



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**INCIDENCIAS DE LAS FALLAS MECÁNICAS EN EL
RENDIMIENTO DE LAS BOMBAS DE CAVIDAD PROGRESIVA
(BCP) DEL CAMPO CERRO NEGRO**

REALIZADO POR:

NERLYS ESTHER MARCANO CEDEÑO

**Trabajo especial de grado presentado como requisito parcial para optar
al título de:**

INGENIERO DE PETRÓLEO

MATURÍN, NOVIEMBRE 2010



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**INCIDENCIAS DE LAS FALLAS MECÁNICAS EN EL
RENDIMIENTO DE LAS BOMBAS DE CAVIDAD PROGRESIVA
(BCP) DEL CAMPO CERRO NEGRO**

**NERLYS ESTHER MARCANO CEDEÑO
C.I: 17.933.866**

REVISADO POR:

**Ing. Franklin Velasquez
Asesor Industrial**

**Ing. Ruben Vega
Asesor Académico**

MATURÍN, NOVIEMBRE 2010

ACTA DE APROBACION



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
Maturín / Monagas / Venezuela

ACTA PRELIMINAR DE TRABAJOS DE GRADO*

N° 1271

A los 4 días del mes de **Noviembre/2010**, siendo las **4:00 pm.** En la Sala “Dr. Luis Manuel Peñalver”, **Campus Los Guaritos, Núcleo Monagas de la Universidad de Oriente.**

A fin de cumplir con el requisito parcial exigido por el reglamento vigente para obtener el título de Ingeniero de Petróleo, se procedió a la presentación y discusión del Trabajo de Grado de la Bachiller: **Nerlys Esther Marcano Cedeño C.I. 17.933.866.** Titulado: **INCIDENCIAS DE LAS FALLAS MECÁNICAS EN EL RENDIMIENTO DE LAS BOMBAS DE CAVIDAD PROGRESIVA (BCP) DEL CAMPO CERRO NEGRO, COPEM.** Estando presentes los Miembros del Jurado: **Ing. Rubén Vega, Ing. Alicia Da Silva, Ing. Fernando Cañizales, Ing. Franklin Velásquez.** Se dio curso a la presentación, discusión y defensa del mencionado Trabajo, el cual se decidió Aprobar por unanimidad


Prof. Ing. Rubén Vega
C.I. 10.100.632
Asesor Académico


Prof. Ing. Alicia Da Silva
C.I. 8.348.931
Jurado


Prof. Ing. Fernando Cañizales
C. I. 5.978.843
Jurado


Ing. Franklin Velásquez
C.I.12.191.358
Asesor Industrial


Comisión Trabajos de Grado

* NOTA Para que esta acta tenga validez debe ser asentada en la hoja N° 087 del 8° libro de Actas de Trabajos de Grado de la Escuela de Petróleo de la Universidad de Oriente y estar debidamente firmada por el asesor y miembros del jurado.



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

RESOLUCIÓN

DE ACUERDO AL ARTÍCULO 41 DEL REGLAMENTO DE TRABAJOS DE GRADO:

“Los Trabajos son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien le participará al Consejo Universitario”.

DEDICATORIA

A Dios, Padre Todopoderoso, por estar en los momentos difíciles desde el inicio de mi carrera los cuales me enseñaron a no perder la fe y la confianza en mí misma y por darme la luz cuando más lo necesitaba.

A mis padres Miguel Marcano y Nerys de Marcano, por darme su ejemplo y apoyo con sabios consejos que me ayudaron a tener la personalidad que tengo y quisiera vivir dándoles satisfacciones porque Uds. se lo merecen. Sin su amor las cosas no hubiesen sido iguales. LOS AMO.

A mis hermanos Mignerys, Nermig, Josue y Misael, quienes ocupan un lugar especial en mi corazón. Por ser mi motivación y servirme de inspiración para realizar este viaje. Los admiro mucho.

A mis sobrinos Miguel Armando y Paola, por regalarme mucha alegría a través de sus sonrisas, espero servirles de ejemplo. Los adoro.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Dios todopoderoso por siempre acompañarme y guiarme durante toda mi vida. Gracias padre por haberme acompañado durante toda esta carrera y siempre levantarme después de la caída, a ti sea toda gloria y honra.

A mis padres Miguel Marcano y Nerys de Marcano por ser un gran ejemplo de lucha, gracias por haberme dejado sentir su gran apoyo y su inmenso cariño en mi vida. Gracias por acompañarme en todo momento y creer en mí. Los amo demasiado!

A mis Hermanos Nermig, Miguel josue, Misael y Luisiana por ser mis ejemplos a seguir, por apoyarme en cada etapa de mi vida. Gracias por cuidarme siempre y enseñarme a ser una mejor persona. Los amo mis hermanos bellos.

A mis ángeles de la guarda mi hermana la Ing. Mignerys Marcano y a quien considere como mi co asesora industrial Graciela Martins, Migne gracias por ser tan especial conmigo y siempre estar pendiente de cada paso que doy. Gracias por ayudarme incondicionalmente y nunca dejar que decayera; te quiero mucho mi hermana linda eres un tesoro. Graci desde que entre a la empresa no dejaste de aconsejarme y apoyarme, siempre corrigiéndome y brindándome tu cariño y amistad. Un millón de gracias eres una persona muy especial sigue siempre así y nunca cambies.

Al Ing. Franklin Velásquez, mi asesor industrial por su valiosa colaboración y guiarme en cada paso de mi trabajo. Por sus explicaciones, apoyo y por confiar en mí. Gracias por ser una excelente persona.

A mi asesor académico, Ing. Rubén Vegas por su respaldo y consejos para hacerlo cada vez mejor. Profesor, le agradezco su confianza y el ánimo que siempre me impartió.

A los Ing. Noel Ovando y María Esther Marcano mil gracias. Su ayuda desinteresada fue vital para emprender este trabajo. Siempre les agradeceré el apoyo que me brindaron en el momento que más lo necesité. Te quiero prima.

A los Ing. José Gonzales y Miguel, gracias por el tiempo que dedicaron para ayudarme en mi trabajo, por sus recomendaciones y orientación. Me sirvieron de mucho.

A la empresa mixta Petromonagas por brindarme la oportunidad de desarrollar mi trabajo de grado en sus instalaciones y por haber contribuido en mi enseñanza y preparación como Ingeniero de Petróleo.

A la Universidad de Oriente que me adoptó por largo tiempo y por contar dentro de esta casa de estudios con grandes personas que me ayudaron a crecer profesionalmente.

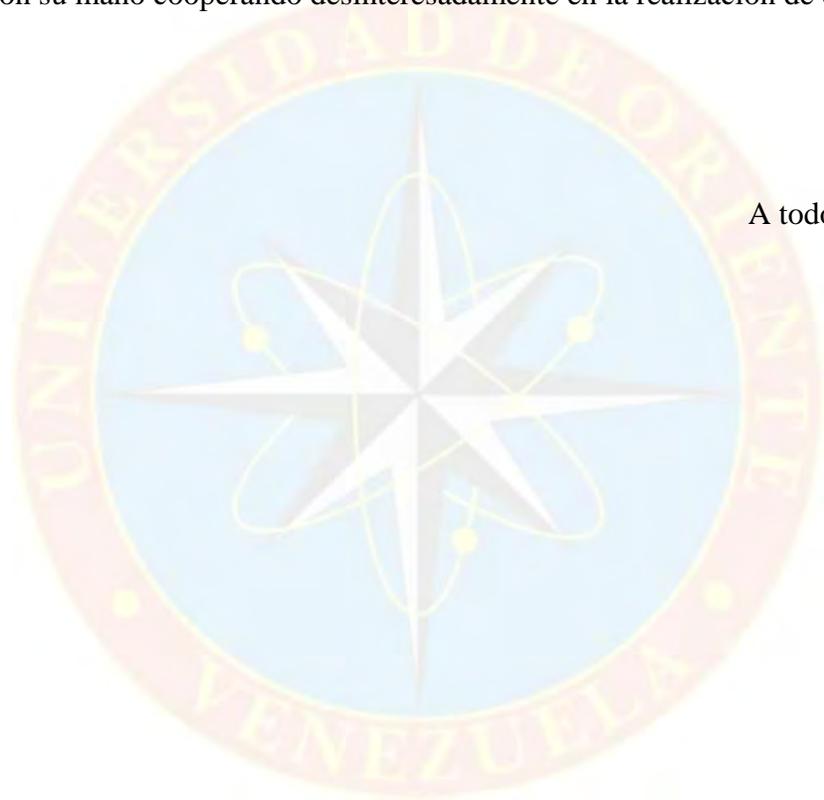
A mis amigos de toda la vida Rosangela M, Rosangela P, Jessica B, Maria V, Daniel V, Ángel y Eduardo. Gracias por ser como son y permitirme integrarme en este grupo súper especial. Son de lo mejor los quiero muchísimo.

A mis súper amigos de la UDO Rosa M, Nora, Karla, Norkis, Rosmary, Francis, José M, Jean Carlos y Manuel. Chicos gracias por compartir conmigo, brindarme su amistad, su cariño. Nunca me voy a olvidar de esos momentos alegres y tristes que vivimos juntos. En especial a rosa y a nora por su apoyo incondicional y estar conmigo cuando más las necesite. Los quiero muchísimo.

A mis compañeros tesisistas! Logramos formar una amistad y un grupo excelente, que todo el mundo fue capaz de reconocer: Carlos veliz, Aldemaro Guzmàn, Orlando Carriòn, Marlioz Sifontes y José Rivas. Gracias por su cariño. Muchachos cuenten conmigo.

Finalmente quiero agradecer a las personas que de una u otra forma me brindaron su mano cooperando desinteresadamente en la realización de este trabajo.

A todos mil gracias.



ÍNDICE

ACTA DE APROBACION	iii
RESOLUCIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE GRÁFICAS	xiii
LISTA DE TABLAS	xv
LISTA DE ABREVIATURAS	xvii
RESUMEN.....	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
EL PROBLEMA	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	5
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA EN ESTUDIO.....	8
2.3 BASES TEÓRICAS.....	9
2.3.1 Principios de Funcionamiento de las Bombas de Cavidad Progresiva (BCP)	9
2.3.2 Rangos de Aplicación del Método Levantamiento Artificial por Bombeo de Cavidad Progresiva	10
2.3.2.1 Ventajas.....	11
2.3.2.2 Desventajas	11
2.3.3 Configuración del Equipo de Levantamiento Artificial por Bombeo de Cavidad Progresiva	11
2.3.3.1 Equipos de Subsuelo	12
2.3.3.2 Equipos de Superficie	18
2.3.4 Factores que Afectan el Desempeño de las BCP	21
2.3.4.1 Temperatura de Operación.....	22
2.3.4.2 Fluidos del Pozo.....	22
2.3.4.3 Presión Interna en la Bomba	23
2.3.5 Diagnóstico de Fallas en BCP.....	23
2.3.5.1 Fallas en Rotores	24
2.3.5.2 Fallas en Estatores (elastómero)	27

2.3.6 Diagrama de Pareto	30
2.3.7 Diagramas causa-efecto	31
2.3.8 Confiabilidad.....	31
2.3.10 Distribuciones paramétricas de probabilidad.....	32
2.3.10.1.La distribución de Weibull.....	33
2.3.11 Tipos de Datos de Confiabilidad.....	36
2.3.11.1 Datos Completos	37
2.3.11.2 Datos Censurados.....	37
2.3.11 Definición de Términos Básicos	38
CAPÍTULO III.....	39
MARCO METODOLÓGICO.....	39
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	39
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	39
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	40
3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	40
3.4.1 Primera Etapa: Identificación de los Modos de Fallas de Acuerdo a las Características de las BCP por Macollas	41
3.4.2 Segunda Etapa: Análisis Estadístico de las Fallas en las Bombas de Cavidad Progresiva del Campo Cerro Negro.....	42
3.4.3 Tercera Etapa: Explicación de los Efectos de las Fallas de las BCP Sobre los Costos de Operación de las Bombas de Cavidad Progresiva en el Campo Cerro Negro.....	45
3.5 INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	47
3.5.1 Revisión Bibliográfica y Documental.....	47
3.5.2 Entrevistas no Estructuradas	47
3.5.3 Programas Utilizados	47
3.5.3.1 Centinela	47
3.5.3.2 Software Minitab.....	48
3.6 RECURSOS	48
3.6.1 Recursos Humanos.....	48
3.6.2 Recursos Financieros	49
3.6.3 Recursos Materiales, Bibliográficos y Tecnológicos.....	49
CAPÍTULO IV	50
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	50
4.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS MODOS DE FALLA ENCONTRADOS EN LAS BCP DEL CAMPO CERRO NEGRO.....	50
4.1.1 Frecuencia de los Modos de Falla Encontrados en las BCP del Campo Cerro Negro para las 8 Macollas.....	51
4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS FALLAS MECÁNICAS EN LAS BOMBAS DE CAVIDAD PROGRESIVA DEL CAMPO CERRO NEGRO.....	80
4.2.1 Determinación de los Tiempos Promedios para la Falla de las BCP (TPPF).	80

4.2.2 Análisis de los Tiempos de Tallos de las BCP a Través de la Distribución Weibull para la Macolla N° 1	82
4.2.3 Análisis de los Tiempos de Supervivencia y de Fallos de las BCP a Través de la Distribución Weibull para la Macolla N° 2.....	85
4.2.4 Análisis de los Tiempos de Fallos de las BCP a Través de la Distribución Weibull para la Macolla N° 3	88
4.2.5 Análisis de los Tiempos de Fallos de las BCP a Través de las Distribución Weibull para la Macolla N°4	90
4.2.6 Análisis de los Tiempos de Fallos de las BCP a Través de la Distribución Weibull para la Macolla N° 5	92
4.2.7 Análisis de los Tiempos de Fallos de las BCP a Través de la Distribución Weibull para la Macolla N° 6.....	94
4.2.8 Análisis de los Tiempos de Fallos de las BCP a Través de la Distribución Weibull para la Macolla N° 7.....	96
4.2.9 Análisis de los Tiempos de Fallos de las BCP a Través de la Distribución Weibull para la Macolla N° 8.....	98
4.2.10 Histórico de los Tiempos de Fallo de los Pozos Intervenidos en el Campo Cerro Negro.....	101
4.3 EXPLICACION DE LOS EFECTOS DE LAS FALLAS DE LAS BCP SOBRE LOS COSTOS DE OPERACIÓN DE LAS BOMBAS DE CAVIDAD PROGRESIVA EN EL CAMPO CERRO NEGRO	104
CONCLUSIONES.....	111
RECOMENDACIONES.....	113
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
APÉNDICES.....	115
HOJAS METADATOS.....	169

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Ubicación del Campo Cerro Negro Perteneiente al bloque Carabobo.....	8
Figura N° 2.2 Ubicación del Campo Cerro Negro.....	9
Figura N° 2.3 Corte longitudinal de un estator	13
Figura N° 2.4 Rotor y estator de una bomba BCP	16
Figura N° 2.5 Equipo de superficie de poleas y correas	20
Figura N° 2.6. Rotor dañado por abrasión.....	24
Figura N° 2.7 Rotor con exposición metálica	25
Figura N° 2.8 Rotor con desgaste extremo hasta la base metálica.....	25
Figura N° 2.9 Rotor con ataque ácido. (Fuente: Manual de BCP ESP Oil).....	26
Figura N° 2.10 Rotor con superficie cromada quebradiza	26
Figura N° 2.11 Elastómero dañado por abrasión	27
Figura N° 2.12 Elastómero dañado con burbujas producto de ataque químico	28
Figura N° 2.13 Elastómero dañado por presión excesiva	28
Figura N° 2.14 Elastómero dañado por arrastre por alta presión	29
Figura N° 2.15 Elastómero dañado por influencia mecánica.....	29
Figura N° 2.16 Elastómero dañado por alta temperatura	30
Figura N° 2.17 Diagrama de Pareto	31
Figura N° 2.18 Distribución Probabilística Weibull (Yañez, M., 2004, Láminas de clases de Estadísticas para la Confiabilidad - USB).....	33
Figura N° 2.19 Curva de la bañera.....	35
Figura N° 4.1 Histórico de completación y reparación de pozos de macolla 1	50
Figura N° 4.2 Diagrama Causa-Efecto para determinar las causas de fallas de las BCP en el Campo Cerro Negro.....	69
Figura N° 4.3 Hoja de Trabajo del Simulador Minitab de los TPPF para la Macolla N°1 del Campo Cerro Negro	82

LISTA DE GRÁFICAS

Grafica N° 4.1 Diagrama de Pareto para la macolla N° 1	53
Grafica N° 4.2 Diagrama de Pareto para la macolla N° 2	54
Grafica N° 4.3 Diagrama de Pareto para la macolla N° 3	56
Grafica N° 4.4 Diagrama de Pareto para la macolla N° 4	58
Grafica N° 4.5 Diagrama de Pareto para la macolla N° 5	60
Grafica N° 4.6 Diagrama de Pareto para la macolla N° 6	63
Grafica N° 4.7 Diagrama de Pareto para la macolla N° 7	65
Grafica N° 4.8 Diagrama de Pareto para la macolla N° 8	67
Grafica N° 4.9 Diagrama de Pareto para el Campo Cerro Negro	68
Grafica N° 4.10 Tiempo de vida útil de las BCP del campo Cerro Negro en el COPEM	72
Grafica N° 4.11 Años de operación hasta la falla de la BCP para la macolla N°1	74
Grafica N° 4.12 Años de operación hasta la falla de la BCP para la macolla N°2	75
Grafica N° 4.13. Años de operación hasta la falla de la BCP para la macolla N°3.....	75
Grafica N° 4.14 Años de operación hasta la falla de la BCP para la macolla N°4	76
Grafica N° 4.15 Años de operación hasta la falla de la BCP para la macolla N°5	77
Grafica N° 4.16. Años de operación hasta la falla de la BCP para la macolla N°6.....	77
Grafica N° 4.17 Años de operación hasta la falla de la BCP para la macolla N°7	78
Grafica N° 4.18 Años de operación hasta la falla de la BCP para la macolla N°8	79
Grafica N° 4.19 Gráfica de revisión general de la distribución Weibull para la macolla N°1 del Campo Cerro Negro del COPEM	83
Grafica N° 4.20 Gráfica de revisión general de la distribución Weibull para la macolla N°2 del Campo Cerro Negro del COPEM	86
Grafica N° 4.21 Gráfica de revisión general de la distribución Weibull para la macolla N°3 del Campo Cerro Negro del COPEM	88
Grafica N° 4.22 Gráfica de revisión general de la distribución Weibull para la macolla N°4 del Campo Cerro Negro del COPEM	90
Grafica N° 4.23 Gráfica de revisión general de la distribución Weibull para la macolla N° 5 del Campo Cerro Negro del COPEM	92
Grafica N° 4.24 Gráfica de revisión general de la distribución Weibull para la macolla N° 6 del Campo Cerro Negro del COPEM	94
Grafica N° 4.25 Gráfica de revisión general de la distribución Weibull para la macolla N° 7 del Campo Cerro Negro del COPEM	96
Grafica N° 4.26 Gráfica de revisión general de la distribución Weibull para la macolla N° 8 del Campo Cerro Negro del COPEM	98
Grafica N° 4.27 Intervenciones realizadas a pozos en el Campo Cerro Negro del COPEM desde el año 2000 hasta el 2009	101

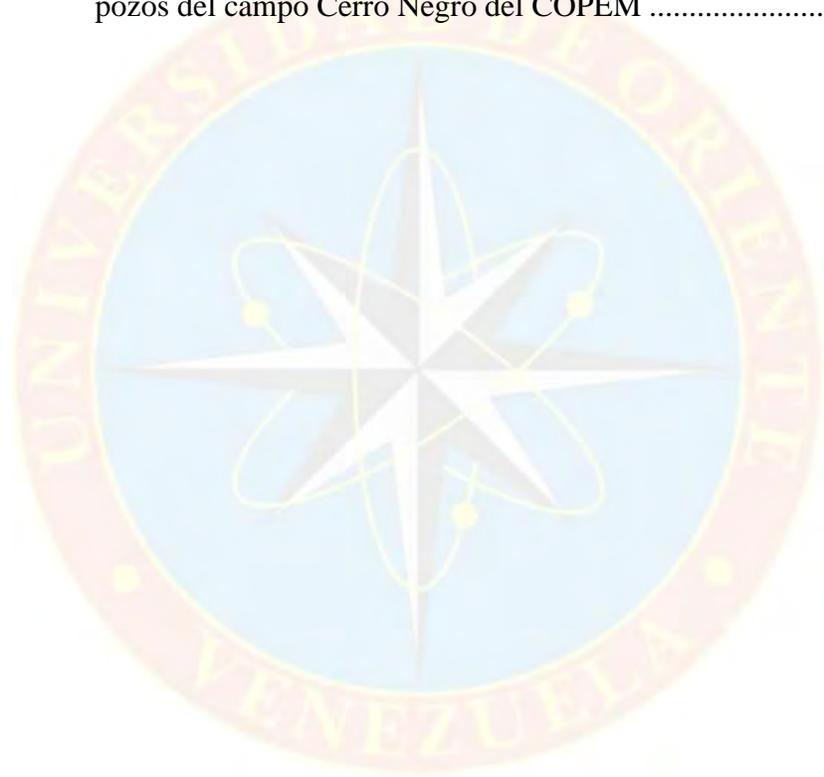
Gráfica N° 4.28. Producción diferida en MBIs desde el año 2001 hasta el 2009	105
Gráfica N° 4.29 Ingresos no percibidos en MM\$ desde el año 2001 hasta el 2009	106
Gráfica N° 4.30 Ingresos no percibidos en MMBsF desde el año 2001 hasta el 2009	108
Gráfica N° 4.31 Días no productivos desde el año 2001 hasta el 2009.....	109
Gráfica N° 4.32 Costos asociados a las fallas de BCP desde el año 2001 hasta el 2009	109



LISTA DE TABLAS

Tabla N° 4.1 Fallas encontradas en las BCP de los pozos ubicados en la macolla N° 1	51
Tabla N° 4.2 Frecuencia de modos de fallas de la macolla N° 1.....	52
Tabla N° 4.3 Fallas encontradas en las BCP de los pozos ubicados en la macolla N° 2.....	53
Tabla N° 4.4 Frecuencia de modos de fallas de la macolla N° 2.....	54
Tabla N° 4.5 Fallas encontradas en las BCP de los pozos ubicados en la macolla N° 3.....	55
Tabla N° 4.6 Frecuencia de modos de fallas de la macolla N° 3.....	56
Tabla N° 4.7 Fallas encontradas en las BCP de los pozos ubicados en la macolla N° 4.....	57
Tabla N° 4.8 Frecuencia de modos de fallas de la macolla N° 4.....	58
Tabla N° 4.9 Fallas encontradas en las BCP de los pozos ubicados en la macolla N° 5.....	59
Tabla N° 4.10 Frecuencia de modos de fallas de la macolla N° 5.....	60
Tabla N° 4.11 Fallas encontradas en las BCP de los pozos ubicados en la macolla N° 6	61
Tabla N° 4.12 Frecuencia de modos de fallas de la macolla N° 6.....	62
Tabla N° 4.13 Fallas encontradas en las BCP de los pozos ubicados en la macolla N°7	64
Tabla N° 4.14 Frecuencia de modos de fallas de la macolla N° 7.....	64
Tabla N° 4.15 Fallas encontradas en las BCP de los pozos ubicados en la macolla N° 8	66
Tabla N° 4.16. Frecuencia de modos de fallas de la macolla N° 8.....	66
Tabla N° 4.17 Frecuencia de modos de fallas del Campo Cerro Negro.....	67
Tabla N° 4.18 Tiempo de Fallas de bombas BCP en pozos de la Macolla N°1, Campo Cerro Negro	81
Tabla N° 4.19 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para los pozos de la Macolla N°1 en el Campo Cerro Negro del COPEM.....	85
Tabla N° 4.20 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para los pozos de la Macolla N°2 en el Campo Cerro Negro del COPEM.....	87
Tabla N° 4.21 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para los pozos de la Macolla N°3 en el Campo Cerro Negro	89
Tabla N° 4.22 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para los pozos de la Macolla N°4 en el Campo Cerro Negro	91
Tabla N° 4.23 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para los pozos de la Macolla N°5 en el Campo Cerro Negro del COPEM.....	93
Tabla N° 4.24 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para los pozos de la Macolla N°6 en el Campo Cerro Negro del COPEM.....	95

Tabla N° 4.25 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para los pozos de la Macolla N°7 en el Campo Cerro Negro del COPEM.....	97
Tabla N° 4.26 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para los pozos de la Macolla N°8 en el Campo Cerro Negro del COPEM.....	99
Tabla N° 4.27 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para las 8 macollas ubicadas en el Campo Cerro Negro del COPEM	100
Tabla N° 4.28 Presupuesto para el reemplazo de bombas para el año 2010.....	102
Tabla N° 4.29 Presupuesto para el reemplazo de bombas para el año 2011.....	103
Tabla N° 4.30 Presupuesto para el reemplazo de bombas para el año 2012.....	103
Tabla N° 31 Impacto en producción, ingresos y días durante el año 2005 para pozos del campo Cerro Negro del COPEM	107



LISTA DE ABREVIATURAS

API	American Petroleum Institute
ALS:	Sistemas de levantamiento artificial (Artificial lift systems).
BCP:	Bomba de cavidad progresiva.
Bls	Barriles
BNPD	Barriles Normales de Petróleo por Día.
bls/día:	Barriles por día.
C	Confiabilidad
CO₂:	Dióxido de carbono.
COPEM	Centro Operativo Petromonagas.
CPS	Centipoise
E:	Excentricidad de la bomba de cavidad progresiva.
H₂S:	Ácido sulfúrico.
MBPD	Miles de barriles por día.
MMBN:	Millones de barriles netos.
MMMMBN:	Miles de millones de barriles netos.
rpm:	Revoluciones por minuto.
TC	Tiempo o datos censados
T.O.P:	Tiempo operativo promedio.
TPPF	Tiempo promedio para fallar
TPPR	Tiempo promedio para reparar
WTF:	Weatherford.



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

RESUMEN

INCIDENCIAS DE LAS FALLAS MECÁNICAS EN EL RENDIMIENTO DE LAS BOMBAS DE CAVIDAD PROGRESIVA BCP DEL CAMPO CERRO NEGRO.

**AUTOR
NERLYS E. MARCANO C.
C.I: 17.933.866**

**ASESORES
ING. RUBÈN VEGA
ASESOR ACADÉMICO
ING. FRANKLIN VELASQUEZ
ASESOR INDUSTRIAL**

El Campo Cerro Negro asociado a la empresa mixta Petromonagas cuenta con 8 macollas que operan con el método de levantamiento artificial de Bombas de Cavidad Progresiva, para levantar los fluidos a la superficie por la alta viscosidad que posee el crudo. En la presente investigación se determinaron los modos de fallas que han sido originadas por las fallas mecánicas que han presentado estas bombas. Para ello se inició con la actualización de la base de datos de la macolla 7 y 8 con el fin de conocer los pozos que han sido reemplazados por daños en las BCP para posteriormente identificar los modos de fallas que se presentan en el campo y su frecuencia de ocurrencia mediante la aplicación del Diagrama de Pareto y a través de la distribución Weibull fueron determinados la cantidad de Bombas de Cavidad Progresiva que probablemente fallarán para los siguientes tres años y acorde a estos resultados fueron presupuestados los materiales necesarios para los reemplazos en los años estudiados. Finalmente se analizaron los efectos de las fallas mecánicas sobre los costos de operación, el tiempo y la producción. Mediante la aplicación del Diagrama de Pareto se obtuvo que los modos de fallas que presentaron un mayor porcentaje de frecuencia son los referidos a elastómero hinchado y desprendido en todo el campo y que la causa que generó estas desviaciones se debieron principalmente al tiempo de operación y a las altas velocidades de operación (altas RPM). Igualmente por medio de la distribución Weibull se obtuvo que 67 BCP serán reemplazadas a los tres años y se determinó que la mayoría de las BCP se encuentran en una etapa de desgaste mediante el parámetro de forma Beta.

INTRODUCCIÓN

Las bombas de cavidad progresiva (BCP) comenzaron a instalarse en Venezuela a mediados de los años 80, no obstante se obtuvieron resultados que no fueron del todo satisfactorios debido al desconocimiento del alcance y limitaciones del sistema. Sin embargo, hoy en día se cuenta con instalaciones exitosas con BCP en pozos de crudos extrapesados, pesados y medianos; aplicaciones a moderadas profundidades, pozos verticales, inclinados, altamente desviados y horizontales que la constituyen en una alternativa técnica, apropiada para la evaluación del potencial de pozos o como optimización y reducción de costos. Pero, estas bombas también presentan limitaciones que traen como consecuencia la afectación en su desempeño, entre las más comunes se tienen: la incapacidad de los elastómeros para manejar altas temperaturas, rotor partido, arenamiento entre otros; llevando a la empresa a gastos adicionales por servicios de taladro para su reemplazo.

La Empresa Mixta Petromonagas, utiliza las BCP marca Weaterford, modelo 98-1580 y modelo 98-1600 con una capacidad nominal de 615 bls/día/100 r.p.m. como método de levantamiento artificial, instaladas en los ciento cincuenta y siete (157) pozos perforados hasta ahora y ubicados en las ocho (8) macollas del Campo Cerro Negro. Sin embargo, no cuenta con un registro estadísticos que le permita identificar las causas y frecuencia de fallas en las BCP así como su impacto en las operaciones y en la producción.

Por esta razón, se comenzó un estudio al respecto donde se pueda señalar el tiempo de operación eficiente. Para ello se procedió a trabajar con tres métodos estadísticos como son: el diagrama de Pareto, el diagrama causa-efecto y la distribución de Weibull, que son tres herramientas imprescindibles para determinar

principales causas de fallas y el tiempo promedio para fallar de las BCP del Campo Cerro Negro.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El bombeo de cavidad progresiva (BCP) es un método de levantamiento artificial de gran ayuda en las operaciones de extracción de crudos pesados y extrapesados, debido a que permite manejar fluidos muy viscosos con altas concentraciones de arena y altos porcentajes de gas libre. Representa una alternativa económica por su bajo costo de inversión, simple instalación, operación y mínimos requerimientos de energía.

La aplicación de las BCP en Venezuela tiene sus inicios en el año 1983, desarrollándose como un método atractivo en la explotación de crudo en áreas tales como la Faja Petrolífera del Orinoco, en donde existe un estimado de reservas probadas de 1,36 trillones de barriles de crudo extrapesado, y que, a través de los convenios ejecutados con las empresas mixtas, se acordó explotar cada uno de los bloques que la conforma que son Boyacá, Ayacucho, Junín y Carabobo. Este último bloque, se encuentra en el campo Cerro Negro, al sureste del estado Anzoátegui y sur del estado Monagas, aproximadamente a 120 km de Maturín, que comprende un área de explotación de 284,4 km². El campo cuenta con ciento cincuenta y siete (157) pozos perforados con un diseño de completación constituido por bombas de cavidad progresiva (BCP); con inyección de diluyente en el cabezal de producción con el propósito de mejorar la viscosidad del crudo y obtener mayor movilidad del mismo.

Este método a pesar de ser ventajoso por su bajo costo de inversión inicial, de transporte, instalación, operación y mantenimiento; también cuenta con algunas variables que pueden ocasionar daños en su eficiencia, siendo las más comunes las que se presentan por hinchamiento y desprendimiento del elastómero, rotor partido, producción de finos, entre otros. Por tal motivo disminuye la capacidad de levantamiento de crudo a la superficie y por ende genera costos operacionales, pérdidas de producción e ingresos asociados a la producción diferida, de allí la importancia de corregir dichas fallas.

