase de la Construcción de Pozos participa usted::**

- **Mudanza**.....\_\_\_\_\_
- **Perforación**.....\_\_\_\_\_
- **Revestimiento**.....\_\_\_\_\_
- **Evaluación Geológica** ..\_\_\_\_\_
- **Completación**.....\_\_\_\_\_

**8. A su parecer cuáles son los principales problemas que se presentan en la fase que usted labora y cuáles son los principales causas que lo originan:****• Problemas:**

- Pega de Tubería.....: \_\_\_\_\_
- Arrastre.....: \_\_\_\_\_
- Pérdida de Circulación: \_\_\_\_\_
- Falla de Tubería.....: \_\_\_\_\_
- Falla de Revestidores..: \_\_\_\_\_
- Alto Torque.....: \_\_\_\_\_
- Falla de Equipos.....: \_\_\_\_\_
- Mal tiempo.....: \_\_\_\_\_
- Pega de herramientas..:\_\_\_\_\_
- Caídas de Presión.....: \_\_\_\_\_
- Derrumbes de Hoyo...: \_\_\_\_\_
- Otros.....: \_\_\_\_\_

**• Causas principales:**

- Experticia.....: \_\_\_\_\_
- Experticia.....: \_\_\_\_\_
- Mantenimiento.....: \_\_\_\_\_
- Motivación.....: \_\_\_\_\_
- Entrenamiento.....: \_\_\_\_\_

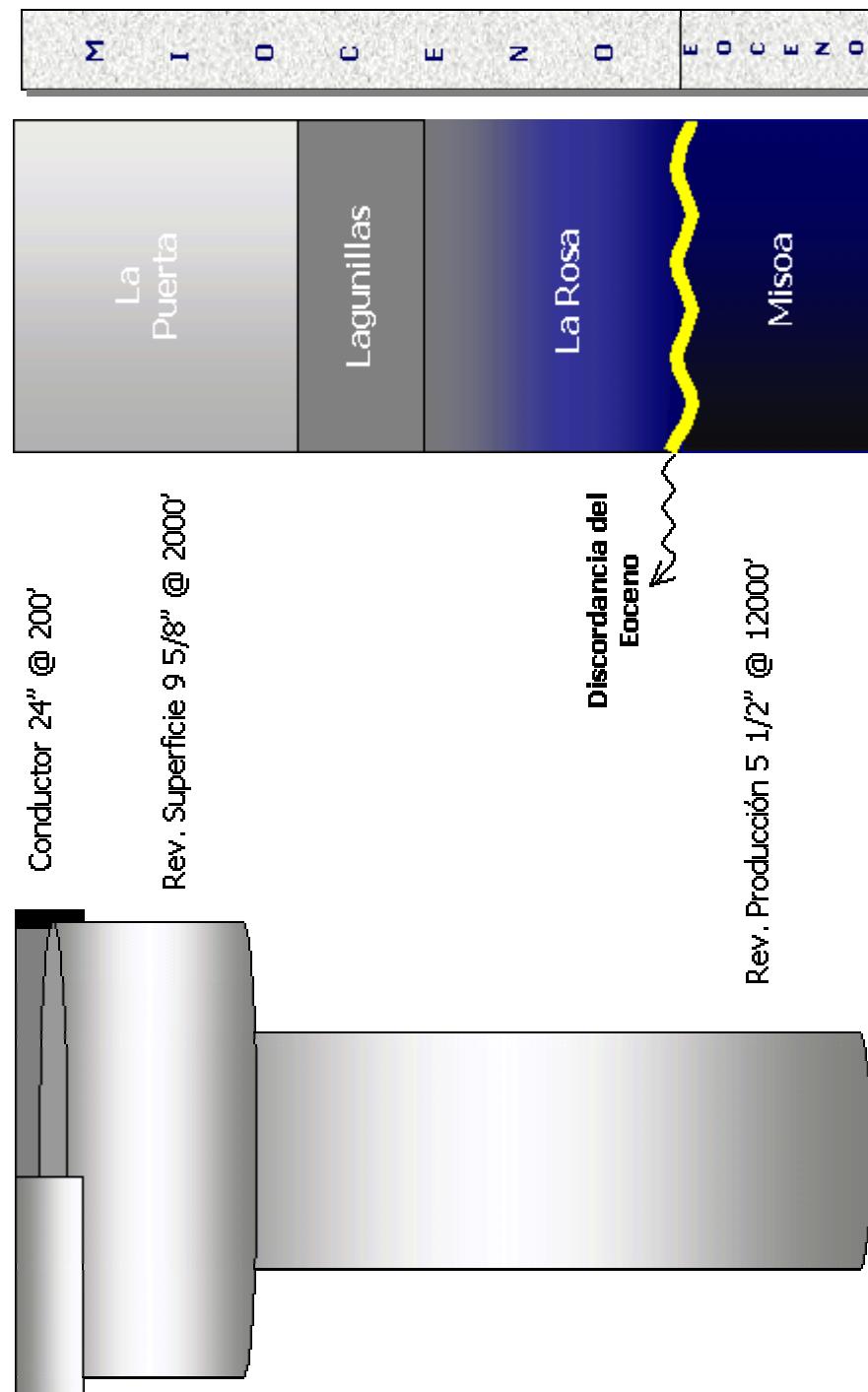
**9. Cree usted que para ser obrero de Taladro se requiere necesariamente ser Bachiller o Técnico Superior:**

SI:\_\_\_\_\_ NO:\_\_\_\_\_

**10. Cree usted que debería existir obreros profesionales que sirvan de base para una cuadrilla de Supervisión:**

SI: \_\_\_\_\_ NO: \_\_\_\_\_

## DISEÑO DE REVESTIDORES



## PROBLEMAS COMUNES EN EL ÁREA

Durante las operaciones de perforación ocurren con frecuencia problemas de atascamiento de tubería atribuidos a la inestabilidad del hoyo, condiciones del lodo y prácticas inadecuadas de perforación. Los principales problemas que ocurren en el campo son: Atascamiento de Tubería, y Pérdidas de Circulación.

### **A. ATASCAMIENTO DE TUBERÍA.**

El atascamiento de tubería es uno de los problemas comunes en este Campo. El problema se ha venido presentando en la mayoría de los pozos perforados en el área, en unos con más intensidad que en otros. Los atascamientos de tubería ocurren con más frecuencia en el hoyo de producción (hoyo de 8-1/2"). 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 podemos destacar las siguientes: Atascamiento por Presión Diferencial y Atascamiento por Inestabilidad del Hoyo.

#### **A.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 nos 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 hallan 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 perdidas de agua.

#### **A.1. 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 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

#### **B. 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, entre otras destacan:

- Debido a 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