Actualmente, Petromonagas S.A. no cuenta con un registro estadístico del campo, que permita visualizar y conocer la continuidad de fallas de cada una de las BCP instaladas en los pozos productores, durante su periodo de operación. Considerando el hecho de que no se conoce la frecuencia de ocurrencia de las fallas, se hace necesario realizar un análisis estadístico del comportamiento operacional del pozo con la finalidad de obtener data representativa donde se especifiquen las principales causas, el tiempo estimado y la afectación de dichas fallas en la producción, con el objeto de estimar los recursos financieros, materiales y servicios contratados necesarios para la intervención de los pozos en el menor tiempo y costo posible. En este sentido, el estudio abarca el análisis de todos los pozos activos con BCP, siendo la principal limitante la cantidad de información que debe ser revisada y validada.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo General

Estudiar las incidencias de las fallas mecánicas en el rendimiento de las bombas de cavidad progresiva (BCP) del Campo Cerro Negro.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar los modos de fallas de acuerdo a las características de las BCP por macollas.
- Analizar estadísticamente las fallas en las bombas de cavidad progresiva del campo Cerro Negro.
- Explicar el efecto de las fallas de las bombas de cavidad progresiva sobre las operaciones del campo Cerro Negro.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La importancia básica de este proyecto de investigación estuvo en que la empresa mixta Petromonagas contará con un análisis estadístico de las fallas que han estado presentando las BCP en los pozos perforados en el período 1999-2009, permitiéndole estimar el tiempo de operación eficiente de las BCP, minimizando la frecuencia de intervención de los pozos y garantizando la producción de petróleo comprometida. Esto le ayudará a posicionarse como una de las más eficientes a la hora de planificar los requerimientos de equipos, presupuestos y en el cumplimiento de las cuotas de producción establecidas, tomando en cuenta que existen compromisos con la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) y que actualmente a nivel mundial existe escasez de taladros de perforación, de rehabilitación y servicios a pozos, aunado a esto, cada año las empresas del Estado deben solicitar al ejecutivo nacional el presupuesto real para operar en función de los requerimientos necesarios que le permita cumplir con los planes volumétricos establecidos para dicho año.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Flores A, (2008), “Evaluación del Comportamiento de los Sistemas de Bombeo de Cavidad Progresiva Instalados Durante el Periodo 2000 – 2006 en el Campo Orocuál Somero” Universidad de Oriente Núcleo-Monagas. Este trabajo consistió en la evaluación de los sistemas de bombeo de cavidad progresiva instalados en el campo durante un periodo determinado, con el objeto de identificar las distintas fallas, así como las posibles causas que condujeron a las mismas. Para llevar a cabo este estudio se recolectó toda la información referente a comportamiento de producción de los pozos y de acuerdo con las evidencias encontradas en las bombas se determinaron las causas más probables de las fallas, resultando el elastómero el elemento más frecuente de falla (desgarramiento y carencia de hinchamiento) y el alto corte de gas el principal factor influyente en la disminución de la eficiencia volumétrica de las bombas, igualmente se concluyó que el tiempo de vida útil para una bomba instalada en el campo es de 15 meses. Este estudio sirvió de soporte en la parte teórica y metodológica para el desarrollo de la presente investigación.

Mata Veliz J, (2007), “Análisis del Comportamiento Operacional de las Bombas Mecánicas de Subsuelo en las Unidades de Producción Pesados y Extrapesados de PDVSA, Distrito Social San Tome. El objeto del presente trabajo fue realizar un análisis del comportamiento operacional de las bombas mecánicas de subsuelo utilizadas para la extracción de petróleo en los pozos pertenecientes a las Unidades de Producción Pesado y Extrapesado de PDVSA, Distrito Social San Tomé, en el

periodo comprendido entre los años 2003 y 2005; a través de la determinación de parámetros de confiabilidad como tiempo promedio entre fallas (TPEF) y tiempo de vida útil. La investigación arrojó una serie de resultados, entre los cuales se encuentra que las bombas mecánicas con mayor confiabilidad fueron las instaladas en el área de extrapesado, con un tiempo promedio entre falla (TPEF) de 631 días y tiempo de funcionamiento entre 18 y 1188 días, a diferencia de las bombas instaladas en el área de pesado que reflejaron un MTBF de 565 días y tiempo de vida útil de 14 a 1.223 días. Adicionalmente, se determinaron las principales causas de falla en estos equipos, obteniéndose que el desgaste se presentó en un 59,93 % de los casos, seguido por la presencia de arena, deformación, atascamiento y rotura. La consulta a esta investigación especial de grado, aportó una visión mas amplificada para el manejo de datos y metodología a aplicar durante el desarrollo del presente trabajo.

Castellin R, (2005). “Análisis de Fallas de Bombas de Cavidad Progresivas usadas en la empresa SINCOR en el Campo Zuata al Sur del Estado Anzoátegui” Trabajo especial de grado Universidad de Oriente Núcleo-Monagas. En este trabajo se estudia el sistema de levantamiento artificial con bombas de cavidades progresivas como método de producción de crudo extrapesado. El mismo se realizó con la finalidad de identificar y analizar las fallas que ocurren en las bombas de los pozos en el campo operado por SINCOR, y evaluar el impacto de esas fallas sobre los costos de reparación de los pozos. Para ello se elaboró un procedimiento para inspeccionar las bombas dañadas en servicio y se establecieron criterios de aceptación o rechazo. Las bombas se sometieron a inspección visual, dimensional y análisis destructivo. De acuerdo con las evidencias encontradas en las bombas, el estudio y simulación de sus condiciones operacionales, se determinaron que las causas de las fallas fueron: daños en el estator debido a histéresis, hinchamiento, ampollas y daños mecánicos; mientras que el desgaste uniforme y el desprendimiento de la capa de cromo, fueron los daños más observados en los rotores.

2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA EN ESTUDIO

El Centro Operativo Petromonagas (COPEM), se encuentra ubicado en el Campo Cerro Negro del Bloque Carabobo, en el área limítrofe de los estados Anzoátegui y Monagas a 120 km al Sur de Maturín y 70 km al Noreste de Puerto Ordaz, entre los paralelos 8° 39'N y 8° 50'N y los meridianos 63° 00'E y 63° 20'E, comprendiendo un área de explotación de 184,86 km², donde se encuentran ubicadas 8 macollas con un total de 157 pozos perforados de los cuales 141 se encuentran activos y 16 pozos están inactivos. (Figura 2.1)

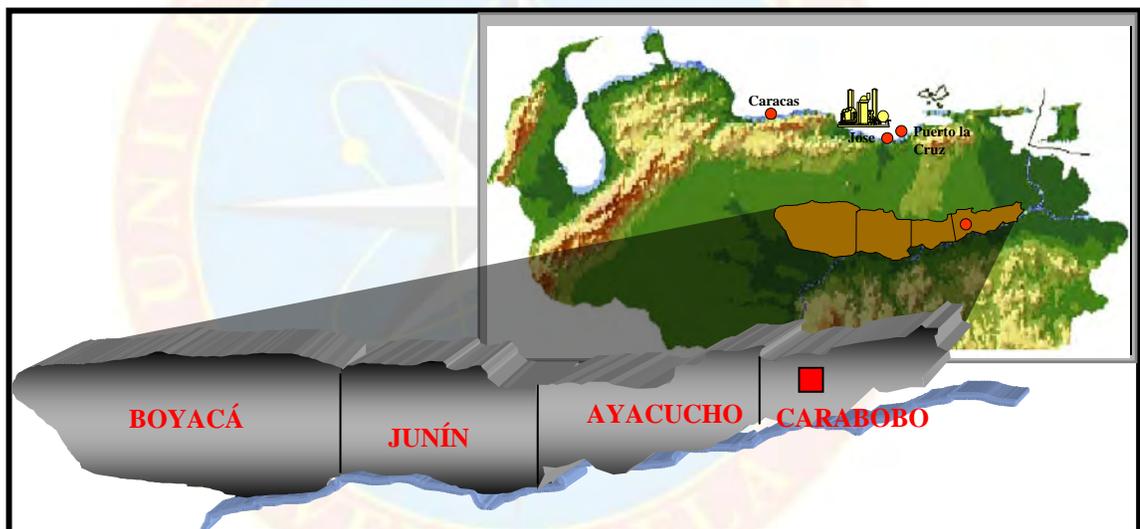


Figura N° 2.1 Ubicación del Campo Cerro Negro Perteneiente al bloque Carabobo

Fuente: Petromonagas, 2004

La empresa Petromonagas S.A (Antigua Operadora Cerro Negro), recientemente constituida como parte del proceso de migración de convenios operativos y asociaciones estratégicas a empresas mixtas, que aseguran al estado y su instrumento PDVSA el control de los aspectos operacionales, se encarga de explorar

y desarrollar las reservas ubicadas en el área de Cerro Negro, Bloque Carabobo, en la Faja Petrolífera del Orinoco, como se puede observar en la Figura 2.2.

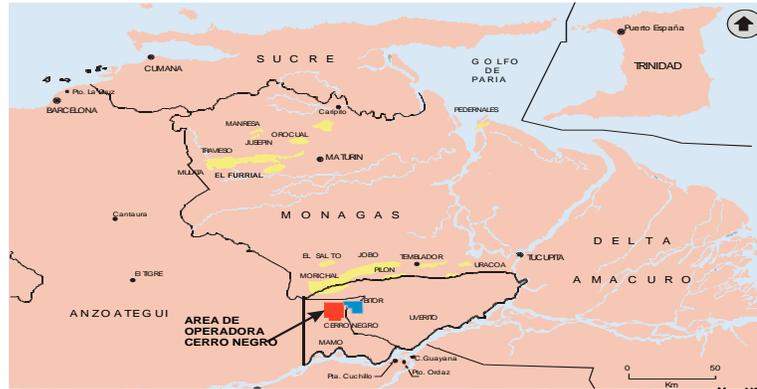


Figura N° 2.2 Ubicación del Campo Cerro Negro
Fuente: Petromonagas, 2004.

En esta área se han perforado 7 pozos pilotos (CG-0101P, CH-0201P, CG-0301P, CG-0401P, CH-0501P, CH-0601P y CH0801P) para un total de 70 pozos estratigráficos (pozos verticales), 125 pozos horizontales y 20 pozos de investigación de alto ángulo (slant), lo cual ha permitido la identificación de nuevas trayectorias, la factibilidad de perforar otras, definir la extensión lateral de los cuerpos de arena, y finalmente, identificar áreas para futuras macollas.

2.3 BASES TEÓRICAS

2.3.1 Principios de Funcionamiento de las Bombas de Cavidad Progresiva (BCP)

La Bomba de Cavidad Progresiva (BCP) está compuesta por el Rotor y el Estator. El Rotor es accionado desde la superficie por un sistema impulsor que transmite el movimiento rotativo a la sarta de Cabillas la cual, a su vez, se encuentra

conectada al Rotor. El Estator es el componente estático de la bomba y contiene un polímero de alto peso molecular con la capacidad de deformación y recuperación elástica llamado Elastómero. El funcionamiento de las BCP está basado en el principio ideado por René Moineau (no debe confundirse con la bomba de Arquímedes ya que son principios totalmente diferentes), la BCP utiliza un Rotor de forma helicoidal de n lóbulos dentro de un estator en forma de helicoide de $n+1$ lóbulos. Las dimensiones del Rotor y el Estator están diseñadas de manera que producen una interferencia, la cual crea líneas de sello que definen las cavidades. Al girar el rotor, estas cavidades se desplazan (o progresan), en un movimiento combinado de traslación y rotación, que se manifiesta en un desplazamiento helicoidal de las cavidades desde la succión de la bomba, hasta su descarga. (ESP OIL, 2004)

2.3.2 Rangos de Aplicación del Método Levantamiento Artificial por Bombeo de Cavidad Progresiva

Las bombas de cavidad progresiva son una alternativa económica y confiable que resuelve muchos de los problemas presentados por otros métodos de levantamiento artificial y una vez optimizado el método o sistema, su control y seguimiento es muy sencillo. A continuación se muestran los rangos de aplicación, ventajas y desventajas del método BCP:

- Es aplicable desde crudos pesados de 8,5 °API hasta crudos de 30 °API.
- Viscosidades desde 5 Cp a 130 °F hasta 10.000 Cp.
- Profundidades hasta de 6500 pies.
- Caudales desde 50 BNPD hasta 3000 BNPD.

- Temperaturas hasta 250 °F.

2.3.2.1 Ventajas

▪ Puede manejar hasta un 60% de gas libre a condiciones de la entrada de la bomba (según el fabricante), pero debido a que es una bomba de desplazamiento positivo, cada unidad de volumen de gas bombeado es una unidad de volumen menos de petróleo producido.

- Es aplicable en crudos altamente viscosos.
- Puede manejar el contenido de materiales sólidos en el fluido

2.3.2.2 Desventajas

- El elastómero es susceptible a altas temperaturas.
- El contenido de aromáticos, la presencia de los gases ácidos dióxido de carbono (CO_2) y sulfuro de hidrogeno (H_2S) afectan la integridad del elastómero.
- Requiere de taladro de rehabilitación para el cambio de equipos de subsuelo.

2.3.3 Configuración del Equipo de Levantamiento Artificial por Bombeo de Cavidad Progresiva

Los componentes del método de levantamiento se dividen en subsuelo y superficie.

2.3.3.1 Equipos de Subsuelo

Lo conforman básicamente la bomba de subsuelo (Rotor / Estator), la sarta de cabillas el niple de paro y ancla de torque.

a) La bomba:

Consiste de un rotor helicoidal que gira alrededor de un mismo eje, dentro de un estator helicoidal doble de mismo diámetro y del doble de longitud. El desplazamiento de una BCP, además de ser función de la velocidad de rotación, es directamente proporcional a tres constantes: el diámetro de la sección transversal del rotor, la excentricidad (o radio de la hélice) y la longitud de la hélice del estator. El desplazamiento por revolución puede variar con el tamaño del área de la cavidad.

b) El rotor:

El rotor está fabricado con acero de alta resistencia mecanizado con precisión y recubierto con una capa de material altamente resistente a la abrasión. Se conecta a la sarta de cabillas (bombas tipo Tubular) las cuales le transmiten el movimiento de rotación desde la superficie (accionamiento o impulsor). Un Rotor se fabrica a partir de una barra cilíndrica de acero en un torno especial. Luego de ser mecanizado se recubre con una capa de un material duro. Generalmente se trata de un recubrimiento con un proceso electro químico de cromado. Mientras que los Estatores de un mismo modelo de bomba, fabricados con el mismo Elastómero, son todos idénticos, los rotores se mecanizan con varios diámetros y se recubren de varios espesores de cromado. Las variaciones de estos dos parámetros diámetro y espesor, son los que permiten un ajuste fino de la interferencia.

c) El estator:

El estator es un cilindro de acero (o Tubo) revestido internamente con un Elastómero sintético (polímero de alto peso molecular) moldeado en forma de dos hélices adherido fuertemente a dicho cilindro mediante un proceso y especial. El Estator se baja al pozo con la tubería de producción (bombas tipo tubular o de tubería) o con la sarta de cabillas (bombas tipo Insertables). Un Estator se obtiene por inyección de un Elastómero a alta temperatura y a alta presión entre la camisa de acero y un núcleo. Este núcleo, negativo del perfil interno del Estator, es similar a un Rotor de dos *lóbulos*. Antes de la inyección del Elastómero, se recubre con un adhesivo la superficie interna de la camisa de acero (tubo). Luego del vulcanizado el Elastómero, se enfría y se contrae, lo que permite extraer el núcleo. La magnitud de la contracción depende del tipo de Elastómero. Los Estatores fabricados con el mismo Elastómero el mismo núcleo, son todos idénticos.



Figura N° 2.3 Corte longitudinal de un estator
Fuente: Manual de BCP ESP OIL

d) El elastómero:

El elastómero constituye el elemento más “delicado” de la Bomba de Cavidades Progresivas y de su adecuada selección depende en una gran medida el éxito o fracaso de esta aplicación. El elastómero reviste internamente al Estator y en si es un Polímero de alto peso molecular con la propiedad de deformarse y recuperarse elásticamente, esta propiedad se conoce como resiliencia o memoria, y es la que hace posible que se produzca la interferencia entre el Rotor y el Estator la cual determina la hermeticidad entre cavidades contiguas y en consecuencia la eficiencia de la bomba (bombeo). Los Elastómeros deben presentar resistencia química para manejar los fluidos producidos y excelentes propiedades mecánicas para resistir los esfuerzos y la abrasión. Los Elastómeros más utilizados en la aplicación BCP, poseen base Nitrílica (convencionales), Hidrogenación Catalítica (Elastómeros hidrogenados) o Fluoroelastómeros.

Características deseables en los Elastómeros

- Buena resistencia química a los fluidos a transportar.
- Buena resistencia térmica.
- Capacidad de recuperación elástica.
- Adecuadas propiedades mecánicas, especialmente resistencia a la fatiga.

Propiedades mecánicas mínimas requeridas

Hinchamiento: del 3 al 7% (máximo).

Dureza Shore A: 55 a 78.

Resistencia Tensil: Mayor a 55 Mpascales

Elongación a la ruptura: Mayor al 500%

Resistencia a la fatiga: Mayor a 55.000 ciclos

Resistencia al corte: Mayor a 4 Kg/mm.

Los cambios más comunes en las propiedades mecánicas de los elastómeros son: el hinchamiento, el endurecimiento y el reblandecimiento

El hinchamiento origina una excesiva interferencia y como consecuencia, un torque excesivo en las cabillas y calentamiento (y posible destrucción) del Elastómero. Se debe destacar que un hinchamiento del 3 al 5 % puede ser manejado con rotores de menor diámetro y que algunos fabricantes inclusive garantizan algunos de sus materiales para hinchamientos mayores, no obstante se debe tener presente que estos elastómeros pudieran ser utilizados siempre y cuando las propiedades mecánicas de los mismos no se vean afectadas mas allá de los límites permisibles.

El endurecimiento afecta negativamente a la resiliencia y como consecuencia la eficiencia de la bomba.

El ablandecimiento deteriora la hermeticidad entre las cavidades y por ende la eficiencia de la bomba.

Cada fabricante posee sus propios desarrollos y por lo general utilizan nomenclaturas propias, no obstante, las bases son Nitrílos, bases Hidrogenadas o Fluoelastómeros. Esta diversidad permite manejar la mayor parte de las condiciones encontradas en los pozos de petróleo y agua.

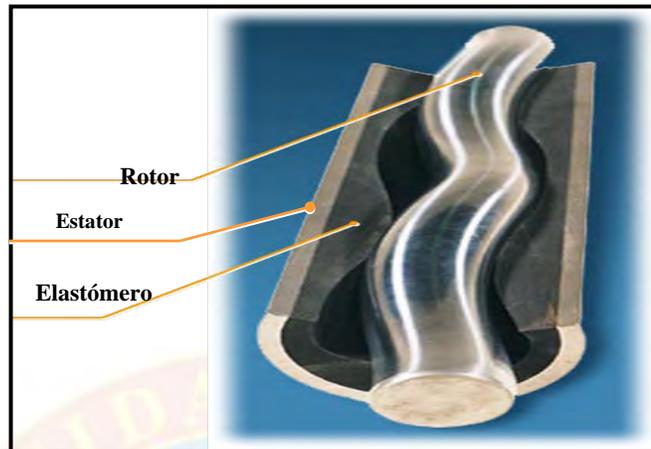


Figura N° 2.4 Rotor y estator de una bomba BCP

Fuente: Weatherford EVI de Venezuela

e) Niple de Paro:

Es parte integral de la bomba, va roscado al extremo inferior de la misma. Sus funciones son:

- Servir de tope al rotor cuando se realiza el espaciado del mismo.
- Servir de “pulmón” a la elongación de la sarta de cabillas al funcionar la bomba.
- Servir de entrada del fluido a la bomba.

f) El niple de maniobra:

Su utilización es obligatoria. El movimiento excéntrico de la cabeza del rotor junto con el acople de unión a la primera cabilla, describe un círculo de diámetro mayor que su propio diámetro.

g) Ancla de torque:

Al girar la sarta de cabillas hacia la derecha (vista desde arriba) la fricción entre el rotor y el estator hace que la tubería también tienda a girar hacia la derecha, en el sentido de su desenrosque. Este efecto puede originar la desconexión de la tubería, la utilización de un ancla de torque evita este riesgo. Este equipo se conecta debajo del niple de paro, se fija al revestidor por medio de cuñas verticales. Al arrancar la bomba el torque generado hace que las cuñas se aferren al revestidor impidiendo el giro del Estator. No siempre es obligatorio el uso de este equipo, tales son los casos de pozos someros y/o de bajo caudal girando a baja velocidad, que no tienen un torque importante. Las Anclas de Torque no obturan el espacio anular revestidor – tubería de producción. (ESP OIL, 2004, BCP para operadores). (ESP OIL, 2004)

h) Anclas de gas:

La eficiencia volumétrica de las BCP, al igual que la de otros tipos de bombas, es afectada de manera significativa por la presencia de gas libre en su interior. Anclas de gas es el nombre que comúnmente se emplea para referirse a los separadores estáticos gas-líquido de fondo de pozo, generalmente la separación gas – líquido ocurre fuera del ancla desviándose el gas al espacio anular entre el revestidor y la tubería de producción y el líquido es enviado a la bomba, sin embargo, las anclas de gas no son 100% eficientes por lo que una porción del mismo es arrastrado a su interior y de allí a la bomba, adicionalmente dentro del ancla del ancla, por los diferenciales de presión que allí se originan, ocurren separaciones adicionales de gas el cual también es conducido a la bomba; algunos diseños consideran el desalojo de este gas al espacio anular revestidor.

i) Niple de drenaje:

Generalmente se utiliza un niple de drenaje para desalojar el crudo de la tubería de producción en aquellos casos cuando no es posible sacar el rotor de la bomba.

j) La Sarta de cabillas:

Es la responsable de accionar el rotor transmitiendo un movimiento giratorio desde la superficie, esto a su vez ocasiona que el rotor gire en dirección opuesta sobre el eje del estator, manteniéndose ambos ejes paralelos, dicho proceso permite la formación de cavidades cerradas, delimitadas por el rotor y el estator, que se mueven axialmente desde la admisión hasta la descarga de la bomba.

k) Centralizadores de cabillas:

Los centralizadores de cabillas se suelen colocar sólo en aquellos pozos con desviaciones o inclinaciones muy pronunciadas. Hasta ahora no existe un acuerdo validado respecto a los criterios para la ubicación de estos dispositivos.

2.3.3.2 Equipos de Superficie

a. Cabezales de rotación:

El cabezal de rotación, cumple con 4 funciones básicas:

1. Soporte para las cargas axiales
2. Evitar o retardar el giro inverso de la sarta de cabillas
3. Aislar los fluidos del pozo del medio ambiente

4. Soportar el accionamiento electro-mecánico (para algunos modelos).

1) Soporte para las cargas axiales

Las cargas axiales originadas por el peso de la sarta de cabillas sumergida en el fluido del eductor y la producida por el diferencial de presión que levanta la bomba son soportadas a través de rodamientos cónicos ubicados en el cabezal de rotación.

2) Evitar o retardar el giro inverso de la sarta de cabillas:

El giro inverso puede causar múltiples inconvenientes tales como daños en la caja reductora del motorreductor o motovariador (ya que la misma actúa como multiplicadora cuando son la cabillas las que la hacen girar), daños en el motor eléctrico al actuar como generador y por último puede causar el desenrosque de las cabillas, ya que son estas las que deben detener el sistema motriz una vez que se ha liberado el torque de las mismas y la columna de fluido. Este fenómeno genera un torque que tiende a desenroscar las cabillas.

Algunos cabezales ofrecen un sistema retardador del giro inverso, el cual puede ser hidráulico o mecánico (Tambor y Zapata); este mecanismo permite que la sarta gire en sentido inverso (anti-horario visto desde arriba) al detener el sistema motriz, a baja velocidad de rotación, esta característica garantiza que la sarta no girará a la hora de levantar el cabezal durante una reparación. Este sistema permite que las columnas dentro y fuera del eductor se equilibren, con lo cual el torque de arranque es menor, no obstante se requerirá más tiempo para obtener la producción del pozo en superficie una vez que se arranca el sistema.

3) Aislar los fluidos del pozo del medio ambiente:

Se evita el derrame de los fluidos de producción al medio ambiente mediante un conjunto de sellos que aíslan el eje de rotación del cabezal de producción (prensa - estopas).

4) Soportar el accionamiento electro-mecánico:

Sobre el cabezal de rotación se instala o bien el motovariador o el motorreductor, según el caso. Existen dos tipos de cabezales, los cuales son: los cabezales de eje macizo y cabezales de eje hueco, estos últimos poseen la ventaja de permitir el levantar la sarta de cabillas sin desmontar el sistema motriz con la finalidad de re-espaciar la bomba o circular el pozo. También existen cabezales donde el rodamiento de carga es lubricado por aceite y en otros casos lubricado con grasa.

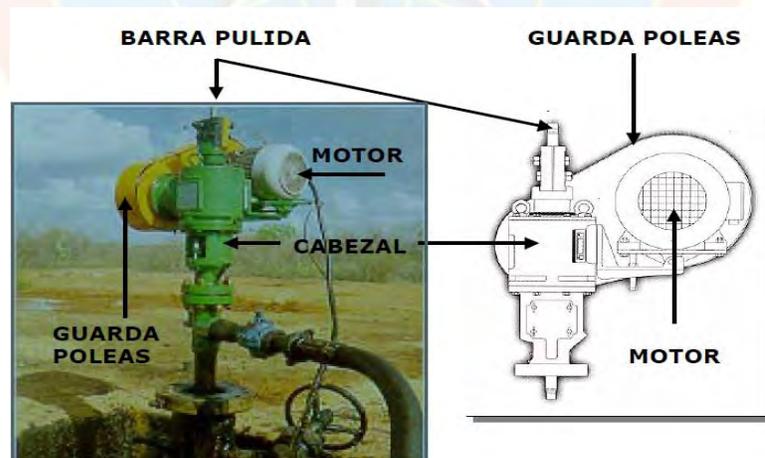


Figura N° 2.5 Equipo de superficie de poleas y correas
Fuente: Manual de BCP ESP Oil

b) Motovariadores mecánicos:

En este sistema, el acople entre motor y caja reductora no es directo. En este caso, se realiza a través de un conjunto variador de velocidad formado por correas y poleas de diámetro variable, el cual cumple con la función de permitir el cambio de velocidad de rotación sin requerir la parada del equipo ni el cambio de componentes. Los equipos donde se instalan los motovariadores tienen la posibilidad de ser ajustados en un rango de velocidades desde 50 r.p.m. hasta 400 r.p.m.

c) Motorreductores:

Al girar los motores eléctricos a una velocidad nominal y fija de aproximadamente 1800 r.p.m, es necesario contar con una caja reductora de una relación de transmisión adecuada para llevar la velocidad angular del motor a velocidades más cercanas a la requerida por la bomba, además de ser el elemento que suministrará el torque exigido.

d) Variadores de frecuencia:

Rectifica la corriente alterna requerida por el motor y la modula electrónicamente produciendo una señal de salida con frecuencia y voltaje diferente. Al variar la frecuencia, varía la velocidad de rotación y al variar la velocidad de operación, varía la producción. (ESP OIL, 2004).

2.3.4 Factores que Afectan el Desempeño de las BCP

Los factores que tienen más efecto sobre la eficiencia volumétrica o desempeño de la bomba son la velocidad de operación y la altura (head) requerida. Por otra parte,

una característica que intrínsecamente está asociada a la eficiencia de la bomba en cuanto a su desplazamiento y a su capacidad para transportar los fluidos hasta la superficie es el grado de ajuste o “apriete” entre el elastómero y el rotor, esto se conoce como interferencia. La interferencia en una bomba de cavidades progresivas se define como la diferencia entre el diámetro del rotor y el diámetro menor de la cavidad del estator, esta garantiza que exista el sello entre las cavidades que permite la acción de bombeo. Cuando la bomba es sometida a una diferencia de presión entre su succión y su descarga, el fluido trata de romper este sello para regresar a las cavidades anteriores, lo cual se conoce como escurrimiento (o resbalamiento). Existen factores que inciden directamente sobre la interferencia, entre los cuales destacan la temperatura de operación, las características de los fluidos del pozo y la presión interna en la bomba, como son:

2.3.4.1 Temperatura de Operación

La temperatura origina una expansión térmica del elastómero y una expansión menos notable en el rotor metálico, lo cual incide directamente en la interferencia, y por ende, en la eficiencia de la bomba.

2.3.4.2 Fluidos del Pozo

En el caso de hacer una adecuada selección del elastómero, considerando su compatibilidad (o incompatibilidad) con los fluidos del pozo, no significa que no se produzca Hinchamiento del elastómero por ataque químico, este hinchamiento incrementa la interferencia de la bomba la cual pudiera llegar a ser excesiva (interferencia menores al 3% son aceptables).

Aunque no es posible corregir el hinchamiento del elastómero una vez que el mismo tenga lugar, se cuenta con la flexibilidad de utilizar rotores de diámetro transversal más reducido (subdimensionados o undersize) y de esta manera reducir la interferencia. Otra característica de los fluidos que se relaciona con la interferencia (aunque no la afecta directamente), es la viscosidad. La viscosidad está asociada realmente con el escurrimiento, ambas son inversamente proporcionales. Para fluidos muy viscosos se pueden utilizar menores interferencias. Otra característica de los fluidos que se relaciona con la interferencia (aunque no la afecta directamente), es la viscosidad. La viscosidad está asociada realmente con el escurrimiento, ambas son inversamente proporcionales.

2.3.4.3 Presión Interna en la Bomba

La presión en la bomba tiende a comprimir el elastómero deformando las cavidades aumentando el tamaño de las mismas, disminuyendo así la interferencia. Este efecto se conoce en la literatura como “Compression Set”. (ESP OIL, 2004)

2.3.5 Diagnóstico de Fallas en BCP

La identificación de fallas en los equipos BCP, se hace en forma visual teniendo en mano el conjunto de la bomba, es decir, rotor y estator. A continuación, se presenta información de los modos de falla más comunes que se pueden presentar tanto en rotores como estatores de las bombas de cavidad progresiva.

2.3.5.1 Fallas en Rotores

Se Muestran a continuación las fallas más frecuentes que se pueden encontrar en el rotor.

a) Abrasión:

Desgaste en la superficie cromada del rotor. Se identifica por desgaste normal por el giro del mismo a alta velocidad o manejo de fluidos abrasivos. Para su corrección se debe utilizar una bomba de mayor capacidad y cromar el rotor para reutilizarlo. (ver figura 2.10).



Figura N° 2.6. Rotor dañado por abrasión
(Fuente: Weatherford EVI de Venezuela)

b) Exposición metálica:

Desgaste de la capa de cromo que recubre el rotor hasta un punto que puede visualizarse la base metálica, sin presentar surcos/hendiduras. Se aprecia como desprendimiento/ausencia de la capa de cromo. (ver figura 2.11).



Figura N° 2.7 Rotor con exposición metálica

c) Desgaste hasta la base metálica:

Se identifica por desgaste extremo del cromado hasta la base metálica (se observan surcos/hendiduras en la base metálica) (ver figura 2.12). Puede ser provocado por fluidos altamente abrasivos, roce con la tubería, bombeo de arena o rocas. Para corregirlo se debe al bajar la eficiencia y cambiar el rotor antes de que la falla sea extrema.



Figura N° 2.8 Rotor con desgaste extremo hasta la base metálica

d) Ataque ácido:

Presenta superficie grisácea, la base metálica puede tener hoyos (ver figura 2.10). El ácido ataca al cromo y el daño depende de la velocidad, la presión y la

temperatura. Se recomienda circular el pozo y desalojar cualquier ácido antes de instalar la bomba.



Figura N° 2.9 Rotor con ataque ácido. (Fuente: Manual de BCP ESP Oil)

e) Cromo quebrado:

La capa de cromo se quiebra pero la base metálica no presenta daño (ver figura 2.14). Esto es provocado por alta temperatura por fricción (elevado ajuste, presión o velocidad). Si el cromo se quiebra la corrosión ataca la base metálica. Debe considerarse el rediseño del sistema.

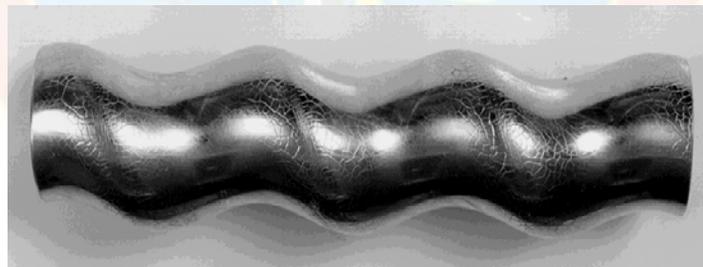


Figura N° 2.10 Rotor con superficie cromada quebradiza (Fuente: Manual de BCP ESP Oil)

2.3.5.2 Fallas en Estatores (elastómero)

Se muestran a continuación las fallas más frecuentes en el elastómero:

a) Abrasión:

Se muestra como superficies desgastadas y arañadas en los valles. (ver figura 2.15). Se produce como desgaste normal. La falla se acelera por operar a alta velocidad o manejar sólidos. Se recomienda reducir la velocidad y utilizar bombas de mayor desplazamiento.



Figura N° 2.11 Elastómero dañado por abrasión
(Fuente: Manual de BCP ESP Oil).

b) Ataque químico:

El elastómero se ve más suave de lo normal y con ampollas (ver figura 2.13). Es producto del ataque por aromáticos o por crudos livianos que suavizan la goma. En estos casos se debe utilizar otros elastómeros.



Figura N° 2.12 Elastómero dañado con burbujas producto de ataque químico

c) Presión excesiva:

Se aprecia una superficie dura y brillante con ulceraciones y goma desprendida producto de la alta presión hidrostática (ver figura 2.17). Se debe revisar el diseño de la bomba y eliminar taponamientos.



Figura N° 2.13 Elastómero dañado por presión excesiva

d) Arrastre por alta presión: Se observan rasgaduras en sentido contrario al flujo, debido a partículas sólidas que deforman y perforan la goma, arrastradas por los propios fluidos. Se debe considerar la utilización de filtros.

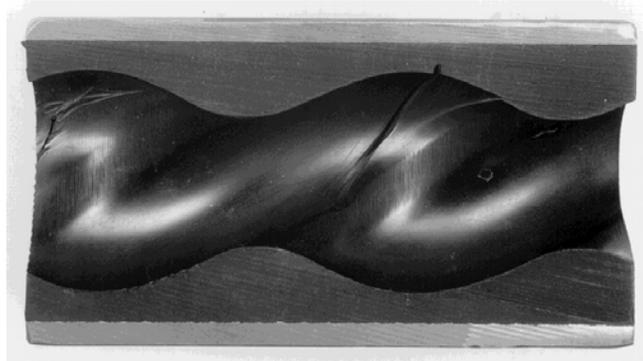


Figura N° 2.14 Elastómero dañado por arrastre por alta presión
(Fuente: Manual de BCP ESP Oil)

e) **Influencia mecánica:** El elastómero se rasga o muestra pequeños hoyos a consecuencia del bombeo de rocas u otras partículas extrañas (ver figura 2.19). Es necesario el uso de filtros a la entrada de la bomba.



Figura N° 2.15 Elastómero dañado por influencia mecánica
(Fuente: Weatherford EVI de Venezuela)

f) **Alta temperatura:** Produce que el elastómero se agriete o se muestre quebradizo (ver figura 2.20). Esta falla viene dada por operación en vacío (sin fluido o mucho gas) o en ambientes con alta temperatura. Se requiere controlar el nivel de fluido y utilizar otros tipos de elastómeros.



Figura N° 2.16 Elastómero dañado por alta temperatura
(Fuente: Manual de BCP ESP Oil).

2.3.6 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto, también llamado curva 80-20 o Distribución A-B-C, es una gráfica para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras. Permite asignar un orden de prioridades. El diagrama permite mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos graves. Mediante la gráfica colocamos los "pocos vitales" a la izquierda y los "muchos triviales" a la derecha.

El diagrama facilita el estudio comparativo de numerosos procesos dentro de las industrias o empresas comerciales, así como fenómenos sociales o naturales, como se puede ver en el ejemplo de la gráfica al principio del artículo. Los diagramas de Pareto sirven, por lo tanto, para determinar las causas que generan la mayor parte de los problemas. Se basa en la idea de que, en muchos casos, el 80% de los errores están ocasionados por el 20% de los problemas posibles. Luego solucionando un 20% de los problemas, eliminamos un 80% de los errores y optimizamos el esfuerzo.

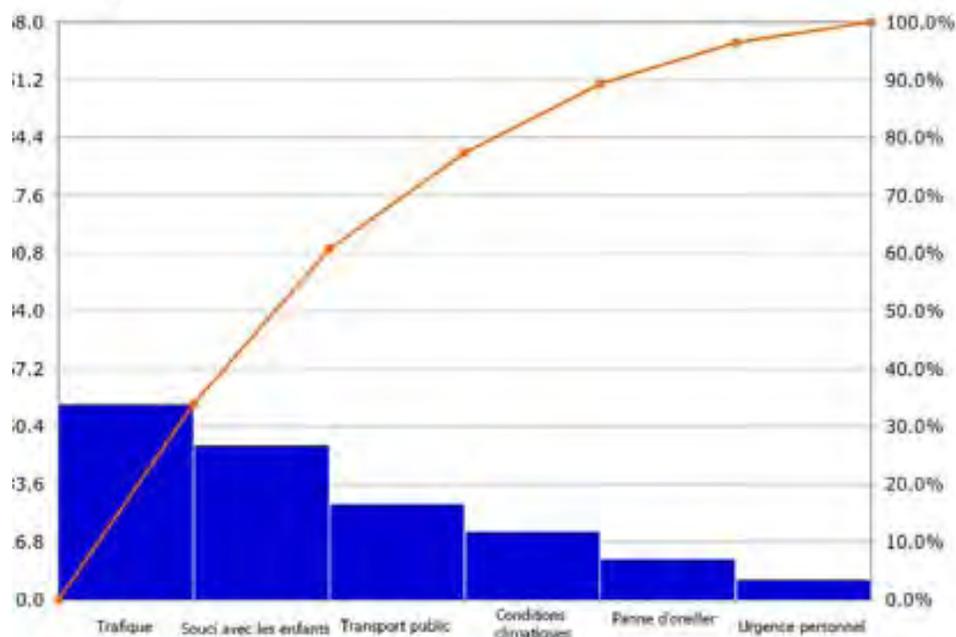


Figura N° 2.17 Diagrama de Pareto
(Fuente: Manual de BCP ESP Oil)

2.3.7 Diagramas causa-efecto

Muestran la relación entre un problema de calidad de importancia clave y las posibles causas que lo originan. Primero se determinan las categorías de causas y luego causas específicas en los niveles en que sea necesario.

2.3.8 Confiabilidad

Es la probabilidad de un ítem a ejecutar una función requerida bajo condiciones establecidas por un periodo de tiempo determinado (Department of Defense Guide, 2005).

Según Leemis, L., (1995), la confiabilidad de un producto “es la medida de la habilidad de este para ejecutar su función, cuando sea requerida, por un periodo de tiempo especificado y en un medio ambiente particular”. (pág. 27).

En lo que respecta al sistema de confiabilidad es definida como la probabilidad de que un sistema (componente) funcione en un periodo de tiempo t (Ebeling, C., 1997)

$$C(t) = e^{-\lambda.t} = e^{-\frac{1}{TPPF}.t}$$

Ecuación 1. Confiabilidad. (Yañez, M. (2004)).

Donde,

t = tiempo de la misión (hrs; días; semanas, meses, años etc)

e= tasa de falla

TPPF = 1/ e = tiempo promedio para fallar o tiempo promedio entre fallas.

2.3.9 Desconfiabilidad Q (t)

Es la probabilidad de que la falla será observada hasta el tiempo t.

2.3.10 Distribuciones paramétricas de probabilidad

Son funciones matemáticas teóricas, que relacionan los diversos probables valores que puede tomar una variable aleatoria, con la probabilidad de ocurrencia de cada uno de ellos. Describen la forma en que se espera se comporte una variable.

(Yañez et al, 2003, “Gerencia de la Incertidumbre”). Existen muchas distribuciones paramétricas de probabilidad de amplio uso en todo tipo de análisis de confiabilidad, sin embargo, a continuación se mencionaran solo las más usadas: Distribución Weibull, Normal, Lognormal, Exponencial y Gamma.

2.3.10.1. La distribución de Weibull

La distribución de Weibull es muy útil para estudios del tiempo de vida o tiempo para la falla de componentes mecánicos. El número de ocurrencia de eventos por unidad de tiempo no permanece necesariamente constante, la tasa de ocurrencia (riesgo) de eventos puede crecer permanecer constante o decrecer con el tiempo. (Albernethy, R., 2000).

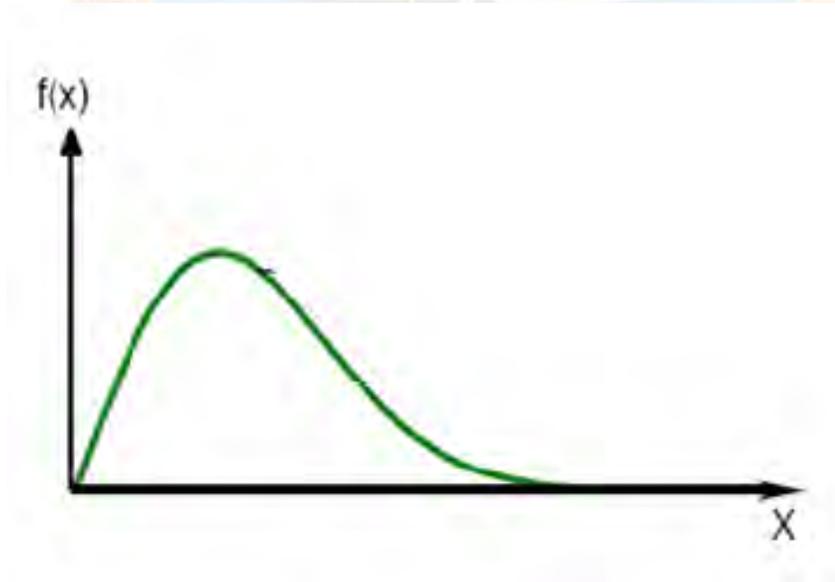


Figura N° 2.18 Distribución Probabilística Weibull (Yañez, M., 2004, Láminas de clases de Estadísticas para la Confiabilidad - USB)

La función de densidad de probabilidad de la distribución Weibull (pdf) con dos parámetros viene dada por:

$$f(T) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{T}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{T}{\eta} \right)^\beta}$$

Donde:

- **η** : es el parámetro de escala y define cuan dispersa se encuentra la distribución (también denominado vida característica), tiene las mismas unidades de “T” como horas, millas, ciclos, entre otros.
- **β** : es el parámetro de forma (o inclinación), el cual indica la forma de la distribución.

La distribución Weibull es una de las distribuciones más utilizadas en la Ingeniería de la Confiabilidad, debido a su capacidad de cambiar de forma dependiendo de la variación del valor del parámetro de forma β . Ella puede modelar una gran variedad de datos y características, además permite identificar el período de vida en que se encuentra un determinado equipo siguiendo la forma de la curva de la bañera.

Esta distribución tiene dos funciones de probabilidad tales como: función de supervivencia y la función de riesgo, la primera permite indicar el tiempo de operación y la segunda señala la falla de un determinado equipo electromecánico. Por

otra parte esta última puede tomar la forma de una “Bañera” debido a que genera tres períodos de tasa de fallo dependiendo del período en que se encuentre.

Curva de la bañera: la curva de la bañera es un gráfica que representa los fallos durante el período de vida útil de un sistema o máquina. Se llama así porque tiene la forma una bañera cortada a lo largo.

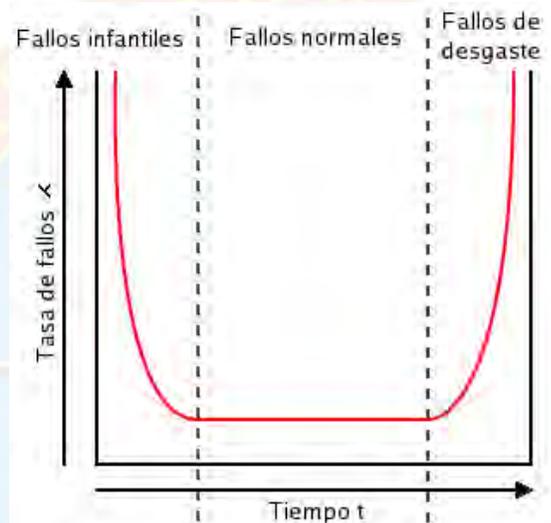


Figura N° 2.19 Curva de la bañera

Tasa de fallas: según sean los valores de beta puede presentar tasas de fallos crecientes, decrecientes o constantes:

- Cuando $\beta < 1$ el modelo presenta tasa de fallas decreciente.
- Cuando $\beta = 1$ el modelo Weibull se convierte en exponencial y presenta tasa de fallas constante. El modelo exponencial es por tanto un caso particular del modelo Weibull.
- Cuando $\beta > 1$ el modelo presenta tasa de fallas creciente.

En ella se pueden apreciar tres etapas:

- **Fallas iniciales:** esta etapa se caracteriza por tener una elevada tasa de fallos que desciende rápidamente con el tiempo. Estos fallos pueden deberse a diferentes razones como equipos defectuosos, instalaciones incorrectas, errores de diseño del equipo, desconocimiento del equipo por parte de los operarios o desconocimiento del procedimiento adecuado.
- **Fallas normales:** etapa con una tasa de errores menor y constante. Los fallos no se producen debido a causas inherentes al equipo, sino por causas aleatorias externas. Estas causas pueden ser accidentes fortuitos, mala operación, condiciones inadecuadas u otros.
- **Fallas de desgaste:** etapa caracterizada por una tasa de errores rápidamente creciente. Los fallos se producen por desgaste natural del equipo debido al transcurso del tiempo.

2.3.11 Tipos de Datos de Confiabilidad

Los tipos de datos afectan el proceso de estimación de la confiabilidad de un equipo debido a que la mayoría de ellos contienen censuras. Es Por ello que es importante la correcta especificación del tipo de dato, los cuales se clasifican en dos tipos de datos denominados “datos completos y censurados”.

2.3.11.1 Datos Completos

Son todos aquellos datos que en un estudio de confiabilidad muestran que todos los equipos analizados han fallado durante el período que ha durado el estudio o la prueba, conociéndose el momento exacto en que falló el equipo estudiado.

2.3.11.2 Datos Censurados

Se conocen tres tipos de datos censurados que aparecerán dependiendo del estudio realizado, los cuales son llamados: datos censurados a la derecha, a la izquierda, y datos por intervalos.

- **Datos censurados a la derecha:**

Los estudios de confiabilidad normalmente tienen una duración predeterminada, por lo que no todos los equipos analizados habrán fallado a su conclusión. Estos se conocen por ocurrir para un $(T > 0)$ (siendo $t=0$ el instante en que se inicia el período del estudio de confiabilidad). Por lo tanto, se sabrá que un cierto número de equipos han “operado eficientemente” durante el período de tiempo que ha durado el estudio o la prueba, mientras que otro grupo de equipos no fallarán durante ese período. De igual manera ocurrirán casos en los se tendrán datos de tiempo promedio para fallar de componentes relacionados al equipo en estudio y que serán útiles para identificar la causa de la deficiencia del equipo por lo cual son también incluidos dentro de este grupo de datos conocidos como censurados a la derecha.

- **Datos censurados a la izquierda:**

Cuando la censura ocurre para un $t < 0$ (siendo $t=0$ el instante en que se inicia el período del estudio de confiabilidad) se estará ante lo que se conoce como censura a la izquierda, ya que se conocerá su período de funcionamiento eficiente desde el inicio del estudio de confiabilidad; sin embargo, probablemente no se sabrá cuando aparecieron por primera vez las fallas del equipo en estudio.

- **Datos censurados por intervalos:**

Son aquellos datos que en un estudio de confiabilidad no mostrarán el momento exacto en que la falla ocurrió pero se sabrá que ésta sucedió dentro del intervalo de inspección establecido para el estudio.

2.3.12 Definición de Términos Básicos

- **Altura de descarga:** capacidad de la bomba para vencer la presión hidrostática y transportar los fluidos hasta las instalaciones de superficie.
- **Bomba de cavidad progresiva (BCP):** usadas en el bombeo de líquidos altamente viscosos, pastosos, neutrales o agresivos, puros o abrasivos, líquidos gaseosos o líquidos que tienden a convertirse en espuma, incluso líquidos con componentes fibrosos y sólidos.
- **Excentricidad de la bomba:** es la distancia perpendicular entre el eje del rotor y el eje del estator los cuales se encuentran paralelos entre sí.
- **Macolla:** locación que reúne la producción de varios pozos ubicados en ella.
- **Paso de la bomba:** es la longitud de una cavidad. La definición del paso de la bomba varía de un fabricante a otro.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación que se desarrollo fue de tipo descriptiva porque según el fundamento de esta forma de investigación, estos estudios sirven para establecer el comportamiento de una situación específica y con esta investigación se buscó definir las causas que han originado fallas en las bombas de cavidad progresiva, así como estudiar el efecto que tienen estas fallas sobre los costos de operación. Arias Fidias, (2006) define la investigación descriptiva de la siguiente manera:

Consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. (p.24).

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación que se desarrollo fue de tipo documental porque según el fundamento de esta forma de investigación, los estudios sirven para dar un aporte de nuevos conocimientos y con este estudio se buscó establecer un registro estadístico para definir las causas que han originado fallas en las bombas de cavidad progresiva, así como su incidencia sobre las operaciones del Campo Cerro Negro, es decir se elaboro un estudio con el cual no cuenta la empresa actualmente. Arias Fidias, (2006) define la investigación documental de la siguiente manera

Es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos. (p.25).

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población estuvo representada por todas las 157 bombas instaladas en los 157 pozos perforados del Campo Cerro Negro, durante el período 1999-2009, pues todos los pozos de este campo han sido completados por el método de levantamiento artificial con bombas de cavidad progresiva. La muestra será igual a la población debido a que se estudiarán los 157 pozos perforados durante el período mencionado anteriormente. Al respecto Arias F, (2006) expresa: “la población se refiere al conjunto de elementos con características comunes que son objeto de análisis y para los cuales serán válidas las conclusiones que se obtengan”.

Por otro parte, el mismo autor explica que la muestra “es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (p.83).

3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

El objetivo general, fue alcanzado mediante el cumplimiento de manera sistemática de los objetivos específicos propuestos, para esto se estableció un procedimiento metodológico que permita tener una idea confiable de cómo fue el desarrollo de la investigación; el mismo consta de las siguientes etapas.

3.4.1 Primera Etapa: Identificación de los Modos de Fallas de Acuerdo a las Características de las BCP por Macollas

En el Campo Cerro negro actualmente se tienen 157 pozos activos completados con el método de levantamiento artificial con Bombas de Cavidad Progresiva por lo que se procedió a buscar, revisar y recolectar la información de este total de pozos distribuidos en las diferentes macollas a través de las carpetas de pozos de la empresa mixta Petromonagas, donde se encuentran los reportes de servicios que describen las actividades generales realizadas en cada pozo. En esta etapa se requirió actualizar y validar la base de datos de las macollas 7 y 8 debido a que estos datos sólo se encontraban en carpetas de pozos. En esta actualización se describió al igual que en las primeras 6 macollas, el diagnóstico y las actividades realizadas para la posterior identificación de los modos de fallas de las BCP, y adicionalmente fue validada la base de datos de las macollas 1 a 6.

Una vez realizada la actualización de estos datos se inició la búsqueda a partir de los historiales de pozos, específicamente donde se detalla la actividad realizada a cada uno de ellos con el fin de contabilizar los pozos que han tenido reemplazos de Bombas de Cavidad Progresiva desde su completación hasta el año 2009, y luego se efectuó la identificación de los modos de fallas en la sección de la carpeta de pozos identificada como workover.

A partir de esta información y mediante el uso de la herramienta Microsoft Office Excel se generó una tabla que contuviera toda esa información que sirvió de insumo para la aplicación del Diagrama de Pareto el cual ayudó a determinar la frecuencia con la que se han presentado los modos de fallas de las BCP.

La aplicación del diagrama de Pareto se efectuó de la siguiente manera:

- a) Se agruparon los modos de falla identificados en cada macolla.
- b) Los modos de fallas fueron ordenados de mayor a menor cantidad por macolla.
- c) Se calcularon los porcentajes de frecuencia y el porcentaje de frecuencia acumulada para cada modo de falla.
- d) Se representaron en un gráfico los modos de fallas en el eje X y en los ejes Y la frecuencia (gráfica de barra) y el porcentaje acumulado (curva).

Finalmente con el diagrama causa-efecto o diagrama de pescado se analizaron las principales causas que originaron las fallas en las BCP del Campo en estudio.

3.4.2 Segunda Etapa: Análisis Estadístico de las Fallas en las Bombas de Cavidad Progresiva del Campo Cerro Negro

Para el logro de este objetivo se empleó un simulador de análisis estadístico denominado Minitab y como modelo estadístico la distribución Weibull utilizando la data recopilada en el primer objetivo. Se inició generando una tabla en Excel para cada macolla que contuviera la fecha de completación, de parada y de arranque de los pozos con el fin de determinar los Tiempos Promedios para la Falla (TPPF) necesarios para la determinación de los porcentajes de bombas de Cavidad Progresiva que estarán fallando en los próximos tres años. Una vez generadas las tablas en Excel fueron calculados estos tiempos mediante la resta de la fecha de la parada menos fecha de la última intervención y cuando no había fallado entonces se restaba respecto a la fecha de completación.

Los TPPF obtenidos fueron introducidos en una hoja de Excel del simulador Minitab, en la primera columna se colocaron los datos conformados por fallas completas y datos censurados y en la segunda columna estos datos fueron diferenciados mediante un número con el fin de indicar cuáles eran los datos completos y los censurados. Para ello se indicó el número 1 como un dato completo y el cero “0” como dato censurado, de manera que el simulador pudiera diferenciar un dato de otro al iniciar la corrida. Las observaciones o datos censurados fueron registrados en el simulador debido a que la mayoría de los software estadísticos solicitan este tipo de datos para un mejor análisis de tiempos de fallo.

Antes de iniciar las corridas para las 8 macollas fue necesario comprobar que la distribución Weibull era la más óptima para este estudio en particular, y que los datos de TPPF cargados en el simulador se ajustaban a esta distribución. Se eligieron las variables que contienen los tiempos de fallo, así como las columnas en la que se indica las censuras y de esta manera se realizó la primera corrida para demostrar que el mejor ajuste para los datos cargados fue la distribución Weibull debido a que los puntos que se observaron en la gráfica estaban más próximos a la recta.

Una vez conocida la distribución que más se ajustaron a los datos, se procedió a describir las gráficas de interés para este estudio y que permitieron soportar mejor los resultados obtenidos. El software utilizado incluye para un análisis de tiempos de fallo los siguientes gráficos: la función de densidad de probabilidad (f.d.p), la función de identificación de distribución (linealizada), la función de supervivencia y función de riesgo. Las 4 gráficos anteriores fueron generados mediante el simulador y permitieron un mejor entendimiento para la obtención de los porcentajes de BCP que estarán fallando por los siguientes tres años.

Finalmente fueron simulados mediante la distribución Weibull los porcentajes de bombas de cavidad progresiva que posiblemente fallarán y de esta manera se logró

estimar los porcentajes y por ende la cantidad de BCP que serán reemplazadas para los próximos tres años.

Al entrar a la sesión de análisis de distribución paramétricas fueron seleccionados los tiempos de 365, 730, y 1095 días con el fin de obtener el porcentaje de bombas de cavidad progresiva que probablemente fallarán en ese tiempo. Este procedimiento fue igual para todas las macollas.

Una vez obtenida para las 8 macollas la cantidad de BCP que fallarán para los tres años siguientes se procedió a presupuestar para esa misma cantidad de años los equipos tanto de superficie como de subsuelo necesarios para la completación de las BCP al momento de realizar el reemplazo y esto se efectuó mediante una volumetría de costos. El procedimiento se explica a continuación:

- En una hoja de Excel fueron vaciados los equipos tanto de superficie como de Subsuelo necesarios para realizar un reemplazo de bombas BCP entre ellos se encuentran:
 - 1) Barra pulida,
 - 2) Grampas,
 - 3) Sensores de fondo
 - 4) Porta sensor
 - 5) Cables de fondo
 - 6) Grapas
 - 7) Bombas de Cavidad Progresiva (98-1580)
 - 8) Bombas de Cavidad Progresiva (98-1600)
 - 9) Cabillas

- 10) Niple de Cabillas
- 11) Cuello de Combinación (combinación barra pulida con cabillas)
- 12) Cuellos de conexión (combinación entre cabillas)
- 13) Flejes.

Fueron recopilados los costos actuales para cada uno de estos equipos y se identificaron el número de piezas requeridas para cada pozo. Este costo se multiplicó por el número de pozos a trabajar cada año para obtener el total de MMBsF requeridos para el presupuesto asociado al reemplazo de las bombas que se estimaron que fallarían.

Para el año 2010 (365 días después del estudio) se tomaron los costos reales de estos equipos, sin embargo para los años 2011 (730 días) y 2012 (1095 día), se sumó un 10% de inflación sobre el presupuesto total obtenido en ese año para el reemplazo de bombas, esto asumiendo que los equipos incrementarán en el tiempo.

3.4.3 Tercera Etapa: Explicación de los Efectos de las Fallas de las BCP Sobre los Costos de Operación de las Bombas de Cavidad Progresiva en el Campo Cerro Negro

En esta fase se determinó el impacto histórico que ha tenido en los costos de operación, en el tiempo y en la producción, las fallas mecánicas de las BCP en los 157 pozos del Campo Cerro Negro de la empresa mixta Petromonagas. Estos costos de operación se calcularon mediante la sumatoria de los costos asociados a los servicios con taladro, costos de reparación o cambio de bomba de cada pozo para los años 2007, 2008 y 2009 debido a que no se cuenta con los costos de los años

anteriores (2000-2006) pues esta información no fue entregada por Exxon Móvil quien operaba anteriormente este campo. Posteriormente, estos costos fueron graficados por año mediante una gráfica de barra.

Para determinar el impacto en la producción de petróleo se recopiló información a través del “Centinela” donde se detalla la producción de petróleo, agua y gas mediante las pruebas realizada a los pozos para cada mes. Se tomó específicamente la última prueba de producción antes que el pozo se parara. Esta información fue obtenida para cada pozo que presento falla mecánicas en las macollas del campo y fue vaciada en una hoja de Excel. En ésta, se agrupó la producción diferida de los pozos con fallas de BCP para cada año y se multiplicó por el número de días que estuvo el pozo inactivo producto del reemplazo de la bomba. El resultado obtenido fue la producción en Bls de cada pozo. Posteriormente se sumó por año y se presentó mediante gráfica de barra.

Adicionalmente, fueron calculados los ingresos que dejó de percibir la nación producto de esta producción diferida. Para ello, se llevaron los MBD de producción diferida de cada pozo a Bls y se multiplicó por el precio del petróleo en \$/Bl correspondiente al respectivo año. Esto generó como resultado la cantidad de dólares (\$) que no ingresaron al país por la venta de este petróleo que no se pudo extraer por las fallas de las BCP. Se hizo la sumatoria de los dólares (\$) correspondientes a cada pozo en cada año y luego estos dólares se llevaron a MMBsF. Al igual que en los casos anteriores, fue presentado mediante gráfica de barras.

De la misma manera se calcularon los días de inactividad producto de las paradas de los pozos por fallas mecánicas de las BCP. Para esto, mediante la ayuda del Microsoft office Excel, se restaron las fechas correspondientes a la intervención menos la fecha de parada de cada pozo. Se totalizaron los días para cada año y se presentaron en una gráfica de barra.

3.5 INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1 Revisión Bibliográfica y Documental

Se realizó una revisión y recolección de información referente al Equipo de Bombeo de Cavidades Progresivas, funcionamiento, rango, características, limitaciones, entre otros, libros y manuales sobre distribuciones paramétricas y distribución de Weibull, internet, adicionalmente, se revisó información de los históricos de producción, carpetas e historiales de pozos, base de datos de la empresa mixta Petromonagas, y tesis de grados relacionadas con esta investigación.

3.5.2 Entrevistas no Estructuradas

Se efectuaron diversas reuniones con la finalidad de aclarar dudas concernientes a esta investigación, para ello se conversó con Ingenieros de Petróleo, Ingenieros mecánicos, Operadores del Centro Operativo Petromonagas y personal de perforación, a través de este último se obtuvo información sobre los costos de operación, de servicio y de bomba.

3.5.3 Programas Utilizados

3.5.3.1 Centinela

Es un sistema que actúa como centro de recopilación de todos los datos necesarios para cubrir las condiciones y necesidades actuales de producción. Permite el almacenamiento y uso de todos los parámetros y características referentes al

comportamiento de producción de los pozos, procesamientos y utilización del gas, contabilización de crudos y productos además de mantener información actualizadas de las instalaciones y equipos de las divisiones de Occidente y Oriente.

3.5.3.2 Software Minitab

Es un programa de computadora diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas. Combina lo amigable del uso de Microsoft Excel con la capacidad de ejecución de análisis estadísticos. Ofrece herramientas precisas y fáciles de usar para aplicaciones estadísticas generales y muy especialmente para control de calidad. Líder por su facilidad de manejo y poderosos módulos de cálculo, está hoy presente en las más prestigiosas empresas del mundo, escuelas de negocios, laboratorios, consultoras y centros universitarios.

3.6 RECURSOS

3.6.1 Recursos Humanos

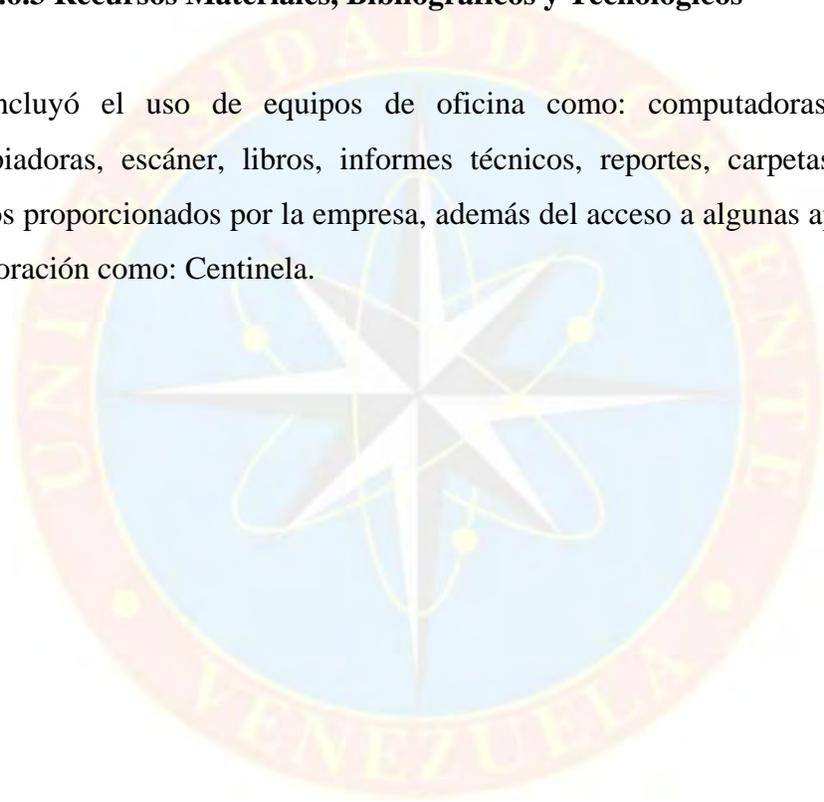
Durante la realización de esta investigación se contó con el apoyo de los Ingenieros de las diferentes áreas: yacimientos, perforación, Optimización, Producción y operadores de Campo, así como también se obtuvo la asesoría continua de los asesores industrial y académico y otros profesores de la Universidad de Oriente Núcleo Monagas.

3.6.2 Recursos Financieros

El Centro Operativo Petromonagas cubrió todos los gastos asociados al desarrollo del proyecto durante el tiempo estipulado.

3.6.3 Recursos Materiales, Bibliográficos y Tecnológicos

Incluyó el uso de equipos de oficina como: computadoras, impresoras, fotocopiadoras, escáner, libros, informes técnicos, reportes, carpetas de pozos y archivos proporcionados por la empresa, además del acceso a algunas aplicaciones de la corporación como: Centinela.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS MODOS DE FALLA ENCONTRADOS EN LAS BCP DEL CAMPO CERRO NEGRO

Para cumplir con el desarrollo del primer objetivo, se realizó la actualización de la base de datos correspondiente a las macollas 7 y 8 instaladas en el Campo Cerro Negro asociado a la empresa mixta Petromonagas. De esta actualización fueron determinadas las fechas de completación, fechas de paradas, fechas de intervenciones, la cantidad de intervenciones realizadas, así como el diagnóstico y la actividad para los pozos, necesarios para el estudio y análisis de los objetivos planteados, como se puede observar en la figura 4.1.

Nº	MACOLLA	POZO	YACIMIENTO	ARENA	COMPLET. ORIGINAL	FECHA COMPLETACION	TIEMPO EQUIPO EN FONDO (Meses)	Modelo de Bomba	Desplazamiento nominal BCP (litros/día)	FECHA PARADA	DIAGNOSTICO
1		CGC 0101	Monchal 29	Monchal inferior	BCP	17/02/1999	127	Weatherford 98-1500			
2		CGC 0102	Monchal 29	Monchal inferior	BCP	19/02/1999	192	Weatherford 98-1600	8,16	11-11-05	El pozo se paró el 11 de Noviembre de 2005 por presentar alto torque, se intentó arrancar nuevamente sin éxito debido a que la sarta de cabilla no rotaba. Se recomienda recuperar sarta de cabillas y rotor. Evaluar
3		CGC 0103	Monchal 29	Monchal inferior	BCP	21/02/1999	114	Weatherford 98-1600	8,16	13-07-08	Baja eficiencia de bomba
4		CGC 0104	Monchal 29	Monchal inferior	BCP	24/02/1999	137	Weatherford 98-1500	8,16		
5		CGC 0105	Monchal 29	Monchal medio	BCP	25/02/1999	118	Weatherford 98-1500	8,16	09-11-08	Pozo alto productor de gas y con baja eficiencia de bomba, se recomienda instalar bomba de carga
6		CGC 0106	Monchal 29	Monchal medio	BCP	27/02/1999	109	Weatherford 98-1600	6,10		Posible cabilla suelta
7		CGC 0107	Monchal 29	Monchal inferior	BCP	01/03/1999	137	Weatherford 98-1600	8,16		
8		CGC 0108	Monchal 29	Monchal inferior	BCP	02/03/1999	109	Weatherford 98-1500	8,16	09-02-05	Posible bomba dañada
9		CGC 0108	Monchal 29	Monchal inferior	BCP	06/04/1999	22	Weatherford 98-1500	8,16		Posible bomba dañada

Figura N° 4.1 Histórico de completación y reparación de pozos de macolla 1

En el apéndice A desde la tabla A.7 hasta la tabla A.8, se visualiza la actualización realizada a cada uno de los pozos pertenecientes a estas dos macollas.

Una vez actualizados estos datos se inició el proceso de identificación de los modos de falla que presentaron los equipos BCP del Campo Cerro Negro, como se dijo anteriormente cuenta con un universo de 157 pozos activos completados todos con este método de levantamiento artificial, cada uno de ellos fue estudiado mediante la información digitalizada y las carpetas de los pozos donde se encuentran los “Reportes Sumario de Operaciones”, que son las intervenciones con taladro realizadas a los pozos y donde se especifica el problema que presentó el pozo, el tipo de falla de la bomba o de cualquier equipo de completación de subsuelo. Una vez identificada la información requerida (fallas mecánicas) fueron reunidos y ordenados los datos para así generar tablas en Microsoft Excel donde se especifica el nombre del pozo, el número de fallas, y el modo de falla de cada bomba. A continuación se muestran las tablas para las 8 macollas en estudio:

4.1.1 Frecuencia de los Modos de Falla Encontrados en las BCP del Campo Cerro Negro para las 8 Macollas

Tabla N° 4.1 Fallas encontradas en las BCP de los pozos ubicados en la macolla N° 1

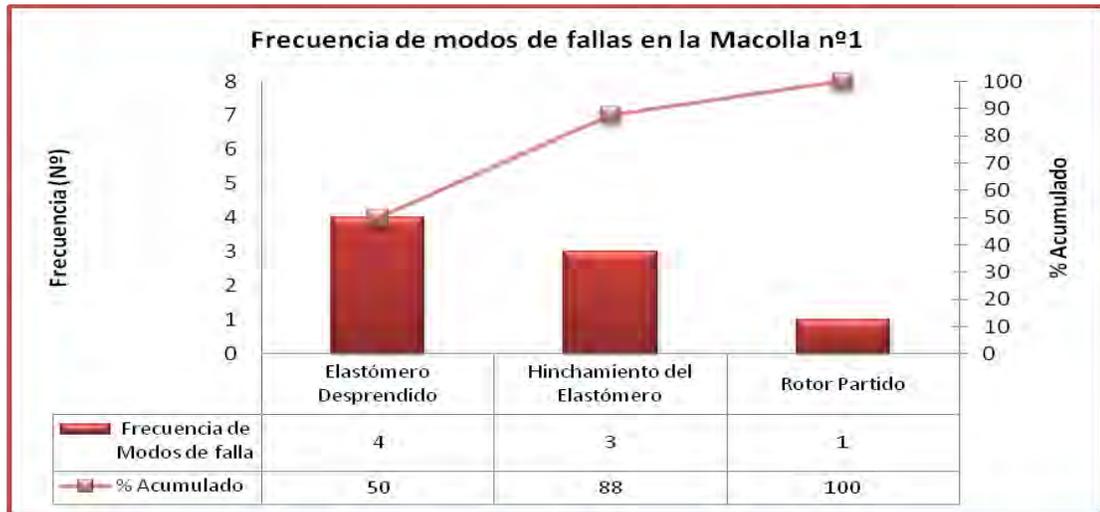
POZO	Nº DE FALLAS	MODO DE LA FALLA
CGC 0102	1	Elastómero Desprendido
CGC 0105	1	Elastómero Desprendido
CGC 0106	1	Elastómero Desprendido
CGC 0109	1	Rotor Partido
CGC 0113	1	Elastómero Desprendido
CGC 0115	1	Hinchamiento del Elastómero
CGC 0116	1	Hinchamiento del Elastómero
CGC 0116	1	Hinchamiento del Elastómero

En la tabla anterior se aprecia la cantidad de pozos que fueron intervenidos por reemplazo de bombas de cavidad progresiva para la macolla N° 1, observándose que para un total de 16 pozos ubicados en esta macolla sólo 7 bombas presentaron fallas mecánicas. Por otra parte, es importante señalar que cada una de estos pozos ha tenido una sola intervención por reemplazo de bomba excepto el pozo CGC 0116 que ha sido intervenido dos veces por elastómero hinchado. Posteriormente se una tabla resumen de la frecuencia de fallas, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla N° 4.2 Frecuencia de modos de fallas de la macolla N° 1

Modo de Falla	Frecuencia de Modos de falla	%	% Acumulado
Elastómero Desprendido	4	50	50
Hinchamiento del Elastómero	3	38	88
Rotor Partido	1	13	100
Total	8	100	

En la tabla N° 4.2 se muestran los resultados de los de modos de fallas organizados de mayor a menor frecuencia, obtenidas a través del procedimiento propuesto por el Diagrama de Pareto, denotándose en un primer lugar el elastómero desprendido (50%), y en segundo lugar el hinchamiento del elastómero (38%), siendo éstos los dos modos de fallas que concentran más del 80% de las fallas mecánicas, por su parte el rotor partido solo se ha encontrado en un 13% como el modo de falla menos usual en esta macolla.



Grafica N° 4.1 Diagrama de Pareto para la macolla N° 1

En la gráfica N° 4.1 se aprecia que los modos de falla que representan el 80% o más de las causas por las cuales se reemplazaron las BCP en los pozos de la macolla n°1 es elastómero desprendido y elastómero hinchado. De allí que se hace necesario indagar sobre las causas que originaron estos dos modos de fallas para tomar las acciones pertinentes y evitar futuras paradas de producción en esta macolla.

Tabla N° 4.3 Fallas encontradas en las BCP de los pozos ubicados en la macolla N° 2

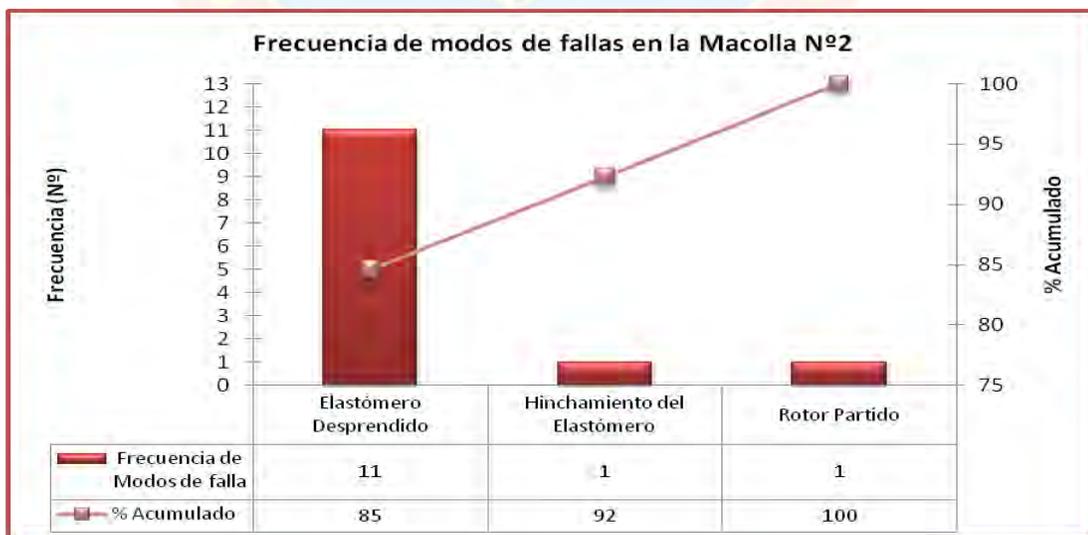
POZO	N° DE FALLAS	MODO DE LA FALLA
CHC 0201	1	Elastómero Desprendido
CHC 0202	1	Elastómero Desprendido
CHC 0206	1	Elastómero Desprendido
CHC 0208	1	Elastómero Desprendido
CHC 0209	1	Elastómero Desprendido
CHC 0209	1	Rotor Partido
CHC 0210	1	Elastómero Desprendido
CHC 0211	1	Elastómero Desprendido
CHC 0215	1	Elastómero Desprendido
CHC 0216	1	Elastómero Hinchado
CHC 0216	1	Elastómero Desprendido
CHC 0218	1	Elastómero Desprendido
CHC 0219	1	Elastómero Desprendido

En la macolla N° 2 se encuentran completados 19 pozos con sus respectivas BCP, de los cuales 13 pozos fueron intervenidos por fallas mecánicas. La mayoría de estos pozos han presentado una sola intervención y solo dos pozos han tenido dos intervenciones, éstos son: CHC 0209 y CHC 0216 (Ver tabla N° 4.3). Al igual que en la macolla anterior, una vez identificados los modos de fallas en cada pozo, se procedió a calcular la frecuencia y porcentaje acumulado, según se muestra a continuación:

Tabla N° 4.4 Frecuencia de modos de fallas de la macolla N° 2

Modo de Falla	Frecuencia de Modos de falla	%	% Acumulado
Elastómero Desprendido	11	85	85
Hinchamiento del Elastómero	1	8	92
Rotor Partido	1	8	100
Total	13	100	

Según lo que señala la tabla 4.4 se observa que el elastómero desprendido ocurre con mayor frecuencia en un 85%, mientras que el hinchamiento del elastómero y el rotor partido ocurren en un 8% cada uno.



Grafica N° 4.2 Diagrama de Pareto para la macolla N° 2

La Grafica N° 4.2 refleja en la realidad del campo Cerro Negro lo planteado anteriormente en la tabla 4.4 soportado en la teoría del Diagrama de Pareto según la cual el 80% del problema se concentra en el 20% de las causas, cumpliendo con el principio de: pocos vitales, muchos triviales. En la gráfica se reflejan los "pocos vitales" a la izquierda y los "muchos triviales" a la derecha, observándose en este caso que los pocos vitales está representado por el elastómero desprendido, el cual es el responsable en un 85% de las fallas y como muchos triviales se tiene al hinchamiento del elastómero y el rotor partido que representan en este caso los problemas con menor importancia ya que a través de la gráfica indican que no son los responsables en gran parte de los problemas mecánicos observados.

Tabla N° 4.5 Fallas encontradas en las BCP de los pozos ubicados en la macolla N° 3

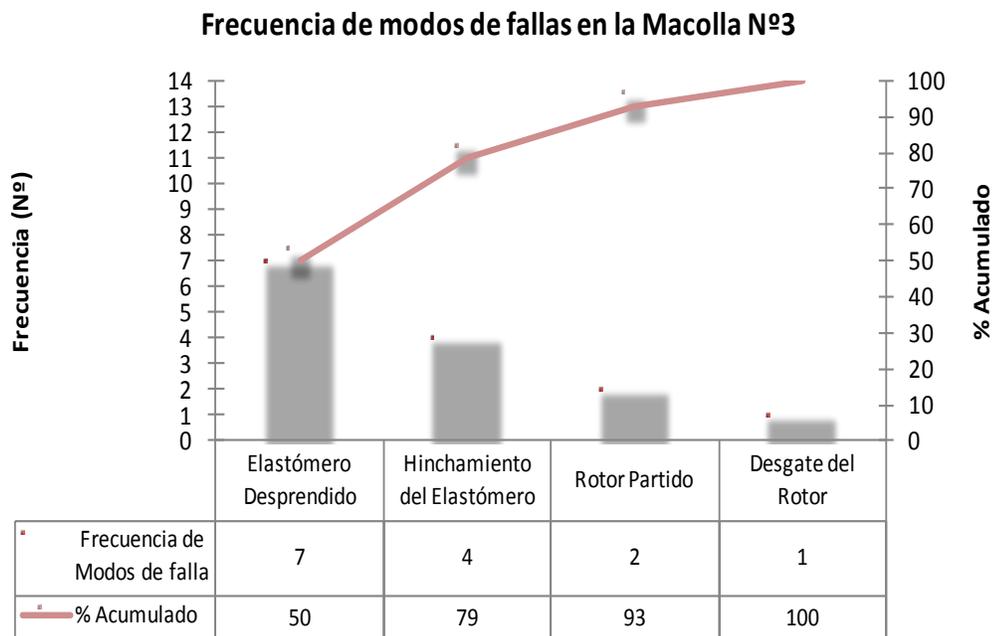
POZO	N° DE FALLAS	MODO DE LA FALLA
CGC 0301	1	Elastómero Desprendido
CGC 0302	1	Hinchamiento del Elastómero
CGC 0303	1	Rotor Partido
CGC 0304	1	Desgate del Rotor
CGC 0304	1	Rotor Partido
CGC 0305	1	Elastómero Desprendido
CGC 0306	1	Hinchamiento del Elastómero
CGC 0310	1	Elastómero Desprendido
CGC 0310	1	Elastómero Desprendido
CGC 0311	1	Hinchamiento del Elastómero
CGC 0311	1	Hinchamiento del Elastómero
CGC 0312	1	Elastómero Desprendido
CGC 0316	1	Elastómero Desprendido
CGC 0317	1	Elastómero Desprendido

En el caso de los pozos ubicados en la macolla N° 3, fueron intervenidos por reemplazo de bomba 11 pozos de 19 completados en la misma, presentando la mayoría de ellos una sola intervención, con excepción de los pozos CGC 0304, CGC 0310, CGC 0311 que han sido intervenidos dos veces por los modos de fallas descritos en dicha tabla. Al igual que en los casos anteriores se efectuó los cálculos pertinentes para luego obtener los resultados que se muestran a continuación:

Tabla N° 4.6 Frecuencia de modos de fallas de la macolla N° 3

Modo de Falla	Frecuencia de Modos de falla	%	% Acumulado
Elastómero Desprendido	7	50	50
Hinchamiento del Elastómero	4	29	79
Rotor Partido	2	14	93
Desgaste del Rotor	1	7	100
	14	100	

En la tabla 4.6 se pueden apreciar los cálculos realizados para la macolla N° 3, los cuales permiten inferir que los modos de fallas en esta macolla que generan repetidas entradas de taladros para reemplazo de las BCP son elastómero desprendido y elastómero hinchado, las cuales abarcan el 80% de los resultados totales, mientras que el otro porcentaje restante se le atribuye al rotor partido (13%) y al desgaste del rotor (7%) como una nueva falla encontrada en el estudio hasta este momento.



Grafica N° 4.3 Diagrama de Pareto para la macolla N° 3

En la gráfica N° 4.3 realizada para la macolla N° 3 se encuentran organizados izquierda a derecha los cuatro (4) modos de fallas observadas en las BCP de los once pozos estudiados por presentar fallas mecánicas, los cuales van de mayor a menor frecuencia (elastómero desprendido, elastómero hinchado, rotor partido y desgaste del rotor) lo que permite identificar visualmente en una sola revisión las minorías de características vitales a las que es importante prestar atención como son: elastómero desprendido y elastómero hinchado, pues aproximadamente el 80% de los problemas los están originado estas dos fallas, indicando de esta manera que son responsables en gran parte de los problemas mecánicos observados.

Tabla N° 4.7 Fallas encontradas en las BCP de los pozos ubicados en la macolla N° 4

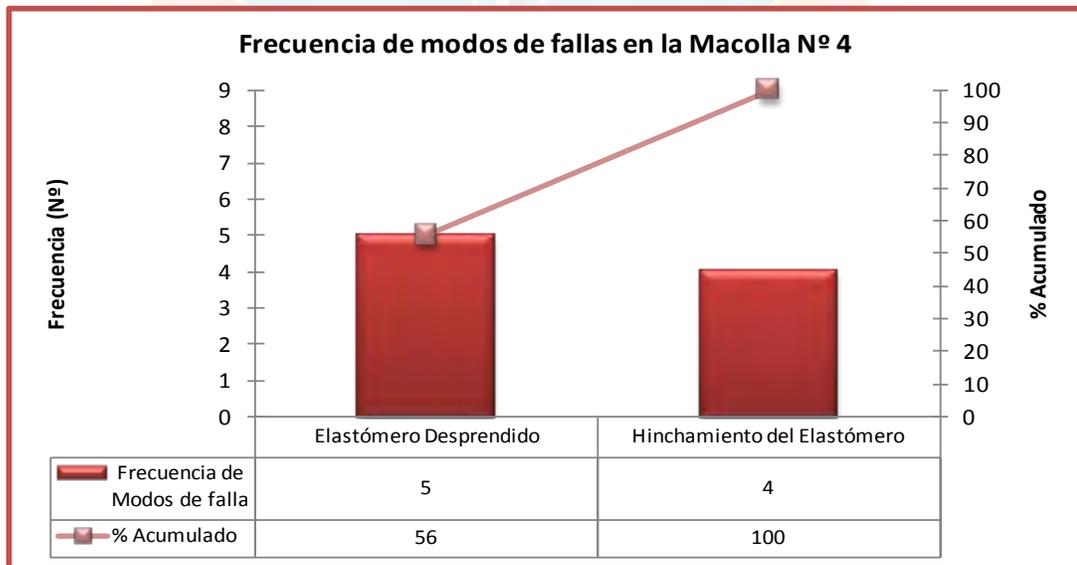
POZO	Nº DE FALLAS	MODO DE LA FALLA
CGC 0406	1	Elastómero Desprendido
CGC 0408	1	Hinchamiento del Elastómero
CGC 0410	1	Hinchamiento del Elastómero
CGC 0411	1	Hinchamiento del Elastómero
CGC 0412	1	Hinchamiento del Elastómero
CGC 0413	1	Elastómero Desprendido
CGC 0414	1	Elastómero Desprendido
CGC 0415	1	Elastómero Desprendido
CGC 0418	1	Elastómero Desprendido

En la tabla 4.7 se describe la cantidad de pozos que han presentado intervenciones por fallas mecánicas, obteniéndose un total de nueve (9) pozos y por ende de nueve (9) bombas dañadas de los 18 pozos completados en esta macolla. Los pozos restantes aún no han presentado ningún problema de fallas mecánicas en las BCP. De la misma manera que en los procedimientos anteriores fue desarrollada la tabla que sigue a continuación:

Tabla N° 4.8 Frecuencia de modos de fallas de la macolla N° 4

Modo de Falla	Frecuencia de Modos de falla	%	% Acumulado
Elastómero Desprendido	5	56	56
Hinchamiento del Elastómero	4	44	100
Total	9	100	

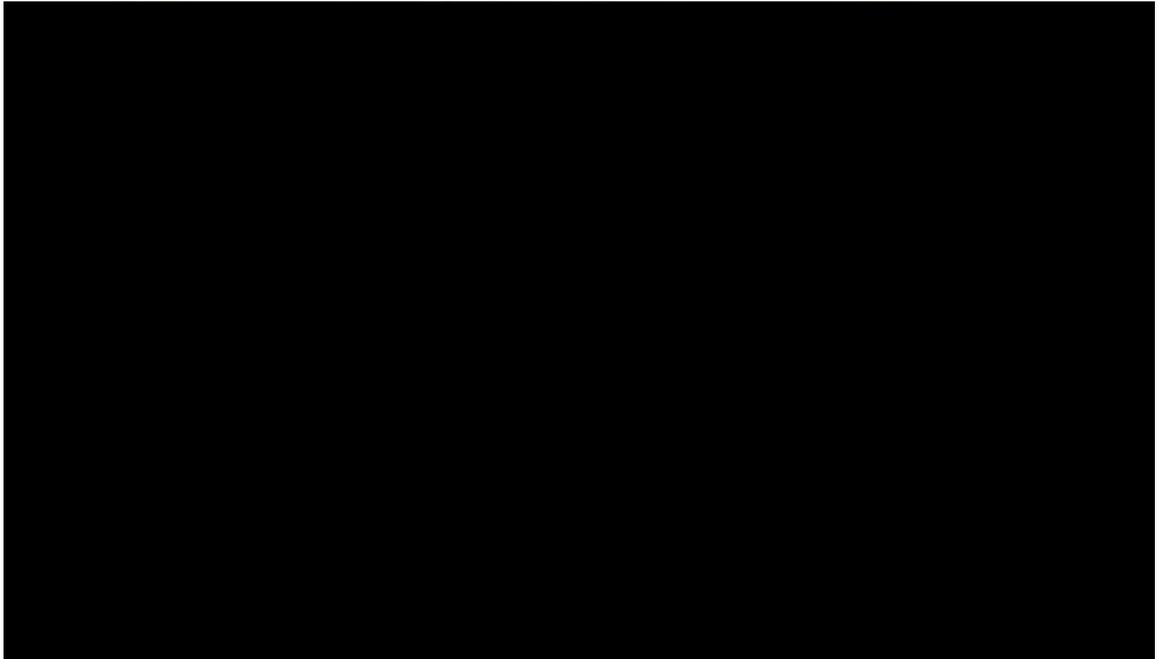
Los resultados obtenidos de los cálculos realizados se indican en la tercera y cuarta columna de la tabla N° 4.8 donde se señalan las frecuencias con que se presenta cada modo de falla en porcentaje y su porcentaje acumulado respectivamente, resultando que los modos de fallas más habituales son el daño de bomba causado por elastómero desprendido con un 56% de frecuencia, mientras que el 44% restante se le atribuye al elastómero hinchado, dado a que las fallas por rotor partido no se han observado para esta macolla. En el caso de esta macolla, es importante hacerle seguimiento a ambas causas ya que se presentan en porcentajes de ocurrencia casi similares por lo que se puede inferir que ambas son responsables de las constantes paradas de producción en esta macolla.



Grafica N° 4.4 Diagrama de Pareto para la macolla N° 4

En la grafica N° 4.4 se evidencia una vez más lo planteado en la tabla N° 4.8 y es que ambos modos de falla: elastómero desprendido (56%) y elastómero hinchado (44%), son los responsables de las paradas de BCP de la macolla n°4, estableciéndose ambos como los modos de falla mayormente encontrados con estos problemas y a los cuales se debe prestar atención para llevar a cabo una acción correctiva. Cabe mencionar que este es un campo relativamente nuevo, razón por la cual los reemplazos por bomba dañada han sido escasos. Por otra parte es importante resaltar que no se han observado en esta macolla fallas en las BCP por rotor partido y por desgaste del rotor, razón por la cual el mayor porcentaje de frecuencia se observa en el elastómero desprendido.

Tabla N° 4.9 Fallas encontradas en las BCP de los pozos ubicados en la macolla N° 5



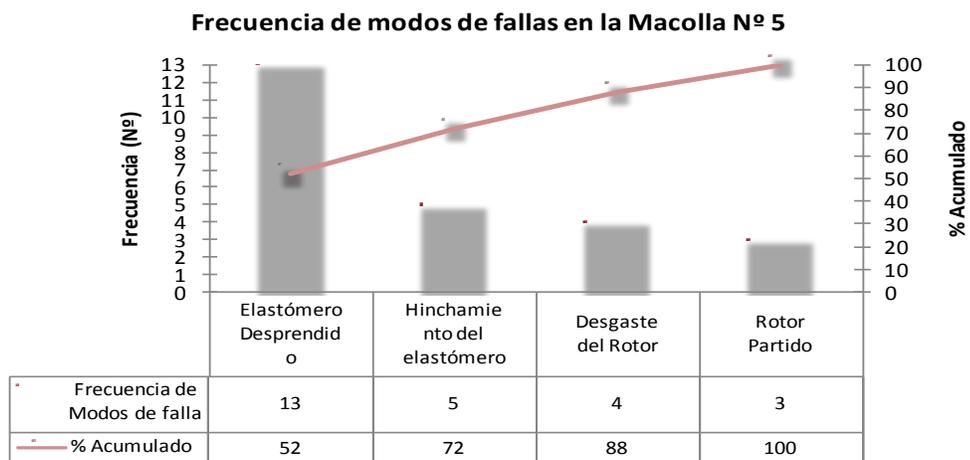
En lo que respecta a la macolla N° 5, de un total de dieciocho (18) pozos completados en ella, quince (15) han presentado problemas por fallas mecánicas. Es importante acotar que los pozos CHC 0502, CHC 0507, CHC 0508, CHC 0510, CHC

0516 y CHC 0518 han tenido dos intervenciones por las diferentes fallas arriba mencionadas, mientras que el pozo CHC 0517 ha presentado tres intervenciones por bomba dañada con elastómero desprendido y desgaste del rotor. La tabla N° 4.10 sirvió de base para la realización de los cálculos de cada uno de los modos de fallas.

Tabla N° 4.10 Frecuencia de modos de fallas de la macolla N° 5

Modo de Falla	Frecuencia de Modos de falla	%	% Acumulado
Elastómero Desprendido	13	52	52
Hinchamiento del elastómero	5	20	72
Desgaste del Rotor	4	16	88
Rotor Partido	3	12	100
Total	25	100	

Los modos que contribuyen mayormente a las fallas en las BCP de la macolla N° 5 son el elastómero desprendido e hinchado y rotor desgastado, los cuales suman el 88% de las fallas mecánicas ocurridas en esta macolla, mientras que el rotor partido solo se ha observado en un 12%. Estos resultados indican que los problemas con mayor prioridad a corregir son los primeros tres que se señalan en la tabla, pues en este caso son probablemente los que puedan generar mayores daños a futuro.



Grafica N° 4.5 Diagrama de Pareto para la macolla N° 5

En la grafica N° 4.5 realizada mediante el diagrama de pareto se muestran los problemas que tienen más relevancia en esta macolla, resultando con más del 80% de frecuencia los modos de fallas: elastómero hinchado, desprendido y desgaste en el rotor, y sobre los cuales se debe enfocar la atención de los optimizadores de pozos para evaluar y determinar las causas que están generando estos modos de falla y sobre todo hacer mucho énfasis en el elastómero desprendido que abarca más de la mitad de las fallas ocurridas en esta macolla.

Tabla N° 4.11 Fallas encontradas en las BCP de los pozos ubicados en la macolla N° 6

POZO	N° DE FALLAS	MODO DE LA FALLA
CHC 0601	1	Elastómero Desprendido
CHC 0601	1	Hinchamiento del Elastómero
CHC 0603	1	Elastómero Desprendido y Rotor partido
CHC 0604	1	Hinchamiento del Elastómero
CHC 0605	1	Rotor Partido
CHC 0605	1	Elastómero Desprendido
CHC 0605	1	Elastómero Desprendido y Rotor Partido
CHC 0606	1	Hinchamiento del Elastómero
CHC 0606	1	Hinchamiento del Elastómero
CHC 0608	1	Elastómero Desprendido
CHC 0608	1	Elastómero Desprendido
CHC 0610	1	Elastómero Desprendido
CHC 0611	1	Hinchamiento del Elastómero
CHC 0611	1	Elastómero Desprendido
CHC 0612	1	Rotor Partido
CHC 0612	1	Rotor Partido
CHC 0613	1	Hinchamiento del Elastómero
CHC 0613	1	Hinchamiento del Elastómero
CHC 0614	1	Elastómero Desprendido
CHC 0617	1	Elastómero Desprendido
CHC 0617	1	Rotor Partido
CHC 0617	1	Elastómero Desprendido
CHC 0618	1	Elastómero Desprendido
CHC 0618	1	Hinchamiento del Elastómero

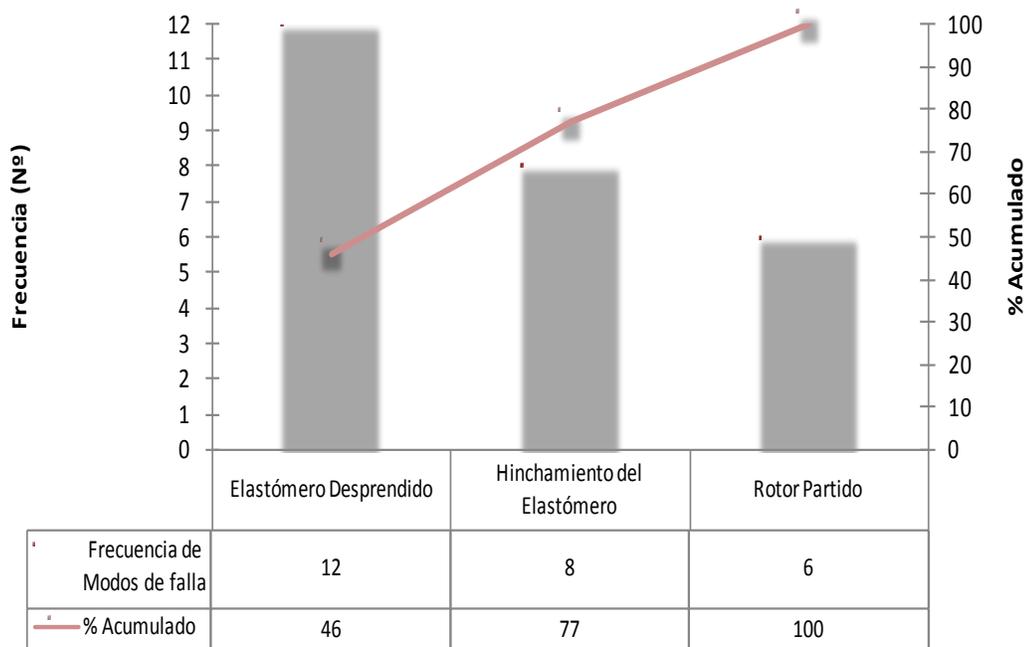
Según los datos plasmados en la tabla 4.11 en la que se describen los modos de falla para los pozos que integran la macolla N° 6, se tiene que de un total de dieciocho (18) pozos, trece (13) pozos han fallado. Otro aspecto observado en esta tabla es que la mayoría de los pozos allí mencionados han presentado más de una intervención por reemplazo de bombas. Ahora bien, al igual que en las sub-etapas anteriores fueron determinados los porcentajes de frecuencia de ocurrencia y acumulados para cada modo de falla. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla N° 4.12 Frecuencia de modos de fallas de la macolla N° 6

Modo de Falla	Frecuencia de Modos de falla	%	% Acumulado
Elastómero Desprendido	12	46	46
Hinchamiento del Elastómero	8	31	77
Rotor Partido	6	23	100
Total	26	100	

En la tabla 4.12, trabajada de acuerdo a la teoría del Diagrama de Pareto se encuentran organizados de mayor a menor frecuencia las fallas mecánicas ocurridas en esta macolla y apreciándose que son: elastómero desprendido e hinchado, en las que se concentran prácticamente el 80% del problema. Sin embargo, es importante hacerle seguimiento a los tres modos de falla presentes ya que su frecuencia de ocurrencia es alta. Particular atención con el elastómero desprendido ya que representa aproximadamente el 50% de las razones por las cuales se ha requerido intervención de taladros para reemplazo de equipo de subsuelo en esta macolla.

Frecuencia de modos de fallas en la Macolla N°6



Grafica N° 4.6 Diagrama de Pareto para la macolla N° 6

En la grafica N° 4.6 están ordenados de izquierda a derecha, los problemas de mayor a menor frecuencia según lo establecido por el Diagrama de Pareto, encontrándose que los problemas de mayor relevancia que provocan daños en las BCP están centrados en el desprendimiento e hinchamiento de la goma elastomérica, puesto es allí donde se concentra alrededor del 80% de los daños observados, por lo que es necesario tomar acciones correctivas a manera de evitar mayores inconvenientes que puedan perjudicar más adelante.

Tabla N° 4.13 Fallas encontradas en las BCP de los pozos ubicados en la macolla N°7

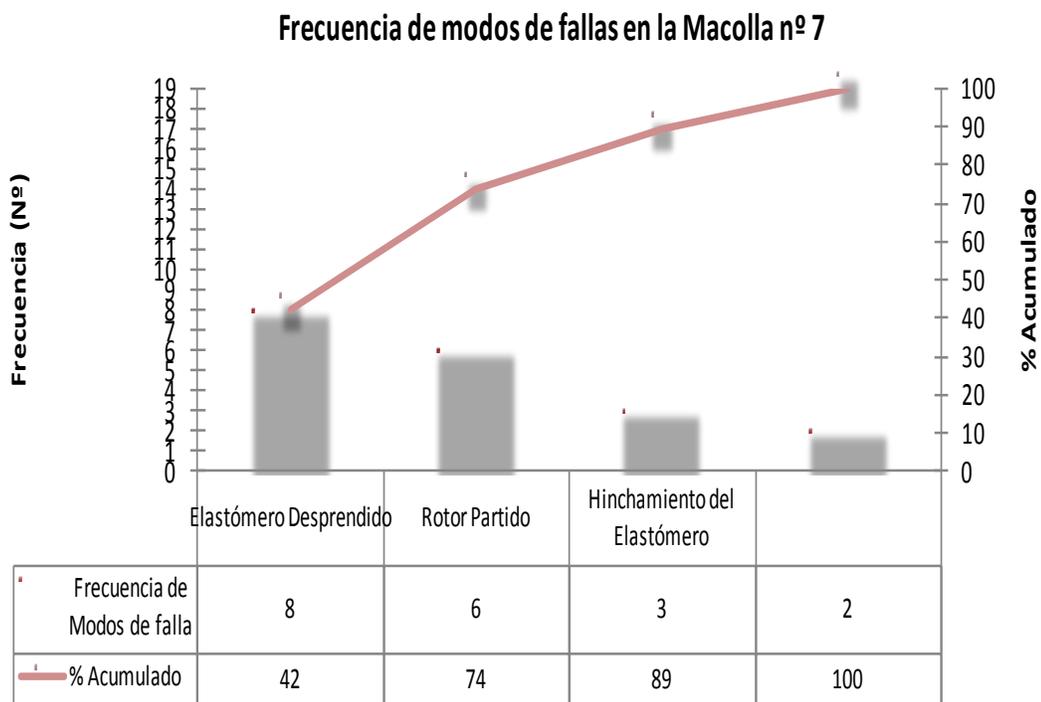
POZO	Nº DE FALLAS	MODO DE LA FALLA
CHC 0701	1	Rotor Partido
CHC 0701	1	Rotor Partido
CHC 0702	1	Elastómero Desprendido
CHC 0702	1	Desgaste del Rotor
CHC 0704	1	Elastómero Desprendido
CHC 0704	1	Elastómero Desprendido
CHC 0704	1	Hinchamiento del Elastómero
CHC 0705	1	Rotor Partido
CHC 0705	1	Rotor Partido
CHC 0707	1	Hinchamiento del Elastómero
CHC 0708	1	Hinchamiento del Elastómero
CHC 0708	1	Elastómero Desprendido
CHC 0711	1	Desgaste del Rotor
CHC 0712	1	Rotor Partido
CHC 0712	1	Elastómero Desprendido
CHC 0714	1	Rotor Partido
CHC 0714	1	Elastómero Desprendido
CHC 038	1	Elastómero Desprendido
CHC 040	1	Elastómero Desprendido

En la macolla 7 se encuentran distribuidos cuarenta y un (41) pozos de los cuales once (11) han presentado problemas por fallas mecánicas y siete (7) de ellos han sido intervenidos más de una vez mientras que los otros cuatro (4) pozos restantes mantuvieron una sola intervención. Igualmente se efectuó el procedimiento requerido según el Diagrama de Pareto con el fin de realizar el análisis sobre los modos de fallas que mayormente contribuyeron a los reemplazos de bombas en esta macolla, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla N° 4.14 Frecuencia de modos de fallas de la macolla N° 7

Modo de Falla	Frecuencia de Modos de falla	%	% Acumulado
Elastómero Desprendido	8	42	42
Rotor Partido	6	32	74
Hinchamiento del Elastómero	3	16	89
Desgastes del Rotor	2	11	100
Total	19	100	

En la tabla 4.14 se encuentran los cuatro (4) modos de fallas organizados en orden de prioridades desde los problemas más significativos descritos teóricamente como la minoría vital que en este caso los representan elastómero desprendido y rotor partido, hasta los de menor frecuencia de ocurrencia representado por el desgaste del rotor.



Grafica N° 4.7 Diagrama de Pareto para la macolla N° 7

Mediante el Diagrama de Pareto se logró detectar los problemas que tienen más relevancia mediante la aplicación del principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), observándose a la izquierda los pocos vitales como son: elastómero desprendido y rotor partido pues los dos suman casi el 80% de los modos de falla para esta macolla, y a la derecha entrando a la categoría de los muchos triviales aparece solo el desgaste del rotor el cual se muestra como el menos significativo al momento de tomar una acción correctiva.

Tabla N° 4.15 Fallas encontradas en las BCP de los pozos ubicados en la macolla N° 8

POZO	Nº DE FALLAS	MODO DE LA FALLA
CGC 0803	1	Elastómero Desprendido
CGC 0805	1	Elastómero Desprendido
CGC 0806	1	Hinchamiento del Elastómero
CGC 0808	1	Elastómero Desprendido
CGC 0811	1	Rotor Partido
CGC 0819	1	Rotor Partido
CGC 0819	1	Elastómero Desprendido
CGC 0822	1	Rotor Partido

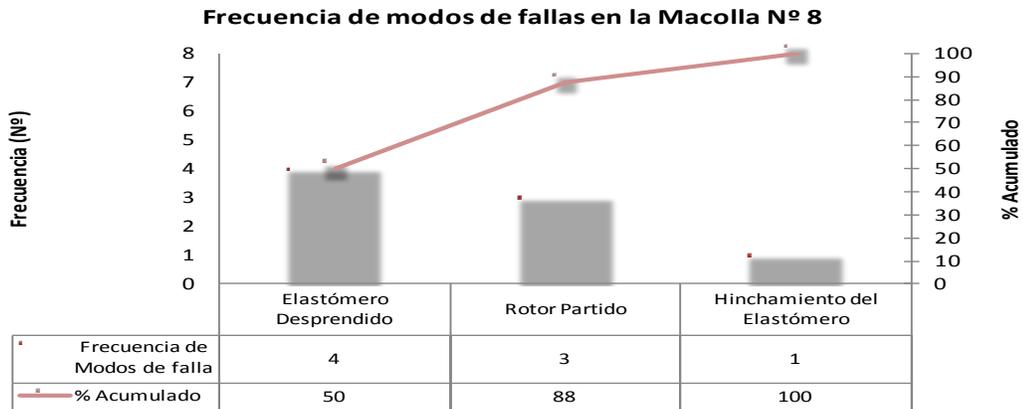
En la tabla N° 4.15 se muestra que de un total de treinta (30) pozos completados en esta macolla solo siete (7) pozos han presentado fallas mecánicas en las BCP, debido a que es una macolla relativamente nueva, y que los pozos localizados en ella fueron completados entre los años 2004, 2005 y hasta 2008 por lo que no tienen mucho tiempo en producción en comparación con las otras macollas. Una vez organizados los pozos que presentaron las fallas, se procedió a determinar la frecuencia de fallas obteniéndose los resultados mostrados a continuación:

Tabla N° 4.16. Frecuencia de modos de fallas de la macolla N° 8

Modo de Falla	Frecuencia de Modos de falla	%	% Acumulado
Elastómero Desprendido	4	50	50
Rotor Partido	3	38	88
Hinchamiento del Elastómero	1	13	100
Total	8	100	

En la macolla N° 8 los porcentajes obtenidos a través del Diagrama de Pareto indican que los modos de fallas que generan la mayor parte de los problemas son los relacionados a elastómero desprendido y rotor partido, ya que ambos concentran el

88% de todas las fallas mecánicas observadas, siendo el hinchamiento del elastómero la de menor posibilidad a presentarse (13%). Una vez calculados los porcentajes tanto de frecuencia de ocurrencia como acumulado se procedió a realizar la gráfica de barras donde se muestra de manera más ilustrativa lo anteriormente dicho.



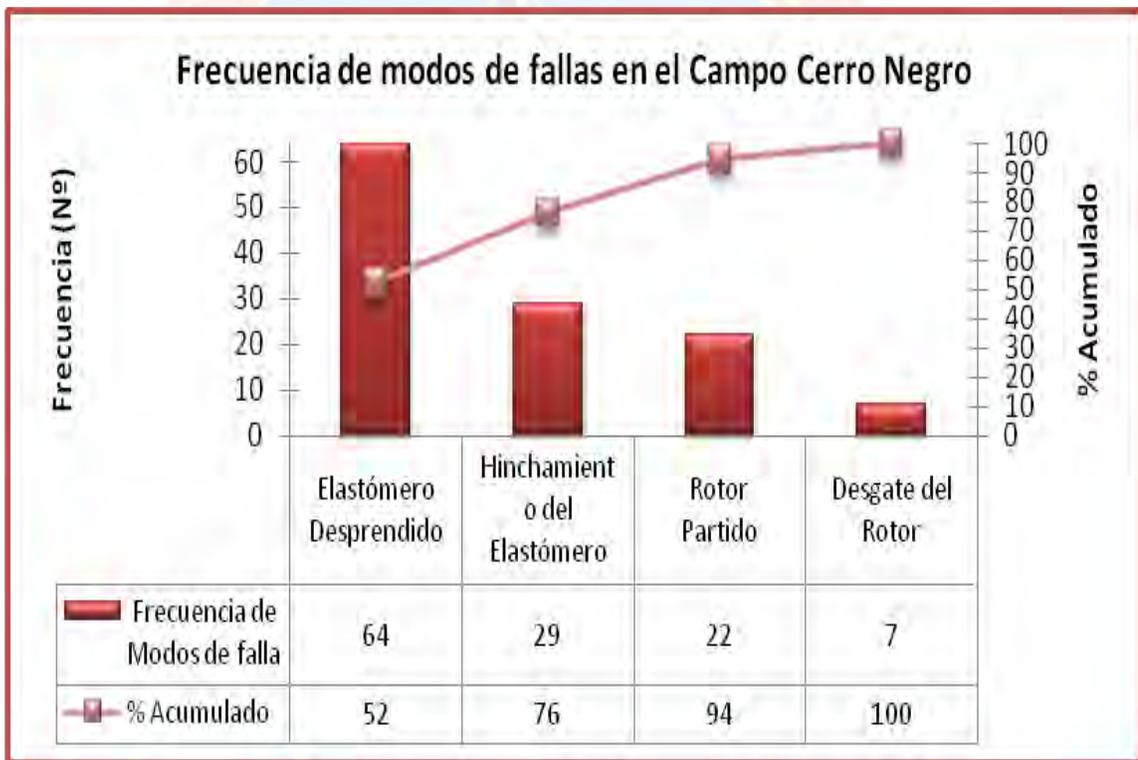
Grafica N° 4.8 Diagrama de Pareto para la macolla N° 8

En la gráfica N° 4.8 se aprecia que los dos modos de fallas señalados en el lado izquierdo de la gráfica son los que representan el principal problema de esta macolla, resultando para este caso que el mayor problema lo representa el elastómero y el rotor, ya que suman más del 80% en porcentaje acumulado. Es por ello que se debe enfocar la mayor atención en resolver los dos primeros problemas arriba mencionados mediante la realización de una acción correctiva y de esta manera lograr optimizar el esfuerzo.

Tabla N° 4.17 Frecuencia de modos de fallas del Campo Cerro Negro

Modo de Falla	Frecuencia de Modos de falla	%	% Acumulado
Elastómero Desprendido	64	52	52
Hinchamiento del Elastómero	29	24	76
Rotor Partido	22	18	94
Desgate del Rotor	7	6	100
Total	122	100	

En la tabla N° 4.17 se señalan los 4 modos de fallas que han influido en el correcto funcionamiento de las BCP del Campo Cerro Negro, siendo los principales contribuyentes a estos problemas el elastómero desprendido (64%) con el mayor porcentaje, seguido del elastómero hinchado (29%), ya que ambos reúnen aproximadamente el 80% de las causas por la que los pozos han sido intervenidos para reemplazos de Bombas de Cavidad Progresivas, mientras que el rotor partido y desgastado ha presentado el menor porcentaje, indicando de esta manera que son los problemas menos influyentes, debido a que son los que tienen la menor frecuencia para todo el campo.



Grafica N° 4.9 Diagrama de Pareto para el Campo Cerro Negro

En la gráfica N° 4.9 realizada a través del Diagrama de Pareto se puede observar en una sola revisión la minoría vital a la que es importante prestar atención,

como son elastómero desprendido e hinchado, representando como ya se ha venido notando a través del estudio efectuado en las 8 macollas pertenecientes a este campo, el problema más vital en este estudio.

Las causas que generan estas 4 fallas del campo Cerro Negro (desprendimiento e hinchamiento de elastómero, rotor partido y desgastado) se estudiarán a través del Diagrama Causa-Efecto también conocido como Cola de Pescado que sigue a continuación:

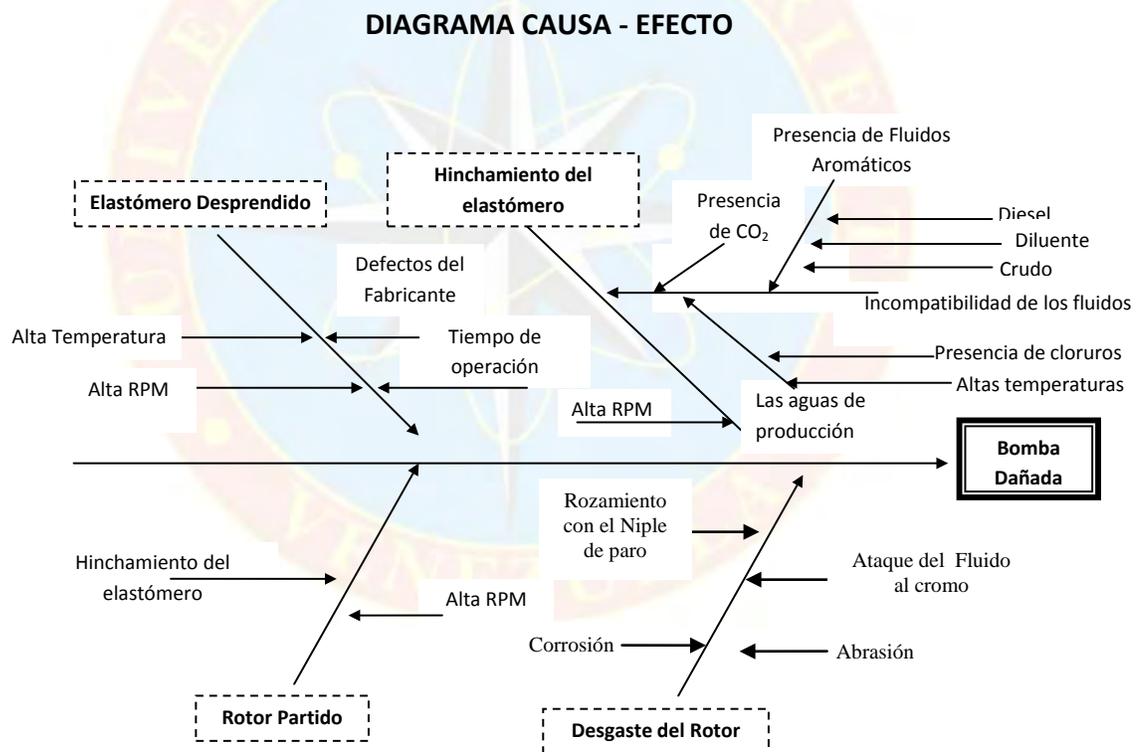


Figura N° 4.2 Diagrama Causa-Efecto para determinar las causas de fallas de las BCP en el Campo Cerro Negro

Las fallas de las bombas de cavidad progresiva en la mayoría de los casos ocurren en el estator, específicamente en el elastómero y el rotor, según lo observado en el Diagrama Causa- Efecto. En el caso de las fallas en el elastómero, éstas se generan frecuentemente por desprendimiento o hinchamiento.

El desprendimiento del elastómero ocurre por efecto de las altas temperaturas de operación que causará que la vida de servicio de la bomba sea relativamente corta, debido al incremento de la velocidad de oxidación que causa una pérdida en la resistencia a las fuerzas tensoras y un incremento en la dureza de la goma. Esto se debe a que se trabajó la bomba sin fluido (gas en exceso) u operando a altas temperaturas. También puede desprenderse el elastómero por Altas RPM debido a una alta interferencia Rotor/Estator por el endurecimiento del mismo resultando en el aprisionamiento del Rotor y provocando la aparición de este modo de falla.

El tiempo de operación también influye y origina el desprendimiento del elastómero, ya que genera su desgaste debido a su uso en las operaciones del pozo y esto concluye en la separación definitiva de algunas etapas del elastómero y el estator. Esto indica que el factor tiempo sería uno de los aspectos determinantes en la prolongación del tiempo operativo de estos equipos. Finalmente los defectos del fabricante, pueden influir en el correcto funcionamiento del equipo BCP.

Por su parte, el hinchamiento del elastómero generalmente es producido por la incompatibilidad de los fluidos, es decir las características de los fluidos manejados por los pozos. Estas características de los fluidos son: viscosidad, presencia de H₂S y CO₂ en el fluido, contenido de compuestos aromáticos, contenido de agua, entre otros, los cuales afectan ineludiblemente el comportamiento de la goma elastomérica, pues estas sustancias dentro del estator hacen que el elastómero se abombe o presente ampollas a causa de ciertos hidrocarburos que afectan la goma y hacen que se

incremente el volumen del mismo. De la misma manera que las altas RPM producen el desprendimiento, también ocasionan el hinchamiento de la goma elastómerica.

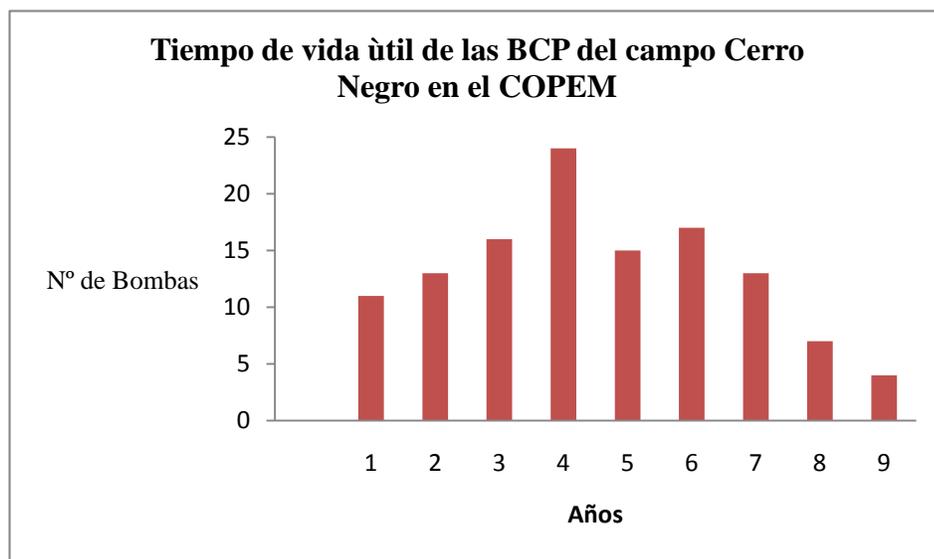
En el caso del rotor, usualmente falla debido a que se parte o se desgasta. Cuando se parte, las causas que lo generan son el hinchamiento del elastómero y las altas RPM. El hinchamiento del elastómero ya fue descrito en los párrafos anteriores. Por otra parte, la excesiva interferencia Rotor/Estator que provoca las altas velocidades de operación y el hinchamiento del elastómero causando a su vez que el rotor se rompa, igualmente el ataque del fluido, el roce con el niple de paro, la abrasión y la corrosión pueden influir en el correcto funcionamiento del rotor generando su desgaste. La severidad de la abrasión puede depender de abrasividad de las partículas, cantidad de partículas, velocidad lineal del fluido dentro de la bomba y a través de la sección transversal de la cavidad y se identifica por superficies rugosas y ralladas.

En el caso de estudio, como se aprecia en la figura 4.10, los modos de falla que más han afectado el correcto funcionamiento de las bombas y por las cuales se han parado los pozos para realizar los respectivos reemplazos de bombas son elastómero desprendido e hinchado. Ambos modos de fallas originadas básicamente por el tiempo de operación y en algunos casos debido a las altas RPM a las cuales son sometidas las bombas después de iniciar su funcionamiento. Esto fue detectado mediante la revisión exhaustiva realizada a la carpeta de cada pozo que presentó intervención por cambio de bomba, básicamente en los reportes elaborados luego de la intervención. El resto de las causas no son predominantes ya que por las profundidades de los pozos (someros) las temperaturas no son tan elevadas, los defectos del fabricante muy poco afectan ya que las bombas reemplazadas en general funcionaron correctamente luego de su instalación. Por otra parte en este campo no es significativa la presencia de fluidos aromáticos y de CO₂ por lo que la

incompatibilidad de los fluidos tampoco ha generado las fallas encontradas en los pozos estudiados.

Es importante señalar que existe una cantidad considerable de pozos a los cuales se les ha reemplazado las bombas por baja eficiencia, es decir, por el tiempo de operación y funcionamiento de la misma. Sin embargo, los mismos no se consideraron en la muestra de este estudio por no representar una falla mecánica que originara la parada del pozo por algún daño en la bomba.

A continuación se muestra la gráfica del tiempo de vida útil de las BCP del campo Cerro Negro en el Centro Operativo Petromonagas

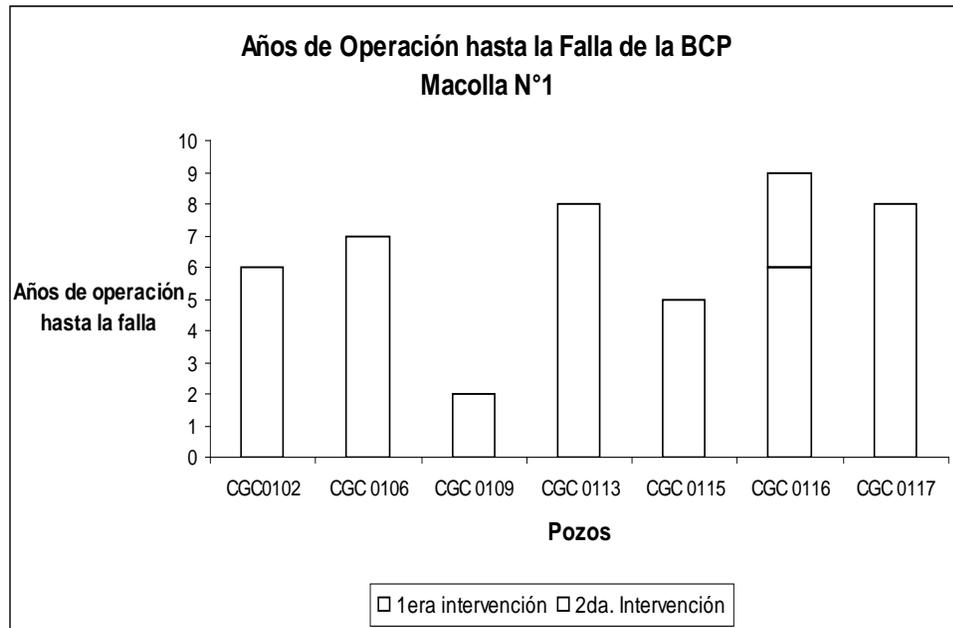


Grafica N° 4.10 Tiempo de vida útil de las BCP del campo Cerro Negro en el COPEM

En la gráfica anterior se puede apreciar que cierta cantidad de bombas han fallado en los dos primeros años y que en el año “4” es donde se encuentran el mayor número de bombas de cavidad progresiva que fueron reemplazadas por los diferentes

modos de falla observados, obteniéndose como resultado que el tiempo de vida útil de estas BCP en todo el campo es hasta los 4 años aproximadamente. Sin embargo como se refleja en la gráfica se muestran también una cantidad de bombas muy pequeña de 7 y 4 BCP las cuales se han mantenido operando en fondo hasta 8 y 9 años respectivamente, posicionándose este último como el máximo de años que han mantenido estas bombas en fondo desde su completación original, y esto se debe a que la mayoría de estos pozos son optimizados mediante el mantenimiento de las velocidades de operación adecuadas que exigen cada uno, según las condiciones de los yacimientos allí explotados. Es importante resaltar que en comparación con otras empresas, en el Centro Operativo Petromonagas la durabilidad de estas bombas es bastante alta, ya que en muy pocos campos se observa este elevado tiempo operacional.

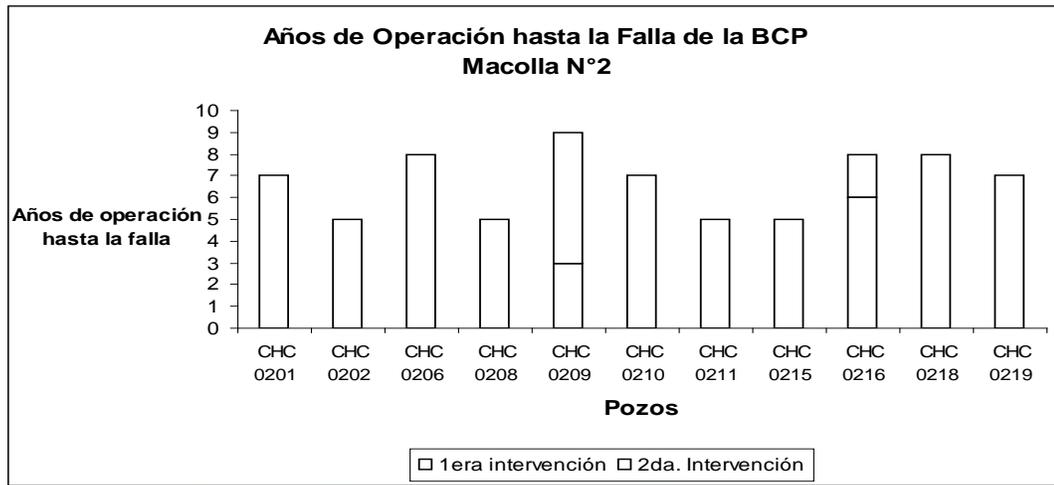
Para soportar el hecho de que las bombas en este campo fallaron básicamente por tiempo de operación y por altas RPM, a continuación se muestran las gráficas de tiempo de operación desde la completación original hasta la 1era falla por BCP. Los pozos de las macollas 1 a la 4 han fallado básicamente por tiempo de operación, ya que las mismas operan a bajas velocidades de operación (RPM), un promedio de 150 RPM y han tenido en fondo operando continuamente más del tiempo de vida útil.



Grafica N° 4.11 Años de operación hasta la falla de la BCP para la macolla N°1

En la macolla N° 1 como se observa en la gráfica, la mayoría de los pozos han excedido el tiempo de funcionamiento, ya que de un total de 9 pozos que han sido intervenidos, solo dos de ellos (CGC 0109 y CGC 0116 en su segunda intervención) se encuentran por debajo de este tiempo (tomando como referencia que la vida útil de las bomba de cavidad progresiva (BCP) en este campo es hasta los 4 años aproximadamente).

Por otra parte la mayoría de los pozos de esta macolla se encuentran operando a bajas velocidades en un promedio de 50-150 RPM, razón por la cual la mayoría de las Bombas han excedido su tiempo de vida útil y no han fallado al poco tiempo de su instalación. Estos resultados indican que en la macolla 1 la causa principal que generó daños en la BCP es el tiempo de operación que presentaron las mismas.



Grafica N° 4.12 Años de operación hasta la falla de la BCP para la macolla N°2

En la macolla N° 2 como se aprecia en la gráfica anterior, el tiempo de operación de las BCP exceden los 4 años de vida útil que una bomba puede alcanzar lo que permitió inferir que en la macolla N° 2 la causa principal que ha originado daños por fallas mecánicas en estas bombas es el tiempo en fondo que éstas han estado operando, además las velocidades de operación en esta macolla no son altas (50-220 RPM aproximadamente) lo que explica el alto tiempo de operación de las mismas.



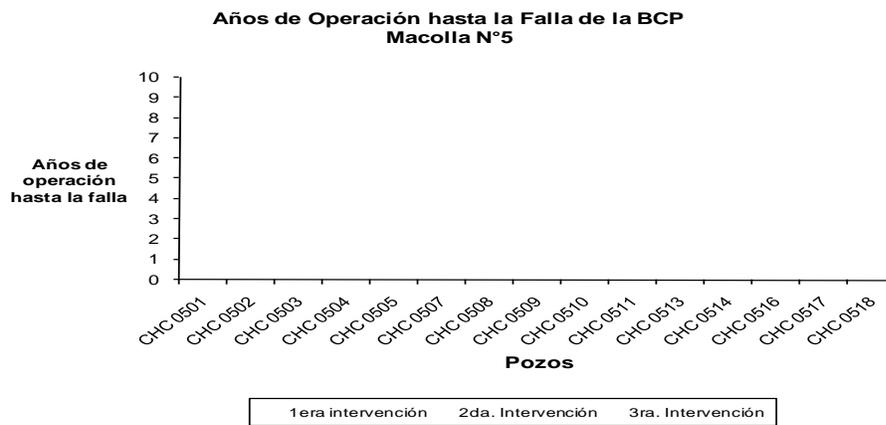
Grafica N° 4.13. Años de operación hasta la falla de la BCP para la macolla N°3

En la gráfica anterior se muestra los años de operación hasta la falla de las BCP de la macolla N° 3, observándose que la mayoría de las BCP instaladas en estos pozos superan el tiempo de operación de 4 años, lo que permitió inferir que las causas que originaron las fallas mecánicas en las Bombas, debido a los modos de falla encontrados por elastómero desprendido y elastómero hinchado es nuevamente el tiempo de funcionamiento que presentan las mismas en fondo y esto se refleja en las RPM, ya que las bajas velocidades con que se opera esta macolla (100-320 RPM) permite que la misma se mantenga en buenas condiciones de operación, además que habrá una menor fricción entre el conjunto Rotor/Estator.



Grafica N° 4.14 Años de operación hasta la falla de la BCP para la macolla N°4

En la macolla N° 4 al igual que en las macollas anteriores el tiempo de operación es el principal causante de los modos de fallas observados y en gran parte se debe a que las velocidades de operación son relativamente bajas permitiendo alargar la vida útil de las BCP. El tiempo de funcionamiento que presentaron las mismas se observan en el orden de los 4, 5,6,7 y hasta 8 años de operación lo que excede la cantidad de años que teóricamente fue establecido para ellas.



Grafica N° 4.15 Años de operación hasta la falla de la BCP para la macolla N°5

En la macolla N° 5 han sido intervenidos 24 pozos por fallas mecánicas, de los cuales solo 6 presentan poco tiempo de operación, mientras que 18 pozos presentan un tiempo de operación relativamente alto en el orden de los 9, 8, 7, 6, 5 y hasta 4 años, indicando de esta manera que el tiempo de operación es el responsable de la mayor parte de los modos de fallas observados. Por otra parte esta macolla se encuentra con un rango de velocidades de operación (250-400RPM) relativamente alto por lo que la cantidad de pozos restantes han mostrado fallas por las altas RPM con las que se encuentran operando.



Grafica N° 4.16. Años de operación hasta la falla de la BCP para la macolla N°6

En la macolla 6 se aprecia al igual que en las macollas anteriores que el tiempo de operación es el responsable de los daños ocasionados al elastómero y al rotor, ya que los mismos se han encontrado funcionando en fondo por un largo período de tiempo la mayoría con más de 4 años de operación, lo que indica nuevamente que las BCP instaladas en esta macolla han superado el tiempo de vida útil por lo que luego de transcurrir los 5,6,7,8 y hasta 9 años fue necesaria la intervención de estos pozos con el motivo de ser reemplazados.

A pesar de que esta macolla posee un rango de RPM alto, entre los 250 y 440 RPM, se puede decir que las BCP no han sido afectadas por esta variable y que solo dos pozos han fallado por esta causa.



Grafica N° 4.17 Años de operación hasta la falla de la BCP para la macolla N°7

Los años de operación hasta la falla para la macolla N° 7 fueron de 1,2,3 y 4 años para la mayoría de los pozos instalados en esta macolla, lo que permitió inferir en este caso que el tiempo de operación no influyó de manera considerable en los 4

modos de fallas encontrados. Sin embargo gran parte de los pozos pertenecientes a esta macolla trabajan entre los 320 y 440 RPM, razón por la cual han fallado más rápido luego de su completación original, es decir, después de los 2 años en actividad aproximadamente, esto se evidencia en la grafica anterior.



Grafica N° 4.18 Años de operación hasta la falla de la BCP para la macolla N°8

La macolla N° 8 al igual que las macollas 5,6 y 7 se encuentra operando a velocidades altas entre las 320 y 440 RPM aproximadamente. Mediante la gráfica obtenida se puede observar que el tiempo en fondo que mantienen las bombas de cavidad progresiva es bastante bajo entre los 1, 2 y tres años, lo que indica que al poco tiempo de ser completado fallaron y esto se debe a las altas RPM que mantiene estos pozos. Es importante acotar que muy pocos pozos han sido intervenidos, ya que esta es una macolla relativamente nueva y esto se le atribuye a que tienen poco tiempo de completación en comparación con las macollas restantes.

4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS FALLAS MECÁNICAS EN LAS BOMBAS DE CAVIDAD PROGRESIVA DEL CAMPO CERRO NEGRO

En la segunda etapa de desarrollo de los objetivos de esta investigación, se procedió a realizar análisis estadísticos de las fallas en estudio, con el propósito de conocer la confiabilidad de las BCP y de esta manera determinar el porcentaje de bombas que sobrevivirán o fallarán para los próximos años, lo que permitirá garantizar la producción de petróleo comprometida.

La herramienta utilizada para efectuar dicho análisis fue un software estadístico denominado “Minitab” es un programa de computadora diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas y es muy útil para calcular el tiempo de supervivencia y de fallo de un determinado equipo, en este caso de las BCP. Para realizar estas simulaciones fue necesario determinar los datos que serían introducidos al simulador, representados por los tiempos promedio para la falla de las BCP (TPPF).

4.2.1 Determinación de los Tiempos Promedios para la Falla de las BCP (TPPF).

Para realizar este cálculo se recopiló información referente a las fechas de fallas de las BCP en cada pozo del campo Cerro Negro desde el año 1999 y hasta el 2009. Se tabularon las fechas para cada pozo y se calcularon los días de parada por falla de las BCP. A continuación se presenta un ejemplo de dichas tablas, mostrándose 4 de los 17 pozos que conforman macolla N°1. El resto de la tablas para las macollas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 se muestran en el apéndice “B”.

**Tabla N° 4.18 Tiempo de Fallas de bombas BCP en pozos de la Macolla N°1,
Campo Cerro Negro**

Pozo	Fecha de Parada del pozo	Fecha de intervención con taladro	Tiempo promedio para las fallas (TPPF)	Tiempo para la reparación (TPR)	Evento	Observaciones (Causa de Falla)
CGC 0101		17/02/1999			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	3605	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		3778		Fecha final de estudio	
CGC0102		19/02/1999			Completación	
	11/11/2005	25/06/2007	2457	591	Cambio de Bomba	Desprendimiento del Elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	555	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		728		Fecha Final de Estudio	
CGC0103		21/02/1999			Completación	
	13/07/2008	16/07/2008	3430	3	Reemplazo de la Bomba	Baja Eficiencia de la Bomba
	31/12/2008	11/07/2009	168	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		341		Fecha Final de Estudio	
CGC0104		24/02/1999			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	3598	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		3771		Fecha Final de Estudio	

Estos datos fueron posteriormente introducidos en el simulador Minitab para cada una de las macollas, es decir el análisis se realizó por macollas ya que los datos por pozos eran muy pocos impidiendo obtener resultados representativos debido a la poca incidencia de fallas por pozo (promedio de 2 fallas por pozo).

Es importante aclarar que en la segunda columna de la tabla N° 4.19, en la cual se indica la fecha de parada del pozo, la primera fecha representa la completación del mismo y fue colocada sólo para efectos de cálculos.

Los datos referentes a tiempos promedios para la falla de cada macolla, se introdujeron en el simulador para determinar estadísticamente los tiempos de fallos de las BCP mediante la distribución de Weibull. A continuación se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones:

4.2.2 Análisis de los Tiempos de Tallos de las BCP a Través de la Distribución Weibull para la Macolla N° 1

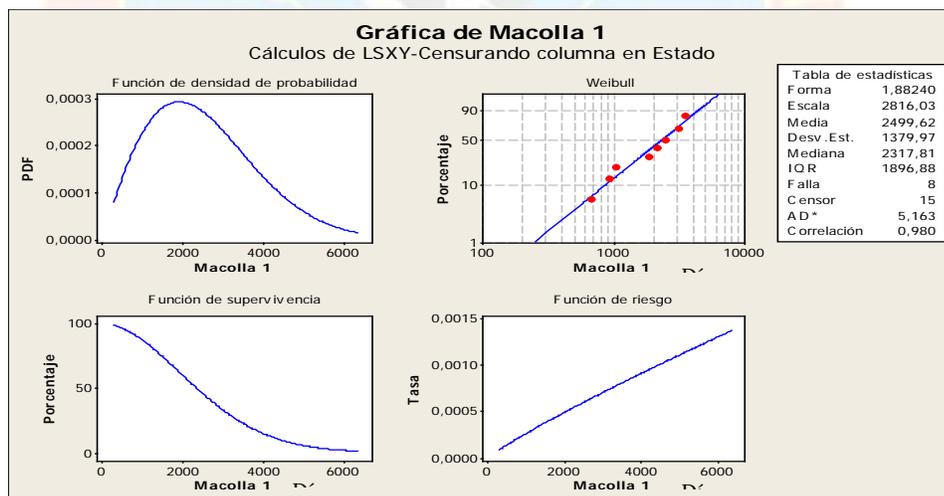
Para efectos de la simulación, se introdujeron en la primera columna de la tabla Excel del simulador, tal como lo muestra la figura 4.2, los datos de la macolla N° 1 referentes a TPPF conformados por las observaciones completas y las observaciones censuradas y en la 2da columna, se indica con el número “1” si el dato cargado es una falla mecánica y con el “0” si el dato cargado es una censura.

Macolla 1	Estado	PROBFACT1	PROBFACT2	PROBFACT3	PROBFACT4
2457	1	0,0211365	0,0375410	0,115801	0,221105
565	0				
726	0				
3545	1				
46	0				
221	0				
1017	1				
1763	0				
373	0				
652	0				
655	1				
3936	0				
3058	0				
3090	1				
134	0				
507	0				
6018	1				
1682	0				
1696	0				
2160	1				
910	1				
237	0				
910	0				

Figura N° 4.3 Hoja de Trabajo del Simulador Minitab de los TPPF para la Macolla N°1 del Campo Cerro Negro

El simulador Minitab solicita no sólo los TPPF por fallas mecánicas, sino también los TPPF por otras causas que han originado paradas del pozo como por ejemplo: cabillas sueltas, arenamiento, baja eficiencia de la bomba, entre otros, los cuales representarán la censura. Sin embargo, es importante aclarar que éste diferencia una y otra ya que ambas están identificadas con un número diferente.

Los datos en estudio presentaron censura a la derecha, ya que fueron estudiados desde un tiempo mayor de cero, siendo $t=0$ el año 1999. En este caso el período de tiempo establecido para el estudio de las fallas de bombas BCP ha sido desde la completación de la mayoría de los pozos en el año 1999 hasta el mes de diciembre del año 2009, por lo que solamente se trabajará con las fallas que hayan ocurrido durante ese rango de tiempo. Una vez cargados los datos de TPPF en el simulador fueron modelados a través de la distribución Weibull la cual fue utilizada para determinar la confiabilidad de las bombas BCP para los próximos años y es usada generalmente con dos parámetros los cuales determinan la escala (λ) y la forma (β) de la curva de la función de densidad de probabilidad de supervivencia. La gran aplicabilidad de esta distribución (en un estudio de supervivencia o fallas) se debe a que la correspondiente tasa de riesgo es variable, por consiguiente es considerada como uno de los mejores modelos en un análisis de esta naturaleza.



Gráfica N° 4.19 Gráfica de revisión general de la distribución Weibull para la macolla N°1 del Campo Cerro Negro del COPEM

Las 4 gráficas anteriores describen la distribución de los tiempos de supervivencia y de fallo de las Bombas de Cavidad Progresiva para la macolla N° 1. A partir de las mismas es posible determinar la probabilidad de que las BCP operen o fallen para los años siguientes. La gráfica de función de supervivencia indica la

proporción de observaciones o datos que lograrán llegar en buen estado hasta un tiempo específico de estudio, reflejándose en la gráfica de dicha función que tras 1348 días (3 años y medio aproximadamente) estarán operando cerca del 77% de las BCP para esta macolla. Este tiempo de 3 años y medio fue escogido porque representa el valor central o la media de los datos en estudio para esta macolla.

Por otro lado la función de riesgo expresa la probabilidad de que un elemento falle a lo sumo en un instante “ t ”, así como también permite inferir a través del parámetro de forma de la distribución β en que período o etapa de vida se encontrará el equipo para un instante de tiempo “ t ”. En la gráfica de riesgo resultante para esta macolla (figura 4.18) se observa que inicialmente la tasa de fallo es baja y luego aumenta con el paso del tiempo, resultando finalmente en una curva creciente. Esta gráfica muestra que a los 1348 días (3 años y medio) las BCP se encontrarán en una etapa de desgaste en esta macolla. Esto también puede verificarse a través del parámetro de forma β perteneciente a la distribución weibull obtenido mediante el simulador (ver figura 4.21- Tabla de estadísticas) que arrojó un valor de 1,8, es decir mayor a 1 y según lo que expresa teóricamente la conocida “Curva de la Bañera” dependiendo del valor del parámetro β se podrá estimar en que etapa de vida se encuentra un equipo y cuando β es mayor que 1 el equipo se encuentra en una etapa de desgaste.

Teóricamente, los valores de beta (β) indican:

$\beta < 1$ periodo de mortalidad infantil.

$\beta = 1$ periodo normal de vida útil.

$\beta > 1$ periodo de desgaste.

A continuación se muestra el número de bombas que fallarán en los próximos tres años:

Tabla N° 4.19 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para los pozos de la Macolla N°1 en el Campo Cerro Negro del COPEM

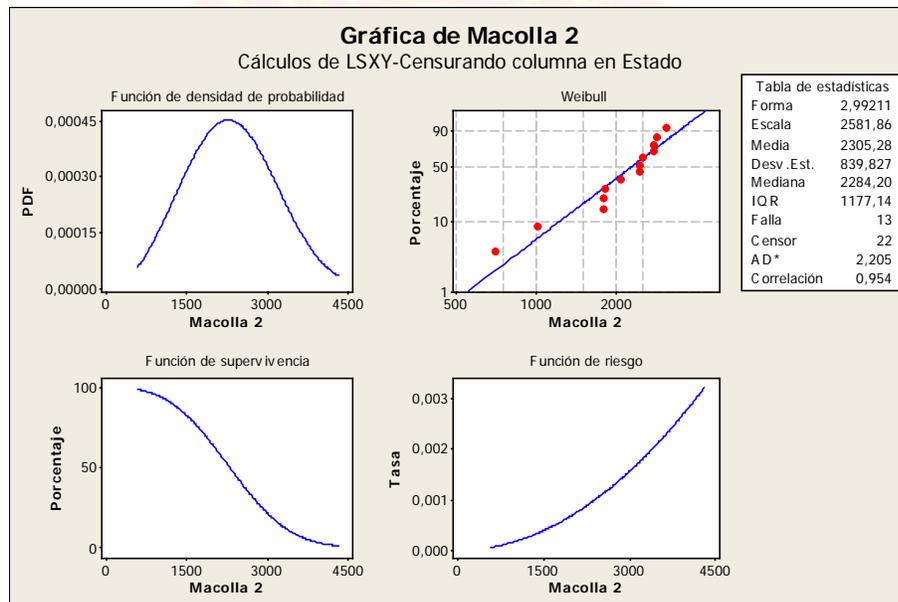
<i>Tiempo (Días)</i>	<i>Probabilidad de fallo</i>	<i>N° de bombas que habrán fallado en un instante "t"</i>
365	2,1%	0
730	7,6%	1
1095	15,6%	3
1348	22,1%	4

La probabilidad de falla de las BCP de la macolla N° 1 para los tres primeros años es de 2,1%; 7,6% y 15,6%. Adicionalmente para la media de los datos (3 años y medios) la probabilidad de falla es de 22,1%. Este cálculo se realizó con la finalidad de que el Centro Operativo Petromonagas (COPEM) planifique su presupuesto y equipos requeridos para reemplazo de bombas en los siguientes años. Según los resultados obtenidos para los próximos tres años y medio estarán fallando un total de 4 bombas de cavidad progresiva.

4.2.3 Análisis de los Tiempos de Supervivencia y de Fallos de las BCP a Través de la Distribución Weibull para la Macolla N° 2

Al igual que para la macolla N°1, se identificaron los datos de TPPF conformados igualmente por las observaciones completas y las observaciones censuradas para la macolla N° 2.

Una vez incorporados los datos en el simulador se generaron las gráficas necesarias para realizar el análisis de confiabilidad requerido, con el propósito de conocer el porcentaje de bombas que sobrevivirán y fallarán para los próximos años. Para efectos de este estudio fueron determinados diferentes confiabilidades para 1; 2; 3 y 3,8 años (este último representa la media de los datos cargados al simulador “Minitab”) y de esta manera tener información de lo que podría ocurrir en el futuro cercano.



Gráfica N° 4.20 Gráfica de revisión general de la distribución Weibull para la macolla N°2 del Campo Cerro Negro del COPEM

Las dos gráficas de arriba (función de densidad de probabilidad y distribución Weibull) indican que la distribución weibull es la más óptima para los datos introducidos en el simulador, ya que los puntos representados en el gráfico están suficientemente próximos a la recta, además de que teóricamente esta distribución resulta aplicable para la determinación de tiempos de fallos de un equipo mecánico, permitiendo dar por bueno el ajuste de dicha distribución a los datos en estudio,

mientras que las gráficas que están en la parte de abajo muestran la función de supervivencia y la de riesgo. La primera permite determinar el porcentaje de bombas que se encontrará operando para un determinado período de tiempo, observándose en la misma que a medida que transcurre el tiempo menor será el porcentaje de bombas que estará operando y para los 1393 días lo que equivale a 3 años y 8 meses aproximadamente se encontrarán funcionando cerca del 85% de las BCP.

Se realizó el análisis a partir de este valor debido a que representa la media de los datos cargados al simulador. Por su parte la función de riesgo refleja que el porcentaje de bombas que fallarán será mayor a medida que pasa el tiempo, mostrando una forma de curva creciente; también a través de las tablas de estadísticas se aprecia que el valor de Beta es 2,9 ($\beta > 1$) por lo que se puede decir que en esta macolla a los 1393 días o un poco antes las bombas se encontrarán en una etapa de desgaste.

Tabla N° 4.20 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para los pozos de la Macolla N°2 en el Campo Cerro Negro del COPEM

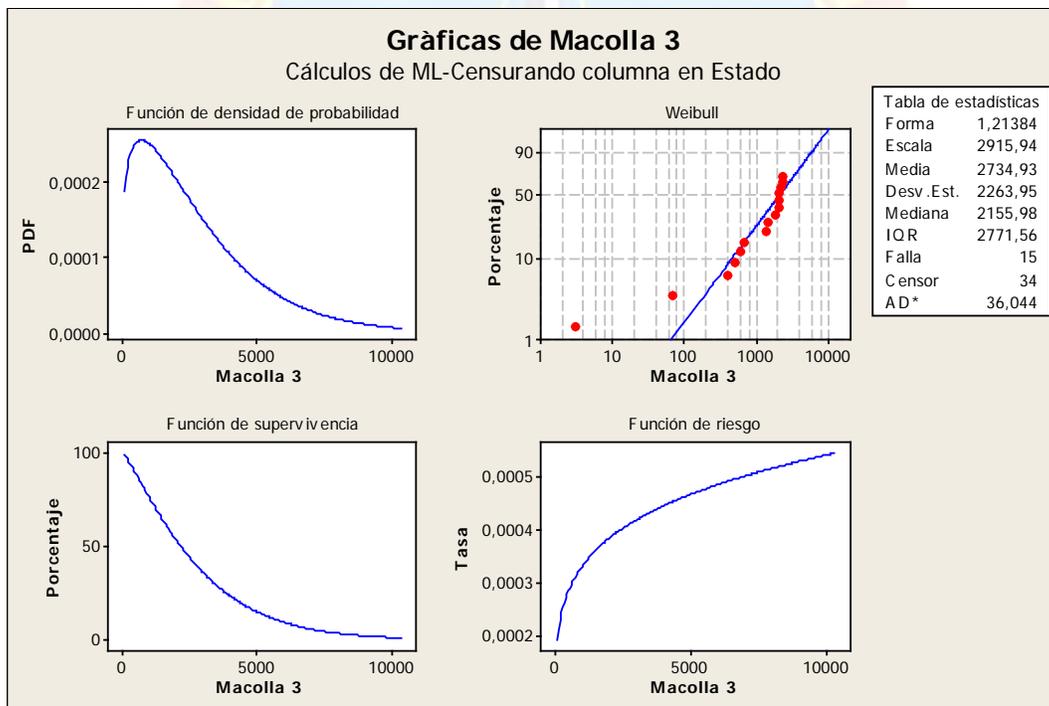
<i>Tiempo (Días)</i>	<i>Probabilidad de Fallo</i>	<i>N° de bombas a fallar</i>
365	0,3%	0
730	2,3%	0
1095	7,4%	1
1393	14,6%	3

En la tabla 4.20 se aprecian los resultados de las probabilidades de fallas determinadas para los tres próximos años obteniéndose valores de 0,3%, 2,3% y 7,4% respectivamente. Para la media de los datos, la probabilidad de falla es de 14,6%. A

través de estos resultados se puede inferir que la mayoría de las BCP de esta macolla se encontrarán operando y que solo una cantidad muy pequeña de 3 BCP fallará para los próximos tres años y ocho meses.

4.2.4 Análisis de los Tiempos de Fallos de las BCP a Través de la Distribución Weibull para la Macolla N° 3

De la misma manera que para las macollas anteriores, se determinaron los TPPF y se introdujeron en el simulador.



Gráfica N° 4.21 Gráfica de revisión general de la distribución Weibull para la macolla N°3 del Campo Cerro Negro del COPEM

Se simularon los tiempos promedios para las fallas de las BCP pertenecientes a la macolla N° 3 y se obtuvieron los siguientes resultados: la gráfica de probabilidad de supervivencia indica que aproximadamente el 70,8% de las BCP durarán más de 1097 días lo que equivale a más o menos 3 años (media de los datos), y con la gráfica de riesgo se determinó que las bombas se encontrarán para este tiempo en lo que denomina la “Curva de la Bañera” un período de desgaste debido a que la curva toma una forma creciente (a medida que pasa el tiempo la tasa de fallo es mayor) y el valor de β es 1,2, es decir mayor a 1.

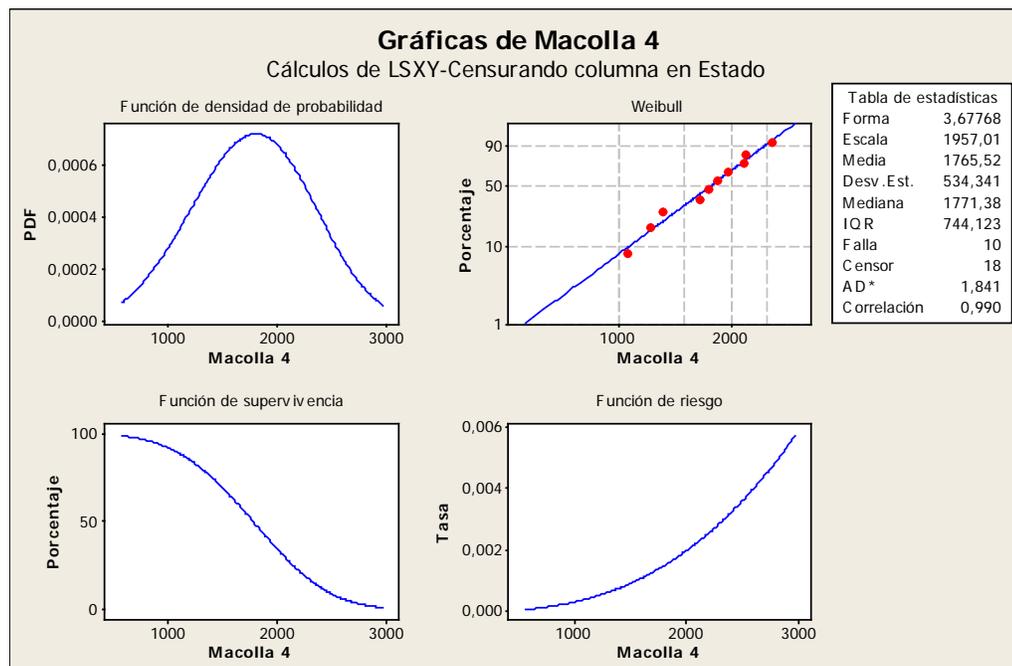
Tabla N° 4.21 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para los pozos de la Macolla N°3 en el Campo Cerro Negro

<i>Tiempo (Días)</i>	<i>Probabilidad de Fallo</i>	<i>N° de bombas a fallar</i>
365	14,2%	3
730	22,6%	4
1095	29,2%	6
1097	29,2%	6

En la tabla 4.21 se observan las probabilidades de falla para los próximos tres años, reflejándose que al transcurrir 1 año se estima que fallen el 14,2% de las bombas BCP, mientras que para el siguiente año fallaran el 22,6% de las BCP para esta macolla. Igualmente fue determinado el porcentaje de BCP que fallará para los tres años siguientes que casualmente representa el mismo valor de la media de los datos (3 años aproximadamente), obteniéndose un 29,2% de las bombas (6 bombas). Finalmente como se aprecia en la tercera columna de la tabla N° 4.22 es posible que en esta macolla 6 BCP dejen de funcionar al cumplirse tres años.

4.2.5 Análisis de los Tiempos de Fallos de las BCP a Través de las Distribución Weibull para la Macolla N°4

Las gráficas de supervivencia y de fallo resultantes de la simulación se muestran a continuación:



Grafica N° 4.22 Gráfica de revisión general de la distribución Weibull para la macolla N°4 del Campo Cerro Negro del COPEM

En la gráfica 4.21, se aprecian las graficas de riesgo y de supervivencia para la macolla N° 4, observándose para la media de los datos: 922 días, aproximadamente 2 años y medio que sobrevivirán el 93% de las BCP en esos años y en la gráfica de riesgo se observa que a medida que transcurre el tiempo la tasa de fallo es creciente, lo que indica que las BCP pueden encontrarse en una etapa de desgaste y esto puede ratificarse a través del valor obtenido en el parámetro de forma de la distribución Weibull, β : 3,67 indicando para este caso que inicialmente las tasas de fallo serán

bajas y con el paso del tiempo estas tasas de fallo irán creciendo hasta poseer altas tasas.

A continuación se indican las probabilidades de falla de las BCP en la macolla N°4, para los próximos 3 años:

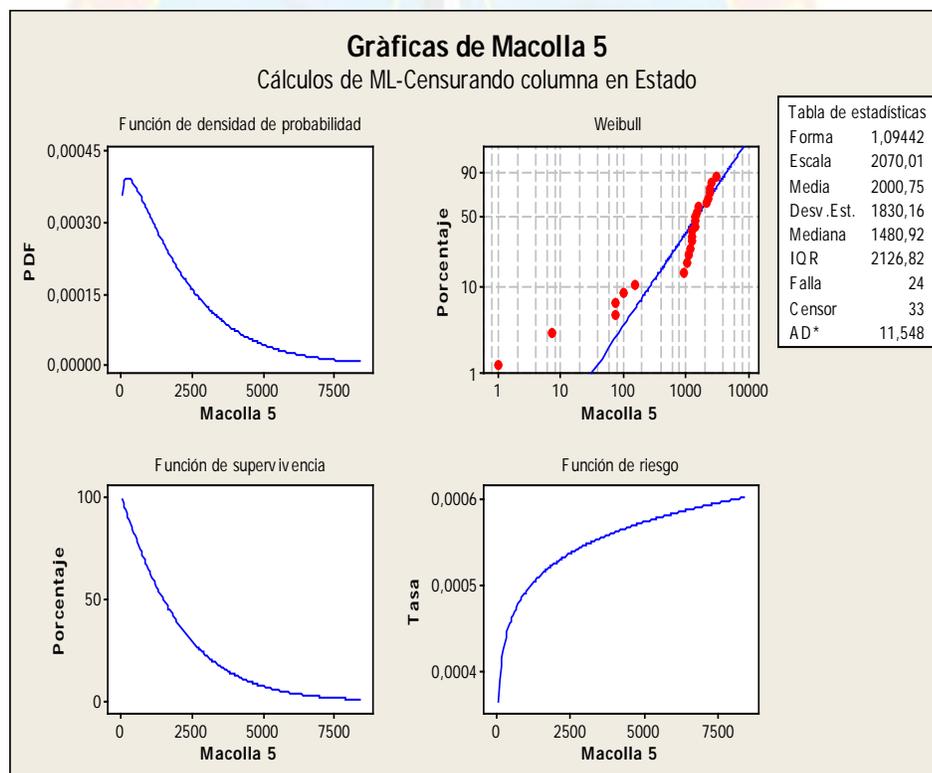
Tabla N° 4.22 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para los pozos de la Macolla N°4 en el Campo Cerro Negro

<i>Tiempo (Días)</i>	<i>Probabilidad de Fallo</i>	<i>N° de bombas a fallar</i>
365	0,2%	0
730	2,6%	0
922	6,1%	1
1095	11,1%	2

En la tabla 4.22 se aprecian las diferentes probabilidades de fallas para los años más cercanos, obteniéndose para 365 días, lo que equivale a 1 año una probabilidad de falla de 0,2%, para 2 años será de 2,6%, mientras que para los tres años será de 11,1%. Adicionalmente para la media de los datos, la probabilidad de falla será de 6,1%. En definitiva se obtuvo un total de 2 bombas BCP que posiblemente estarán fuera de funcionamiento para dentro de tres años.

4.2.6 Análisis de los Tiempos de Fallos de las BCP a Través de la Distribución Weibull para la Macolla N° 5

De la misma manera que para el análisis de las macollas anteriores, se introdujeron los datos de TPPF para la macolla N° 5. Estos datos de tiempo promedio para la falla como ya se ha mencionado es el resultado de cálculos concernientes a las diferentes intervenciones realizadas a los pozos y son identificadas en el simulador como observaciones completas y censuradas, ambas utilizadas para así obtener las probabilidades de ocurrencia de fallo. A continuación se muestran las 4 gráficas resultantes del modelaje de los datos cargados al simulador:



Gráfica N° 4.23 Gráfica de revisión general de la distribución Weibull para la macolla N° 5 del Campo Cerro Negro del COPEM

Según lo observado en la grafica de supervivencia se espera que el 63% de las bombas de cavidad progresiva se mantengan operando para la media de los datos a los 904 días lo que en años corresponde a 2 años y medio. En el caso de la función de riesgo para esos mismos días, las bombas se encontrarán en su etapa de desgaste, esto puede verificarse al entrar en la gráfica de riesgo con un valor de 904 en el eje de las x y cortando la gráfica se aprecia que ya está en la sección creciente indicando que a medida que pasa el tiempo incrementará la tasa de fallas.

Adicionalmente el valor de β es 1,1 aproximadamente ratificando que está en dicha etapa. La probabilidad de falla para los tres primeros años obtenida de la simulación se muestra en la tabla N° 4.24.

Tabla N° 4.23 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para los pozos de la Macolla N°5 en el Campo Cerro Negro del COPEM

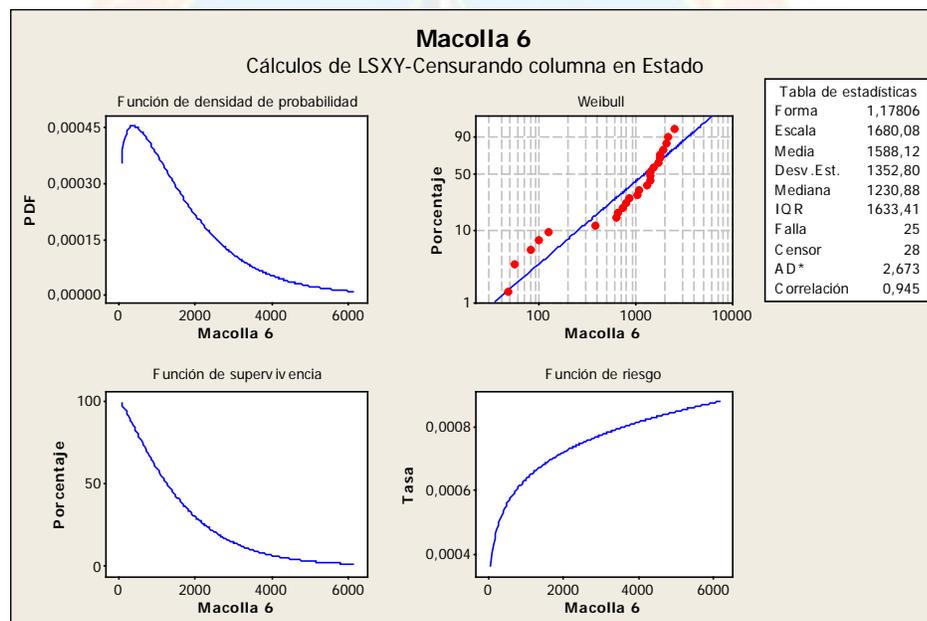
<i>Tiempo (Días)</i>	<i>Probabilidad de Fallo</i>	<i>N° de bombas a fallar</i>
365	37,6%	8
730	56,2%	12
904	62,6%	13
1095	68,3%	14

En la tabla 4.23 se observan los resultados de la simulación para tres años siguientes obteniéndose una probabilidad de falla de 37,6%; 56,2%; y 68,3%. Adicionalmente para la media de los datos (2 años y 4 meses) la probabilidad de que

fallen es de 62,6% (13 bombas), es decir dentro de tres años posiblemente fallaran un total de 14 bombas BCP en la macolla N° 5.

4.2.7 Análisis de los Tiempos de Fallos de las BCP a Través de la Distribución Weibull para la Macolla N° 6

Las graficas resultantes de la simulación para la macolla N° 6 se visualizan en la siguiente figura:



Grafica N° 4.24 Gráfica de revisión general de la distribución Weibull para la macolla N° 6 del Campo Cerro Negro del COPEM

En la macolla N° 6 el comportamiento de la función de supervivencia es una curva prácticamente decreciente indicando como es de esperarse un porcentaje cada vez más bajo a medida que transcurre el tiempo. En esta macolla, la media está representada por el valor de 837,2 días para el cual el porcentaje de bombas que

sobrevivirán será de aproximadamente un 64,4%, que estarán trabajando para este período de tiempo.

Por otra parte se tiene que la función de riesgo refleja una tasa de fallo creciente, lo que permite inferir que las BCP se encontrarán en una etapa de desgaste para un periodo mayor a los 837 días (2,3 años aproximadamente), lo cual representa un comportamiento aceptable debido al tiempo de operación que llevan las mismas en fondo. Otro factor importante que ratifica la etapa de vida en la que encontrarán las bombas de cavidad progresiva es el parámetro de forma Beta que para esta macolla es $\beta=1,17$, confirmando nuevamente la etapa de desgaste de las bombas, puesto que su valor es mayor a 1 y según lo que expresa teóricamente la curva de la bañera, los equipos electromecánicos se hallan en una etapa de desgaste cuando el parámetro de forma es decir Beta es mayor a 1 ($\beta>1$).

De la misma manera como se ha venido trabajando con las macollas anteriores se modelaron tiempos de fallo para 1, 2 y 3 años, además de la media de los datos, obteniéndose los siguientes resultados:

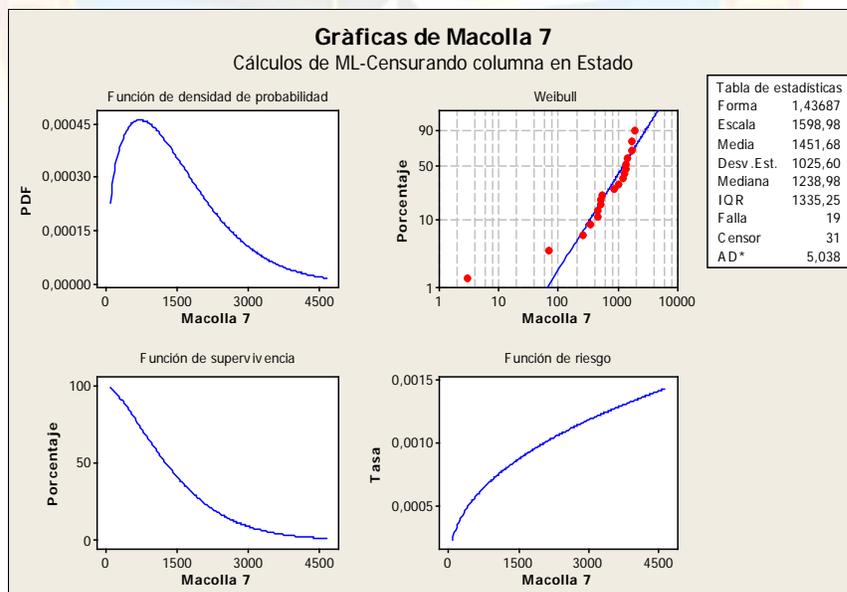
Tabla N° 4.24 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para los pozos de la Macolla N°6 en el Campo Cerro Negro del COPEM

<i>Tiempo (Días)</i>	<i>Probabilidad de Fallo</i>	<i>N° de bombas a fallar</i>
365	15,3%	3
730	31,2%	5
837	35,6%	6
1095	45,4%	8

En la tabla 4.24 se aprecian los valores obtenidos de las probabilidades de falla para 1, 2 y 3 años los cuales fueron: 15,3%, 31,2% y 45,4%., representando 3, 5 y 8 bombas respectivamente para un total de 17 bombas que habrán fallado a los tres años a partir del año 2010. Para la media la probabilidad de falla de los equipos será de 35,6% lo que representa 8 bombas.

4.2.8 Análisis de los Tiempos de Fallos de las BCP a Través de la Distribución Weibull para la Macolla N° 7

Para conocer el porcentaje de bombas que sobrevivirán y fallarán para los próximos años se generaron las graficas que se señalan a continuación para realizar el análisis de confiabilidad requerido, con el fin de obtener información confiable que permita minimizar la frecuencia de intervención de los pozos.



Grafica N° 4.25 Gráfica de revisión general de la distribución Weibull para la macolla N° 7 del Campo Cerro Negro del COPEM

En la gráfica N° 4.24 se muestra las 4 gráficas resultantes de la simulación modelado por “Minitab” donde se aprecia para la función de supervivencia que un 30,6% de bombas BCP se encontrarán en funcionamiento para los 735 días, mientras que en la función de riesgo se refleja inicialmente una baja tasa de fallo y luego comienza a incrementarse situándose en una etapa de desgaste.

Según el valor del parámetro de forma (Beta) de la distribución Weibull también se puede decir que las BCP instaladas en estas macollas se encuentran en este período de desgaste ya que el valor de β es de 1,4.

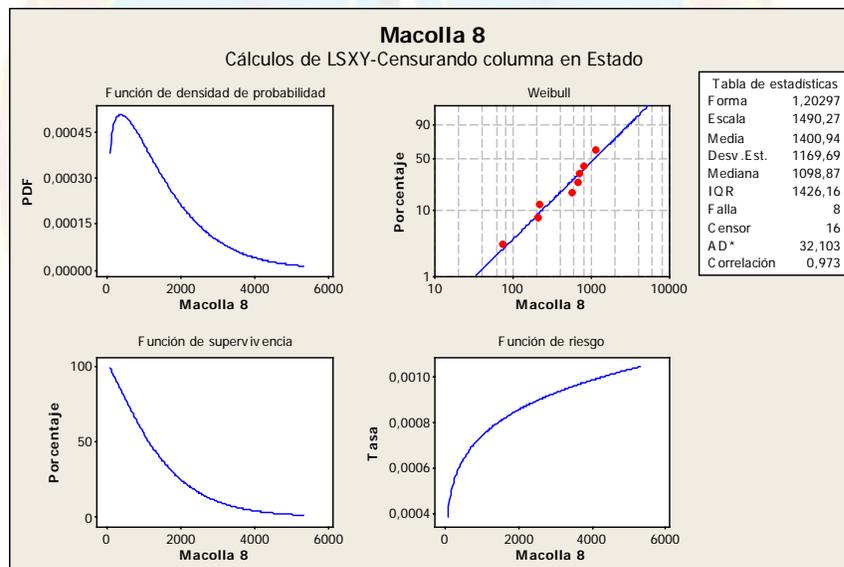
Tabla N° 4.25 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para los pozos de la Macolla N°7 en el Campo Cerro Negro del COPEM

<i>Tiempo (Días)</i>	<i>Probabilidad de Fallo</i>	<i>N° de bombas que habrán fallado en un instante “t”</i>
365	16,7%	7
730	30,4%	12
735	30,6%	13
1095	41,2%	17

La tabla 4.25 señala las probabilidades de falla para los diferentes años (1, 2 y 3 años) donde se observa que para un año la probabilidad de que las BCP se encuentren fallando es del 16,7%(7 bombas) para los dos años estarán fallando como es natural un porcentaje mayor con un 30,4% (12 bombas) y por último para un porcentaje el 41,2% de las BCP fallarán a los tres años (17 bombas)

4.2.9 Análisis de los Tiempos de Fallos de las BCP a Través de la Distribución Weibull para la Macolla N° 8

Para la macolla N°8 fueron igualmente simulados los datos de tiempo promedio para la falla y se obtuvieron las gráficas de supervivencia y de riesgo para posteriormente conocer el porcentaje d bombas de cavidad progresiva que sobrevivirán y fallarán para los próximos años, además, de identificar la etapa de vida de las bombas BCP. A continuación se muestra la grafica donde se analizara lo anteriormente expuesto:



Gráfica N° 4.26 Gráfica de revisión general de la distribución Weibull para la macolla N° 8 del Campo Cerro Negro del COPEM

Según lo observado en estas gráficas se puede inferir primeramente para la función de supervivencia que aproximadamente el 72,7% de las BCP estarán operando para los próximos 577 días (media de los datos) lo que equivalente a 1,5 años aproximadamente. Es importante señalar que esta macolla es la última

completada y donde se han realizado menos intervenciones en comparación con el resto de las macollas.

La fecha de completación de la mayoría de los pozos fue entre los años 2004 y 2005, lo que explica que sean las más próximas a fallar pues ya han cumplido su tiempo de vida útil. (Aproximadamente 5 años). Por su parte la función de riesgo indica a través de su gráfica que para los 577 días (media de la muestra) las bombas de esta macolla estarán en una etapa de desgaste, lo que es ratificado a través del parámetro β que para esta macolla es 1,2, es decir $\beta > 1$.

Tabla N° 4.26 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para los pozos de la Macolla N°8 en el Campo Cerro Negro del COPEM

<i>Tiempo (Días)</i>	<i>Probabilidad de Fallo</i>	<i>N° de bombas que habrán fallado en un tiempo "t"</i>
365	16,8%	6
577	27,3%	9
730	34,6%	11
1095	49,9%	16

Finalmente se señala en la tabla 4.26, el porcentaje de bombas que fallará en los próximos 3 años además de la media de los datos, reflejando que para los próximos 365 días el 16,8% (6 bombas) de las bombas que conforman esta macolla fallará; para los próximos 730 días fallará el 34,6% (9 bombas) y para los 1095 días (3 años aproximadamente) fallará el 49,9% (16 bombas) de esta macolla. La media de los datos de esta macolla es 577 días, tiempo para el cual fallará el 27,3% de las mismas. En la siguiente tabla se muestra el total de bombas BCP que estarán fallando

para tres años siguientes en las 8 macollas ubicadas en el Campo Cerro Negro del COPEM.

Tabla N° 4.27 Probabilidad de Falla en los primeros 3 años para las 8 macollas ubicadas en el Campo Cerro Negro del COPEM

<i>Próximos años</i>	<i>N° de Bombas BCP que habrán fallado en un instante “t”</i>
1	27 bombas
2	45 bombas
3	67 bombas

En la tabla 4.27 se muestra un resumen de la probabilidad de falla de las 8 macollas ubicadas en el Campo Cerro Negro pertenecientes al Centro Operativo Petromonagas, observándose que en el 2010 estarán fallando 27 bombas BCP por fallas mecánicas, para el siguiente año en el 2011 posiblemente fallaran un estimado de 18 BCP, obteniéndose que para ese año habrán fallado un total de 45 bombas y finalmente para el año 2012 es probable que sean reemplazadas 22 bombas de cavidad progresiva para un total de 67 hasta ese año.

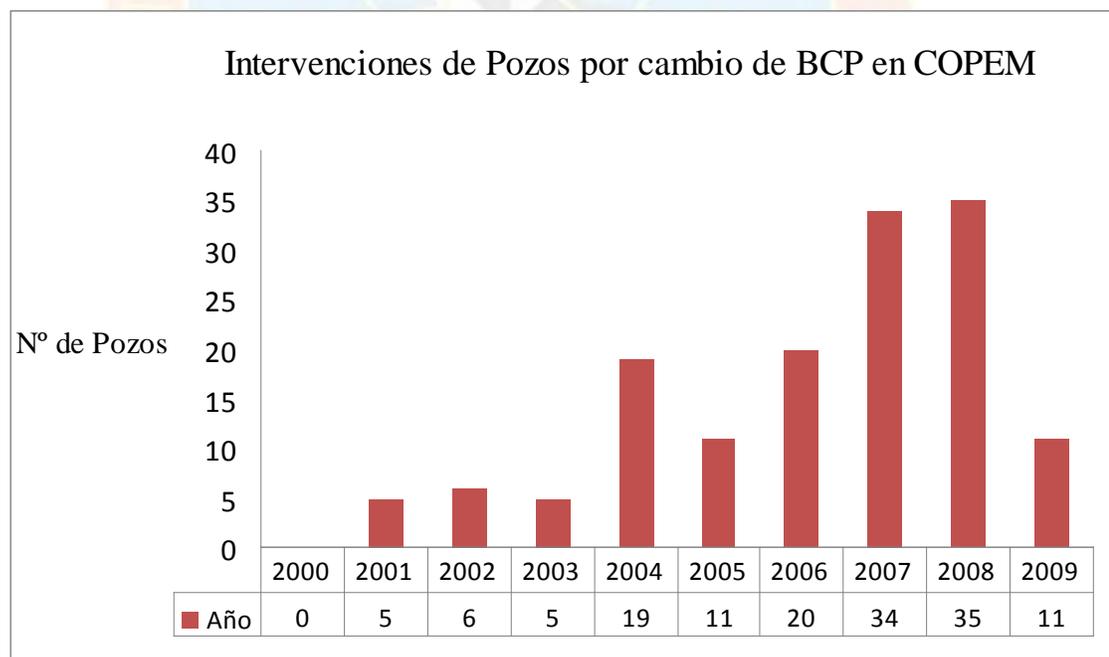
De acuerdo a los resultados obtenidos es necesario realizar un presupuesto para los próximos tres años que cubran este total de bombas a reemplazar, de manera que la empresa pueda cumplir con la producción de petróleo comprometida sin necesidad de mantener los pozos parados por un largo periodo de tiempo sino que la misma cuente con esa cantidad o un poco más al momento de la parada del pozo. Adicionalmente a partir de esta información se podrán definir los taladros requeridos para cada año y solicitar con suficiente antelación ante PDVSA Servicios.

Es importante acotar que el Campo Cerro Negro del COPEM es relativamente nuevo por lo que la cantidad de bombas que se cambian por año no es tan alta en

comparación con otras empresas. A continuación se muestra un histórico del número de reemplazos de BCP que se han realizado en todas las macollas del Campo Cerro Negro por año, de manera que se visualice las pocas intervenciones que han requerido estos pozos:

4.2.10 Histórico de los Tiempos de Fallo de los Pozos Intervenido en el Campo Cerro Negro

En la gráfica 4.10 se muestra el número de pozos que han sido intervenidos cada año desde la completación hasta su intervención y desde las intervenciones posteriores hasta las nuevas intervenciones desde el inicio de las operaciones del COPEM en el año 1999.



Grafica N° 4.27 Intervenciones realizadas a pozos en el Campo Cerro Negro del COPEM desde el año 2000 hasta el 2009

Como se aprecia en la gráfica N° 4.26, es en los años 2008 y 2009 donde se aprecia el mayor número de reemplazos de BCP y en el orden de 5, 6, 5, 19, 11, 20, 34, 35 y 11 bombas. Este comportamiento histórico valida los resultados obtenidos a través de las simulaciones y confirma las pocas intervenciones que se realizan en este campo.

Ahora bien, tomando en cuenta el número de bombas que se determinaron para ser reemplazadas en los años 2010, 2011 y 2012, es decir, los próximos tres años el presupuesto requerido será:

Tabla N° 4.28 Presupuesto para el reemplazo de bombas para el año 2010

EMPRESA MIXTA PETROMONAGAS REQUERIMIENTOS VOLUMETRIA DE "DESCRIPCIÓN GENERICA DEL MATERIAL" 2.010			
MATERIALES		CONSUMO ANUAL SEGÚN DIST. MENSUAL	PRECIO ESTIMADO (MBSF)
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	UND.		
Barra Pulida 1-1/2" x Pin 1-1/8" x 42'	PZA	27	94,50
Grampa de 1-1/2" para sujetar la Barra Pulida	PZA	27	9,45
Electronic Gauge P/7 1"s POD 3.000 PSI (sensores de fondo análogos)	PZA	27	337,50
Electronic Gauge P/7 1"s POD 3.000 PSI (sensores de fondo digitales)	PZA	27	337,50
Gauge Carrier 5 1/5 INCH (porta sensor)	PZA	27	135,00
Tec Line 1/4" (cable de fondo)	PIE	86400	691,20
Clamp Protector 5 1/2" (grapas)	PZA	3240	1.134,00
Bombas Cavidad Progresiva (98-1580)	PZA	14	1.050,00
Bombas Cavidad Progresiva (98-1600)	PZA	13	975,00
Cabillas de Grado Especial 1-1/4" x Pin 1" x 25'	PZA	3564	2.494,80
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 1'	PZA	54	21,60
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 2'	PZA	54	21,60
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 4'	PZA	54	21,60
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 6'	PZA	54	21,60
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 8'	PZA	54	21,60
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 10'	PZA	54	21,60
Cuello de Combinación de 1-1/8" x 1" (Combinación barra pulida con c	PZA	27	27,00
Coupling 1" x 1" (Combinación entre cabillas)	PZA	27	4,05
flejes	PIE	13500	94
Subtotal	MBsF		7.514
Ajuste por Inflación (10%)	MBsF		751,39
TOTAL			8.265,32

Tabla N° 4.29 Presupuesto para el reemplazo de bombas para el año 2011

EMPRESA MIXTA PETROMONAGAS
REQUERIMIENTOS VOLUMETRIA DE "DESCRIPCIÓN GENERICA DEL MATERIAL" 2.011

MATERIALES		CONSUMO ANUAL SEGÚN DIST. MENSUAL	PRECIO ESTIMADO (MBSF)
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	UND.		
Barra Pulida 1-1/2" x Pin 1-1/8" x 42'	PZA	18	63,00
Grampa de 1-1/2" para sujetar la Barra Pulida	PZA	18	6,30
Electronic Gauge P/7 1"s POD 3.000 PSI (sensores de fondo análogos)	PZA	18	225,00
Electronic Gauge P/7 1"s POD 3.000 PSI (sensores de fondo digitales)	PZA	18	225,00
Gauge Carrier 5 1/5 INCH (porta sensor)	PZA	18	90,00
Tec Line 1/4" (cable de fondo)	PIE	57600	460,80
Clamp Protector 5 1/2" (grapas)	PZA	2160	756,00
Bombas Cavidad Progresiva (98-1580)	PZA	9	675,00
Bombas Cavidad Progresiva (98-1600)	PZA	9	675,00
Cabillas de Grado Especial 1-1/4" x Pin 1" x 25'	PZA	2376	1.663,20
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 1'	PZA	36	14,40
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 2'	PZA	36	14,40
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 4'	PZA	36	14,40
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 6'	PZA	36	14,40
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 8'	PZA	36	14,40
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 10'	PZA	36	14,40
Cuello de Combinación de 1-1/8" x 1" (Combinación barra pulida con c	PZA	18	18,00
Coupling 1" x 1" (Combinación entre cabillas)	PZA	18	2,70
flejes	PIE	9000	63
Subtotal	MBSF		5.009
Ajuste por Inflación (10%)	MBSF		500,93
TOTAL			5.510,21

Tabla N° 4.30 Presupuesto para el reemplazo de bombas para el año 2012

EMPRESA MIXTA PETROMONAGAS
REQUERIMIENTOS VOLUMETRIA DE "DESCRIPCIÓN GENERICA DEL MATERIAL" 2.012

MATERIALES		CONSUMO ANUAL SEGÚN DIST. MENSUAL	PRECIO ESTIMADO (MBSF)
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	UND.		
Barra Pulida 1-1/2" x Pin 1-1/8" x 42'	PZA	22	77,00
Grampa de 1-1/2" para sujetar la Barra Pulida	PZA	22	7,70
Electronic Gauge P/7 1"s POD 3.000 PSI (sensores de fondo análogos)	PZA	22	275,00
Electronic Gauge P/7 1"s POD 3.000 PSI (sensores de fondo digitales)	PZA	22	275,00
Gauge Carrier 5 1/5 INCH (porta sensor)	PZA	22	110,00
Tec Line 1/4" (cable de fondo)	PIE	70400	563,20
Clamp Protector 5 1/2" (grapas)	PZA	2640	924,00
Bombas Cavidad Progresiva (98-1580)	PZA	11	825,00
Bombas Cavidad Progresiva (98-1600)	PZA	11	825,00
Cabillas de Grado Especial 1-1/4" x Pin 1" x 25'	PZA	2904	2.032,80
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 1'	PZA	44	17,60
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 2'	PZA	44	17,60
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 4'	PZA	44	17,60
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 6'	PZA	44	17,60
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 8'	PZA	44	17,60
Niple de Cabillas de 1-1/4" x 10'	PZA	44	17,60
Cuello de Combinación de 1-1/8" x 1" (Combinación barra pulida con c	PZA	22	22,00
Coupling 1" x 1" (Combinación entre cabillas)	PZA	22	3,30
flejes	PIE	11000	77
Subtotal	MBSF		6.122
Ajuste por Inflación (10%)	MBSF		612,25
TOTAL			6.734,70

Adicional se deberá considerar el costo del taladro para reemplazo de dichas bombas, para lo cual deberá adicionarse:

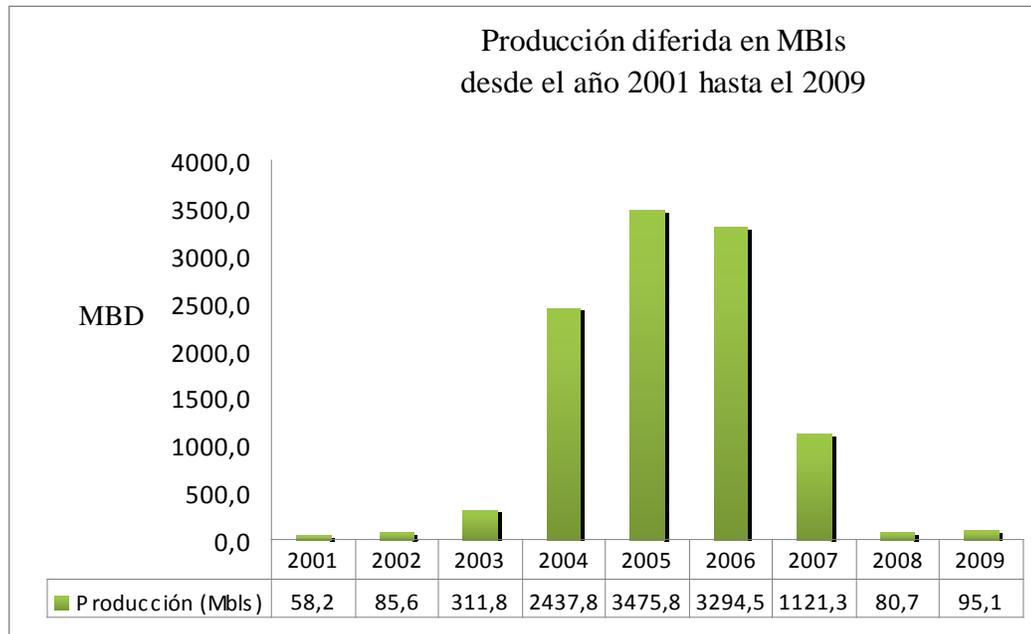
Tasa de taladro diaria: 20700,77 BsF + 9555,67 \$

4.3 EXPLICACION DE LOS EFECTOS DE LAS FALLAS DE LAS BCP SOBRE LOS COSTOS DE OPERACIÓN DE LAS BOMBAS DE CAVIDAD PROGRESIVA EN EL CAMPO CERRO NEGRO

Para conocer el impacto de las fallas de las bombas de cavidad progresiva sobre la producción, el presupuesto asignado a la empresa y el tiempo, se recopiló información referente a la producción que tenían los pozos antes de ser intervenidos por estas fallas para cada año comprendido entre 1999 y 2009. Esto permitió determinar los miles de barriles que se dejaron de producir durante este período, lo cual afecta los compromisos de producción y afecta negativamente en el presupuesto planificado ya que cuando el trabajo no es planificado, genera costos adicionales impactando en los costos de producción de la empresa. Por otra parte estas fallas repentinas implican la gestión acelerada de equipos como taladros u otros los cuales no son tan fáciles de ubicar ya que por lo general tienen una programación establecida para el año.

Es bien sabido, que estos equipos de subsuelo BCP tienen un tiempo de vida útil y que al llegar a su etapa de desgaste se espera su falla, ya que ha cumplido su periodo de funcionamiento normal, sin embargo, cuando esta falla no es programada o planificada, genera impactos a nivel de producción, de tiempo y costos básicamente, además de las incomodidades de gestionar equipos y movilizar personal, dejando a un lado las actividades previamente establecidas.

A continuación se presenta el impacto en la producción diferida expresada en miles de barriles, producto de las paradas de los pozos por fallas en las BCP en el periodo que comprende este estudio:



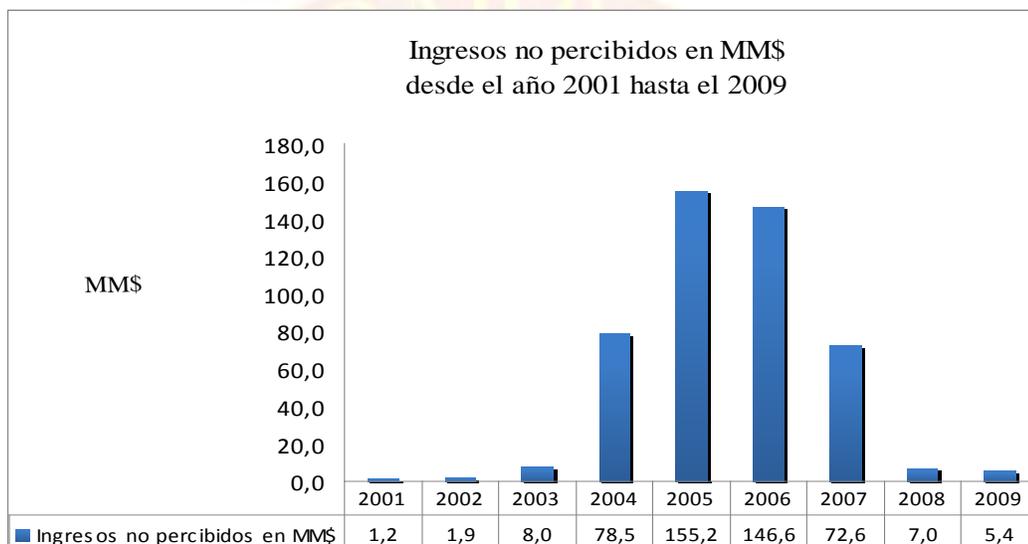
Gráfica N° 4.28. Producción diferida en MBls desde el año 2001 hasta el 2009

En la gráfica N° 4.27 se aprecia que desde el año 2001 se ha tenido que diferir producción de petróleo, sin embargo, fue entre los años 2004 y 2007 cuando se tuvieron las mayores pérdidas, esto asociado también a que en este periodo los pozos estuvieron parados por más de un año, y durante todo este tiempo dichos pozos dejaron de aportar a la corriente de producción.

Desde el 2001 y hasta el 2009, se dejaron de producir aproximadamente 11 MMBls, mientras que entre 2003 y 2007, se dejaron de extraer 10,3 MMBls, lo que representa el 93,6% de la producción total diferida entre 2001 y 2009. Como lo indica la figura N° 30 ya a partir del año 2008 se tomaron acciones contundentes acelerando

el trabajo de servicios a pozos y disminuyendo significativamente a los niveles más bajos las diferidas de producción, mediante la reactivación de estos pozos que estuvieron parados durante años.

Este impacto en la producción puede cuantificarse también mediante los ingresos que dejó de percibir la nación por la producción diferida durante este periodo. En la figura N° 31, se aprecia este efecto expresado en MM\$:



Gráfica N° 4.29 Ingresos no percibidos en MM\$ desde el año 2001 hasta el 2009

Se dejó de recibir un total de 476,4 MM\$ en el periodo 2001-2009 y al igual que con la producción, el período con mayor impacto fue 2004-2007, en el cual no ingresaron al país 452,9 MM\$, es decir el 95% del total no percibido en el periodo de estudio. Estos MM\$ están asociados a la producción que no se extrajo producto de las fallas de las BCP, las cuales no fueron tratadas al momento.

Como lo indican las gráficas 27 y 28, el año de mayor impacto en Petromonagas fue el 2005, año en el cual pararon más pozos y los cuales estuvieron

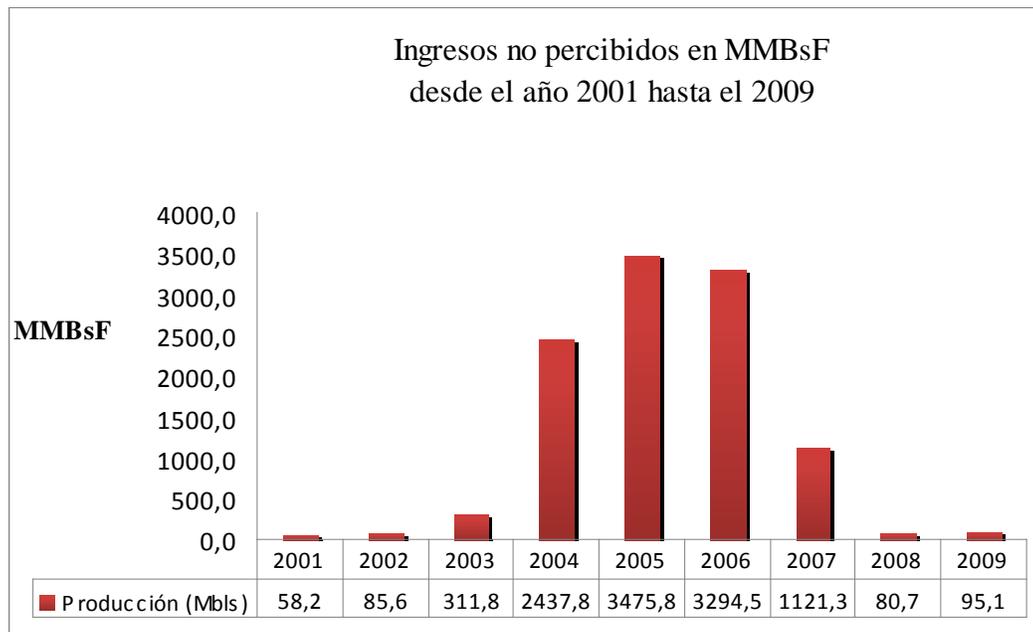
inactivos durante muchos días, muchos de ellos por más de dos años como se aprecia en la tabla N°28 mostrada a continuación:

Tabla N° 31 Impacto en producción, ingresos y días durante el año 2005 para pozos del campo Cerro Negro del COPEM

Pozo	Fecha de Parada	Días de Parada hasta la Reparación	Producción Diferida(Bls/día)	Producción diferida en Bls	Precio del Petróleo \$/BL	Ingresos no percibidos MM\$	Ingresos no percibidos MMBsF
CGC0102	11/11/2005	591	659	389469	44,65	17,4	37,4
CGC0110	07/07/2005	950	191	181450	44,65	8,1	17,4
CGC0116	26/04/2005	4	946	3784	44,65	0,2	0,4
CHC 0207	25/05/2005	247	637	157339	44,65	7,0	15,1
CHC 0216	17/11/2005	172	820	141040	44,65	6,3	13,5
CGC 0301	24/10/2005	612	419	256428	44,65	11,4	24,6
CGC 0303	21/12/2005	559	632	353288	44,65	15,8	33,9
CGC 0310	14/10/2005	626	808	505808	44,65	22,6	48,6
CGC 0316	14/07/2005	78	57	4446	44,65	0,2	0,4
CGC 0317	24/08/2005	722	438	316236	44,65	14,1	30,4
CGC 0410	28/04/2005	5	1039	5195	44,65	0,2	0,5
CHC 0510	23/02/2005	22	363	7986	44,65	0,4	0,8
CHC 0604	20/08/2005	27	423	11421	44,65	0,5	1,1
CHC 0611	18/07/2005	63	1569	98847	44,65	4,4	9,5
CHC 0613	14/09/2005	9	605	5445	44,65	0,2	0,5
CHC 0618	18/11/2005	167	872	145624	44,65	6,5	14,0
CHC 0702	09/12/2005	123	1345	165435	44,65	7,4	15,9
CHC 0705	28/10/2005	174	1328	231072	44,65	10,3	22,2
CHC 0711	18/09/2005	716	154	110264	44,65	4,9	10,6
CHC 0714	18/02/2005	14	350	4900	44,65	0,2	0,5
CHC 0714	07/03/2005	5	350	1750	44,65	0,1	0,2
CHC 038	02/01/2005	8	1588	12704	44,65	0,6	1,2
CGC 0811	16/12/2005	154	2376	365904	44,65	16,3	35,1
		6048		3475835		155,2	333,7

Sin embargo, como se aprecia en la figura N° 4.31, fue en los años 2008 y 2009 donde la empresa COPEM tuvo la mayor actividad de servicios a pozos lo cual incidió positivamente sobre la producción y la gestión de la misma.

Este impacto en MM\$ también se aprecia en MMBsF (actuales) a través de la gráfica N° 29:



Gráfica N° 4.30 Ingresos no percibidos en MMBsF desde el año 2001 hasta el 2009

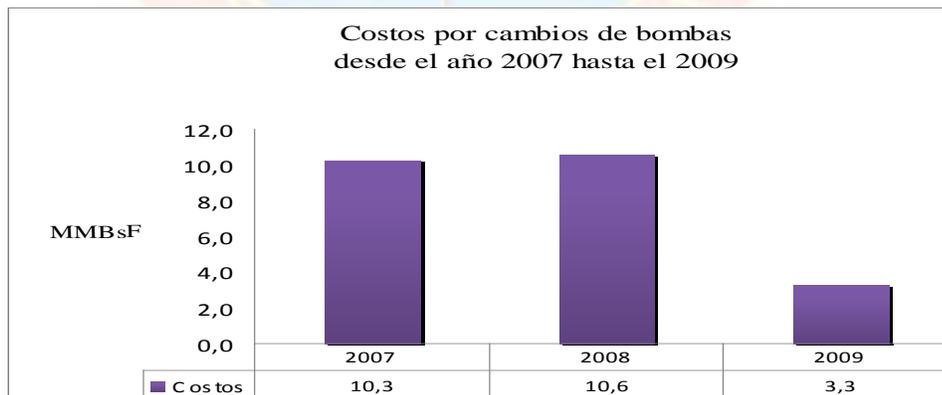
Los 476,4 MM\$ no percibidos en el periodo 2001-2009, representan 993,99 MMBsF actuales, los cuales fueron dejados de percibir por los tiempos no productivos.

Por otra parte, existe un tiempo no productivo asociado a la parada de esta producción, que el periodo 2001-2009 totalizan 18112 días, siendo el año 2006 el año con mayor cantidad de días no productivos asociados a las fallas de BCP, tal como lo indica la gráfica N° 4.29.



Gráfica N° 4.31 Días no productivos desde el año 2001 hasta el 2009

A pesar de que en el año 2005 se tuvo el mayor impacto en producción y en MM\$, fue en el año 2006 en el cual se tuvo más días de pozos parados, esto se explica porque la producción varía de un pozo a otro. Las paradas no programadas por cambios de BCP también generaron impactos en el presupuesto del COPEM y estos se muestran en la Figura N° 4.34, a continuación, sin embargo, es importante señalar que sólo se muestran desde el año 2007 ya que la empresa no cuenta con históricos de años atrás, pues esta información no fue entregada por Exxon Móvil quien operaba anteriormente este campo.



Gráfica N° 4.32 Costos asociados a las fallas de BCP desde el año 2001 hasta el 2009

En este período 2007 y 2009 se generaron gastos en el orden de 24,2 MMBsF, producto de las intervenciones de pozos por las fallas de BCP. Entre los años 2007 y 2008 se observan menores costos debido a que las Bombas de Cavidad Progresiva que fallaron para los años 2004, 2005 y 2006 fueron reemplazadas al poco tiempo, sino que la mayoría de ellas estuvieron paradas por más de 2 años, razón por la que se refleja estos altos costos en los años 2007 y 2008 y luego bajos costos para el año 2009. Esto se puede observar en la tabla 4.31 donde se muestran los días que estuvieron los pozos sin intervenciones y para el año 2009 se aprecia que los días que estuvo parado hasta la reparación no exceden el año, lo que permite inferir que fueron reemplazados al poco de tiempo de haber fallado.

Como se pudo observar en las gráficas estudiadas anteriormente, existe un impacto significativo en producción, tiempo, ingresos al país y en el presupuesto asignado a la empresa cuando se tienen que hacer intervenciones no programadas, ya que esto genera inconvenientes que pueden resultar incluso en la paralización de los pozos por mucho tiempo debido a la no disponibilidad de equipos, personal e incluso presupuesto para trabajar estos pozos como se evidenció en este estudio donde se encontraron pozos sin trabajar por más de dos años después de haber fallado. Es aquí donde radica la importancia de estudio, pues teniendo una planificación de las intervenciones que deben hacerse cada año a los pozos que operan con BCP, pueden evitarse dichos impactos que afectan negativamente a la empresa y al país.

CONCLUSIONES

- En el Campo Cerro Negro asociado a la empresa mixta petromonagas se han presentado pocos servicios a pozos por reemplazos de Bombas de Cavidad Progresiva BCP siendo 35 intervenciones el mayor número registrado en el año 2008.
- Los modos de fallas observados en el campo Cerro Negro del Centro Operativo Petromonagas son elastómero hinchado, elastómero desprendido, rotor partido y rotor desgastado, siendo la causa más común el referido a elastómero desprendido con un 64%.
- Las causas que han generado los modos de fallas son el tiempo de operación de las bombas de cavidad progresiva y en algunos pozos las altas velocidades de operación (RPM).
- La probabilidad de falla de las 8 macollas ubicadas en el Campo Cerro Negro pertenecientes al COPEM para los próximos tres años es de 103.2%, 79.2% y 80.6% lo que representa 27,18 y 22 Bombas de Cavidad Progresiva respectivamente.
- Los valores arrojados mediante el parámetro de forma “ β ” de la Distribución Weibull indica que la mayoría de las Bombas de Cavidad Progresiva BCP se encuentran en una etapa de desgaste.
- El presupuesto requerido para el reemplazo de Bombas de Cavidad Progresiva BCP en los próximos tres años es de 8265.32, 5510.22 y 6634.70 MBsf respectivamente.

- La producción diferida producto de las fallas mecánicas en las Bombas de Cavidad Progresiva BCP tuvo su mayor impacto entre los años 2003 y 2007 con una producción diferida de 10,3 MMbbls.
- Los gastos que se generaron entre los años 2007 y 2009 están en el orden de los 4 MM BsF.



RECOMENDACIONES

- Solicitar el presupuesto asociado a 27 Bombas de Cavidad Progresiva para al año 2010, BCP para el año 2011, y 22 BCP para el año 2012.
- Hacer un seguimiento a aquellas Bombas de Cavidad Progresiva BCP que tienen más de 5 años operando en forma continua.
- Considerar la adquisición de un software propio para el análisis estadístico de los tiempos de fallo de las Bombas de Cavidad Progresiva BCP para los próximos tres años.
- Exigir que los reportes de servicios a pozos para BCP sean llenados en su totalidad y con la mayor descripción de las condiciones Estator/Rotor de las BCP desinstaladas de los pozos, ya que son la esencia de la información concerniente a las fallas de las Bombas de Cavidad Progresiva BCP.
- Mantener actualizada la base de datos creada de los modos de falla de las Bombas de Cavidad Progresiva BCP del Campo Cerro Negro asociada a la empresa mixta Petromonagas para los años venideros.
- Evitar períodos prolongados para realizar intervenciones por fallas mecánicas en Bombas de Cavidad Progresiva BCP con el fin de minimizar el impacto en la producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIAS, F. (2004). El Proyecto de Investigación, Editorial Episteme, Caracas, Venezuela, pág. 17-120.

ESP OIL (2004). Bombeo de Cavidad Progresiva. BCP para operadores.

CASTELLIN, R (2005). Análisis de Fallas de Bombas de Cavidades Progresivas Usadas en la Empresa Sincor en El Campo Zuata al Sur del Estado Anzoátegui. Universidad de Oriente, Núcleo Monagas.

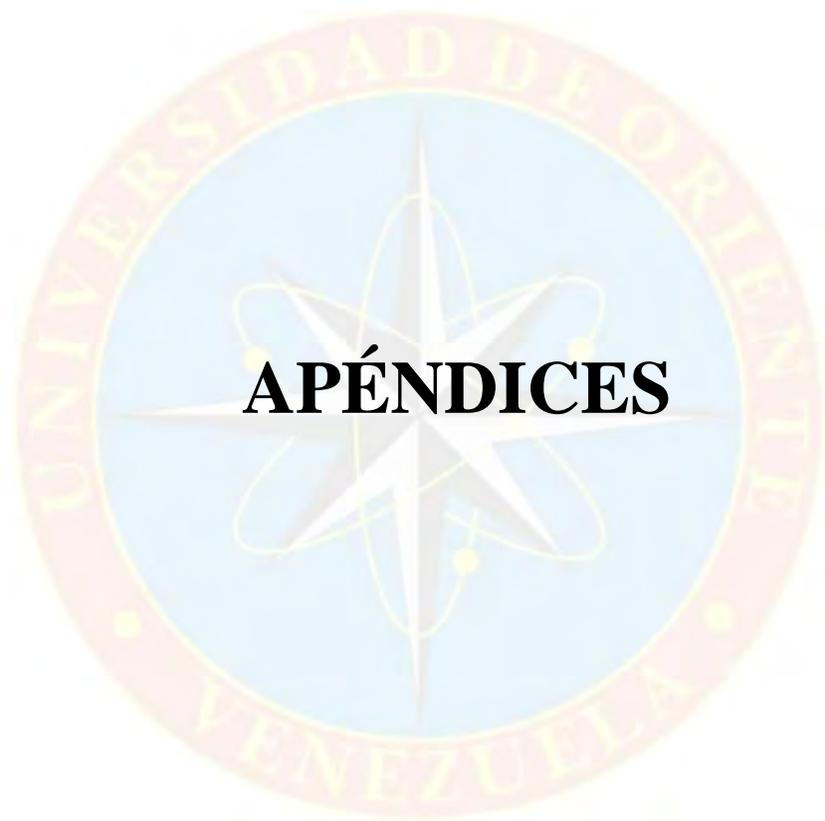
FLORES A, (2008), “Evaluación del Comportamiento de los Sistemas de Bombeo de Cavidad Progresiva Instalados durante el Periodo 2000 – 20006 en el Campo Orocuál Somero” Universidad de Oriente Núcleo-Monagas.

MATA VELIZ J, (2007), “Análisis del Comportamiento Operacional de las Bombas Mecánicas de Subsuelo en las Unidades de Producción Pesados y Extrapesados de PDVSA, Distrito Social San Tome. Universidad de Oriente Núcleo-Monagas.

HERNÁNDEZ, S. (1998). Metodología de la Investigación. México. MacGraw Hill, Segunda Edición.

OPERADORA CERRO NEGRO (2002). Manual de operaciones (Manual OCN-CPF-MA-O-00-2002-001). Municipio Independencia. Centro Operativo. Petromonagas.

YAÑEZ, M., GÓMEZ, H. Y VALBUENA, G. (2004). Ingeniería de Confiabilidad y Análisis Probabilístico de Riesgo. Reliability and Risk Management, S.A. Venezuela.



APÉNDICES



APÉNDICE A
HISTORIALES DE POZOS

A.1 Historial de los pozos pertenecientes a la Macolla N° 1

- *Primera Intervención de los pozos pertenecientes a la macolla N° 1*

MACOLLA	POZO	FECHA PARADA	DIAGNOSTICO	ACTIVIDAD	1era INTERVENCIÓN		EQUIPO	TIEMPO EQUIPO EN FONDO (Meses)	Modelo de Bomba	Desplazamiento nominal BCP (Bls/día/rpm)
					INICIO	FIN				
1	CGC 0101									
	CGC 0102	11-11-05	El pozo se paró el 11 de Noviembre del 2005 por presentar alto torque, se intentó arrancar nuevamente sin éxito debido a que la sarta de cabilla no rotaba. Se recomienda recuperar sarta de cabillas y rotor. Evaluar	Sacó fuera del hoyo sarta de cabillas y rotor modelo 98-1580	04-06-07	04-06-07	FVB-02	-	-	-
	CGC 0103	13-07-08	Baja eficiencia de bomba	Reemplazo de bomba	13-07-08	16-07-08	Everton-06	23	National 98-1580	6,16
	CGC 0104									
	CGC 0105	09-11-08	Pozo alto productor de gas y con baja eficiencia de bomba, se recomienda instalar bomba de carga	Reemplazo de bomba	09-11-08	13-11-08	Everton-06	19	Bomba de carga 110-150 (National)	6,9
	CGC 0106	10-12-01	Posible cabilla suelta	Pesca de cabilla	22-01-02	24-01-02	FBV-02	-	-	-
	CGC 0107									
	CGC 0108	09-02-05	Posible bomba dañada	Reemplazo de bomba	12-02-08	14-02-08	Everton-06	28	National 98-1580	6,16
	CGC 0109	30-01-01	Posible bomba dañada	Reemplazo de bomba	01-02-01	05-02-01		113	Weatherford 98-1580	6,16
	CGC 0110	07-07-05	Posible bomba dañada	Reemplazo de bomba	06-02-08	12-02-08	Everton-06		National 98-1580	6,16
	CGC 0111	07-09-08	Baja eficiencia de bomba	Reemplazo de bomba	07-09-08	12-09-08	Everton-06	21	Bomba de bajo caudal modelo 44-1800 (National). (Se instalo separador de gas en fondo)	2,8
	CGC 0113	24-11-07	Posible bomba dañada	Reemplazo de bomba	30-01-08	01-02-08	Everton-06	28	National 98-1580	6,16
	CGC 0114									
	CGC 0115	20-05-04	Posible bomba dañada	Reemplazo de bomba	22-05-04	24-05-04	Everton-06	73	Weatherford 98-1600	6,16
	CGC 0116	26-04-05	Posible bomba dañada	Reemplazo de bomba	27-04-05	30-04-05	Everton-06	33	National 110-1600	6,9
	CGC 0117	15-06-08	Baja eficiencia de bomba	Reemplazo de bomba	15-06-08	17-06-08	Everton-06	23	Bomba de bajo caudal modelo 44-1800 (National). (Se instalo separador de gas en fondo)	2,8

A.2. Historial de los pozos pertenecientes a la Macolla N° 2

- *Primera Intervención de los pozos pertenecientes a la macolla N° 2*

MACOLLA	POZO	FECHA PARADA	DIAGNOSTICO	ACTIVIDAD	1era INTERVENCIÓN		EQUIPO	TIEMPO EQUIPO EN FONDO (Meses)	Modelo de Bomba	Desplazamiento nominal BCP (Bls/día/rpm)
					INICIO	FIN				
2	CHC 0201	26/08/2006	Possible bomba dañada	Recuperar sarta de cabillas y rotor	15/08/2007	16/08/2007	FBV-14	-	-	-
	CHC 0202	20/10/2004		Se retiró la completación del pozo y se le bajó tubería 5 1/2" con una pata de mula hasta 3422,96' MD	20/10/2004	22/10/2004	Evertson-06	-	-	-
	CHC 0203									
	CHC 0204	06/11/2007	Possible bomba dañada	Trabajo planificado para reemplazar bomba dañada, pero se dejó punta libre por presentar arenamiento. (pozo quedó preparado para intervención con Coiled Tubing).	22/02/2008	26/02/2008	Evertson-06	-	-	-
	CHC 0205	22/07/2004	Possible bomba dañada	Reemplazo de bomba	24/07/2004	27/07/2004	Evertson-06	45	Weatherford 98-1580	6,16
	CHC 0206	30/01/2007	Possible bomba dañada	Recuperar sarta de cabillas y rotor	14/08/2007	14/08/2007	FBV-14	-	-	-
	CHC 0207	25/05/2005	El pozo CHC 0207 se detuvo el 25/05/2005, el torque bajó de 102 lb/pie a 0 lb/ft. Adicionalmente se observó que la sarta de cabilla se desplazó 1/2". Hasta el 06 de Julio se observó una oscilación por el casing de 80-140 psi	Próbo entrada y salida del rotor en la BCP con éxito	27/01/2006	27/01/2006	FBV-02	-	-	-
	CHC 0208	05/04/2004	El 05/04/2004 fue detenido el pozo CHC 0208 debido a un incremento de presión en el cabezal, originado por obstrucción del mismo	Trató de bajar rotor sin éxito. SFH barra pulida y retiro goma de elastómero dentro del pozo	06/04/2004	06/04/2004	FBV-02	-	-	-
	CHC 0209	17/02/2002		Se instaló cabilla para llegar al riñón de paro sin éxito. SFH sarta de cabillas	28/02/2002	01/03/2002	FBV-02	-	-	-
	CHC 0210	14/03/2006		Recuperar sarta de cabillas y rotor	16/08/2007	16/08/2007	FBV-14	-	-	-
	CHC 0211	10/05/2004	El 10-05-2004, el pozo CHC 0211 se detuvo por presentar alto torque. Se reinició dos veces, a 50 rpm presentando un torque de 1200 lb*ft y luego 1100 lb*ft	Reemplazo de bomba	11/05/2004	14/05/2004	Evertson-06	75	Weatherford 98-1600	6,16

2

CHC 0212	20/09/2008	Possible bomba dañada	Reemplazo de bomba	22/09/2008	24/09/2008	Evertson-06	22	Bomba de bajo caudal modelo 44-1800 (National). (Se instaló separador de gas en fondo)	2,8
CHC 0213	27/10/2004	El pozo CHC 0213 se detuvo el 27/10/2004 debido a que presentó alto torque de 1573 lbs/ft y luego un bajo torque de 170-152 lbs/pie a una velocidad de 331 rpm	Pesca de Cabillas	29/10/2004	31/10/2004	Evertson-06	69	National 98-1580	6,16
CHC 0214	15/07/2008	Bomba deficiente	Reemplazo de bomba	16/07/2008	18/07/2008	Evertson-06	24	National 98-1580	6,16
CHC 0215	15/01/2004	Possible bomba dañada	Reemplazo de bomba	19/02/2004	21/02/2004	Evertson-06	78	Weatherford 98-1600	6,16
CHC 0216	17/11/2005	El pozo CHC 0216 se detuvo el 17/11/2005, debido a que presentó alto torque de 1301 lbs-ft a 227 rpm, este venía operando con un torque promedio de 1032 lb/ft a 291 rpm	Reemplazo de bomba	04/05/2006	08/05/2006	Evertson-06	51	National 98-1580	6,16
CHC 0217	20/06/2008	El pozo presentó bajo torque. Este pozo presenta alta producción de gas y por esta razón se le dan paradas continuas	Reemplazo de bomba	22/06/2008	25/06/2008	Evertson-06	25	Weatherford 98-1600 (Se instaló separador de gas en fondo)	6,16
CHC 0218	29/09/2007	Possible bomba dañada	Reemplazo de bomba	02/10/2007	04/10/2007	Evertson-06	33	National 98-1580	6,16
CHC 0219	11/12/2006	Bomba dañada	Recuperar sarta de cabillas y rotor	17/08/2007	17/08/2007	FBV-14	-	-	-



CHC 0212									
CHC 0213									
CHC 0214									
CHC 0215									
CHC 0216	01/04/2008	Bomba deficiente	Reemplazo de bomba	01/04/2008	03/04/2008	Evertson-06	27	Weatherford 98-1600	6,16
CHC 0217									
CHC 0218									
CHC 0219	11/12/2006	Bomba dañada	Reemplazo de bomba	27/08/2007	29/08/2007	Evertson-06	35	Weatherford 98-1600	6,16



- *Tercera intervención de los pozos pertenecientes a la macolla N° 2*

MACOLLA	POZO	FECHA PARADA	DIAGNOSTICO	ACTIVIDAD	3da INTERVENCIÓN		EQUIPO	TIEMPO EQUIPO EN FONDO (Meses)	Modelo de Bomba	Desplazamiento nominal (Bls/dia/rpm)
					INICIO	FIN				
2	CHC 0201									
	CHC 0202	20/10/2004		Instalación de la completación BCP	03/11/2004	05/11/2004	Evertson-06	69	National 98-1580	6,16
	CHC 0203									
	CHC 0204	06/11/2007	Pozo arenado	Limpió pozo arenado parcialmente con la unidad de coiled tubing. Se decidió abandonar la actividad por el aporte de arena encontrado	04/09/2008	12/09/2008	BJ	-	-	-
	CHC 0205	04-09-04	El pozo CHC 0205 se encuentra parado desde el 04/09/2004 debido a que la tubería de superficie se encontraba tapada por presencia de arena	Sacar sarta de cabillas del pozo CHC 0205	05/11/2004	06/11/2004	FBV-03	-	-	-
	CHC 0206									
	CHC 0207									
	CHC 0208									
	CHC 0209	26/11/2008	Posible bomba dañada	Reemplazo de bomba	27/11/2008	01/12/2008	Evertson-06	19	National 98-1580	6,16

A.3 Historial de los pozos pertenecientes a la Macolla N° 3

- *Primera Intervención de los pozos pertenecientes a la macolla N° 3*

MACOLLA	POZO	FECHA PARADA	DIAGNOSTICO	ACTIVIDAD	1era INTERVENCIÓN		EQUIPO	TIEMPO EQUIPO EN FONDO (Meses)	Modelo de Bomba	Desplazamiento nominal BCP (Bls/día/rpm)
					INICIO	FIN				
3	CGC 0301	24/10/2005	Possible bomba dañada	Cambio de bomba	25/06/2007	28/06/2007	Evertson-06	9	National 98-1580	6,16
	CGC 0302	08/09/2001		Levantó barra pulida con sarta de cabillas de 1 1/4" x 25', tensionó a 18000 lbs y estabilizó a 13500 lbs/ft, se le inyectó 11 barriles de agua caliente, se presurizó la BCP a 800 psi bajando la presión a 100 psi en 14 segundos. Circulando pozo con agua caliente (39 barriles), se levantó y verificó espaciamento OK. Se presurizó la bomba con 500 psi disminuyendo la presión a cero (0) en 3 segundos. SFH sarta de cabillas	11/10/2001	11/10/2001	FBV-02	-	-	-
	CGC 0303	21/12/2005	El pozo CGC 0303 se paró el 21 de Diciembre del 2005 debido a que el mismo traía un torque promedio de 680 lbs/ft a 280 rpm y bajó a 0 lbs/ft	Durante el trabajo de flush by no se pudo bajar el rotor al estator. SFH sarta de cabillas	28/12/2005	28/12/2005	FBV-02	-	-	-
	CGC 0304	18/02/2004	El 18/02/2004 el pozo CGC 0304 se detuvo por alto torque alcanzando un valor de 1500 lbs-ft. Se reinició dos veces obteniéndose 1500 lbs-ft a 50 rpm.	Cambio de bomba	04/03/2004	09/03/2004	Evertson-06	19	Weatherford 98-1580	6,16
	CGC 0305	16/06/2003	En Abril del 2003 el pozo fue colocado a 300 rpm lo que originó que el pozo fuera estimulado de tal forma que estaba produciendo gas-cruo naturalmente. Posterior a esto el pozo fue cerrado	El 24/09/2003 la unidad de flush by trabajó el pozo CGC 0305. Mientras se realizaba la prueba del sistema tubing-bomba se llenó el pozo y cuando se procedió a bombear para presurizar el pozo levantó 1000 libras de presión durante el flushing del mismo, se bombeó agua a través del casing para controlar el pozo, se repitió la operación a través del tubing, encontrándose el mismo resultado (mantuvo la presión). Este comportamiento hizo presumir que puede tratarse de sólidos en cualquier parte entre la bomba y el niple perforado.	24/09/2003	24/09/2003	FBV-03	-	-	-
	CGC 0306	09/02/2001		Se pescó cabilla suelta. Al tensionar no se pudo despegar rotor	09/02/2001	09/02/2001	FBV-01	-	-	-
	CGC 0307									
	CGC 0308									
	CGC 0309	19/09/2000		Actividad con el flush by	19/09/2000	19/09/2000		-	-	-
	CGC 0310	14/10/2005	Bomba deficiente	Sacar fuera del hoyo sarta de cabilla	01/06/2007	01/06/2007	FBV-02	-	-	-
	CGC 0311	12/11/2001		Sacar fuera del hoyo sarta de cabilla, se presume estator dañado	29/11/2001	30/11/2001	FBV-03	-	-	-
	CGC 0312	30/03/2006	El pozo se detiene el 30/03/2006 por alto torque presumiéndose bomba dañada	Cambio de bomba	10/08/2007	14/08/2007	Evertson-06	35	Weatherford 98-1600	6,16

3

CGC 0313										
CGC 0314										
CGC 0315	03/04/2006	El pozo se detuvo el 03/04/2006 por presentar alto torque presumiendose posible bomba dañada	Cambio de bomba	16/08/2007	20/08/2007	Everton-06	8	Weatherford 98-1600	6,16	
CGC 0316	10/10/2001		Se levantó la barra pulida inyectando 80 bls de agua fresca por el tubing. Se presurizo la bomba con el rotor con 600 psi manteniendo la presión. Liberó el agua del tubing. Sacó barra pulida de 34'- 1 pony rod 10'. Se reespació el pozo y se completó espaciamento con 1 pony rod 2' mas 40' de barra pulida de 1 1/4"	08/11/2001	08/11/2001	Everton-06	-	-	-	
CGC 0317	24/08/2005	El pozo CGC 0317 se detuvo el 24/08/2005 por alto torque lo que se presume bomba dañada	Cambio de bomba	14/08/2007	16/08/2007	Everton-06	35	Weatherford 98-1600	6,16	
CGC 0318	05/10/2004	El pozo CGC 0318 se encuentra activo pero será detenido para cambiarle la bomba, debido a que se ha observado que la eficiencia de la misma ha ido declinando en las últimas pruebas de pozo realizadas de 63,5 a 52,1 %	Cambio de bomba	05/10/2004	07/10/2004	Everton-06	33	Weatherford 98-1580	6,16	
CGC 0319	23/12/2000	El pozo CGC 0319 es un pozo completado en la arena Morichal superior @ 2543'. Estuvo operando como pozo productor hasta Diciembre del 2000 debido a su baja productividad, un análisis económico realizado arrojó que en este pozo debía retirarse la sarta de completación incluyendo tubería de producción y abandonarlo con cemento.	Saco fuera del hoyo sarta de cabillas con rotor	25/09/2003	25/09/2003	FBV-02	-	-	-	

3

CGC 0313									
CGC 0314									
CGC 0315	22/08/2007	En el servicio realizado el 16/08/2007 se le eemplazó la bomba al pozo, sin embargo al momento de arrancarlo se observó que la presión de fondo disminuyó drásticamente de 1000 lpc a 480 lpc en menos de 20 horas operando a 50 rpm sin flujo en superficie, por lo que se propone dejar el pozo punto libre para intervención con la unidad de coiled tubing.	Dejó Punta Libre para intervención con Coiled Tubing	08/04/2008	10/04/2008	Evertson-06	-	-	-
CGC 0316	14/07/2005	El pozo CGC 0316 se detuvo el 14/07/2005, el mismo venía presentando baja eficiencia de la bomba de acuerdo a lo registrado en las tres últimas pruebas realizadas (47,7 a 19,7 %)	Cambio de bomba (durante el trabajo se encontró trozos de elastomero y desgaste del insulation niple)	28/09/2005	30/09/2005	Evertson-06		National 98-1580	6,16
CGC 0317									
CGC 0318	21/12/2006	Posible bomba dañada	Cambio de bomba	04/07/2007	05/07/2007	Evertson-06	37	National 98-1580	6,16
CGC 0319	23/12/2000	El pozo CGC 0319 se detuvo el 23/12/2000 debido a su baja productividad y se decidió prepararlo para abandono.	Saco fuera del hoyo tubería 5 1/2"	28/02/2005	01/03/2005	Evertson-06	-	-	-

A.4 Historial de los pozos pertenecientes a la Macolla N° 4

- *Primera Intervención de los pozos pertenecientes a la macolla N° 4*

MACOLLA	POZO	FECHA PARADA	DIAGNOSTICO	ACTIVIDAD	1era INTERVENCIÓN		EQUIPO	TIEMPO EQUIPO EN FONDO (Meses)	Modelo de Bomba	Desplazamiento nominal BCP (Bls/dia/rpm)
					INICIO	FIN				
4	CGC 0401									
	CGC 0402	11/03/2004	Bomba deficiente	Cambio de bomba	11/03/2008	14/03/2008	Evertson-06	28	National 98-1580	6,16
	CGC 0403	17/03/2008	Bomba deficiente	Cambio de bomba	17/03/2008	19/03/2008	Evertson-06	28	Weatherford 98-1600	6,16
	CGC 0404	13/01/2005	El pozo CGC 0404 se detuvo el 13 de Enero del 2005 debido a que presento bajo torque de 62 lbs-pie a 272 rpm, este pozo estaba operando con un torque de 386 lbs-pie a 320 rpm	Este pozo fue intervenido con el taladro Evertson-06 y se le retiró 127 cabillas de 25' y dos niples de cabilla de 2' y 1' respectivamente, el resto de la sarta de cabillas no pudo ser recuperada quedando un shear coupling de 50000 libras, cabilla de 25', un niple de cabilla de 8' y rotor. durante esta operación se observó severa corrosión en el cuello de la cabilla #80 (2038' aproximadamente) y se trató de correr dardo para asentararlo en el insulation niple sin exito.	15/01/2005	17/01/2005	Evertson-06	-	-	-
	CGC 0405									
	CGC 0406	14/10/2006	Bomba dañada	Cambio de bomba	25/07/2007	26/07/2007	Evertson-06	35,8	Weatherford 98-1600	6,16
	CGC 0407									
	CGC 0408	28/03/2006	Bomba dañada	Cambio de bomba	30/07/2007	01/08/2007	Evertson-06	36	Weatherford 98-1600	6,16
	CGC 0409									
	CGC 0410	28/04/2005	El pozo CGC 0410 se detuvo el 28 de Abril del 2005 debido a que presento bajo torque de 971 lbs/pie a 405 lbs/pie a 340 rpm	Cambio de bomba	30/04/2005	03/05/2005	Evertson-06	35	National 110-1600	6,9
	CGC 0411	02/02/2007	Posible bomba dañada	Cambio de bomba	23/07/2007	25/07/2007	Evertson-06	36	Weatherford 98-1600	6,16
	CGC 0412	11/10/2008	Posible bomba dañada	Cambio de bomba	15/10/2008	18/10/2008	Wilson-450	21	National 98-1580	6,16
	CGC 0413	15/09/2007	Posible bomba dañada	Cambio de bomba	28/09/2007	02/10/2007	Evertson-06	34	National 98-1580	6,16
	CGC 0414	19/08/2007	Posible bomba dañada	Cambio de bomba	18/02/2008	22/02/2008	Evertson-06	29	National 98-1580	6,16
	CGC 0415	30/03/2002		Debido al alto torque que presento el pozo al momento de intentar arrancarlo, se realizó un flushing desplazando fluido a través de la bomba para hacer una limpieza que disminuya el torque inicial del arranque	18/11/2002	19/11/2002	FBV-03	-	-	-
	CGC 0416	24/03/2005		Dejó pozo punta libre	28/03/2005	01/04/2005	Evertson-06	-	-	-
	CGC 0417	24/01/2002	Baja eficiencia de la bomba (40 %)	Circular el pozo con el equipo de flush by, posterior a este trabajo se obtuvo leve incremento de la eficiencia de la bomba (51,3 %)	24/01/2002	25/01/2002	FBV-02	-	-	-
	CGC 0418	07/06/2006	Posible bomba dañada	Cambio de bomba	27/07/2007	31/07/2007	Evertson-06	36	Weatherford 98-1600	6,16

A.5 Historial de los pozos pertenecientes a la Macolla N° 5

- Primera intervención de los pozos pertenecientes a la macolla N° 5

MACOLLA	POZO	FECHA PARADA	DIAGNOSTICO	ACTIVIDAD	1era INTERVENCIÓN		EQUIPO	TIEMPO EQUIPO EN FONDO (Meses)	Modelo de Bomba	Desplazamiento nominal BCP (Bls/dia/rpm)
					INICIO	FIN				
5	CHC 0501	14/09/2009	Possible bomba dañada	Cambio de bomba	17/09/2009	22/09/2009	Evertson-06	10	National 98-1580	6,16
	CHC 0502	18/07/2009	Bomba dañada	Cambio de bomba	23/07/2009	27/07/2009	Evertson-06	11	National 98-1580	6,16
	CHC 0503	12/07/2009	Bomba dañada	Cambio de bomba	27/07/2009	31/07/2009	Evertson-06	11	National 98-1580	6,16
	CHC 0504	03/01/2007	Durante la perforación del hoyo de 12.25" del Pozo CH 0505, fue colisionado el Pozo CH 0504 a una profundidad de 1510' MD. Un chequeo de flujo en el Pozo CH 0504 revelo que existia comunicación entre el Pozo CH 0505 y CH 0504, se habia perforado un hueco en el casing de 9-5/8" del Pozo CH 0504. Posteriormente fue corrido en el Pozo CH 0504 un casing patch en el intervalo 1496' - 1516'.	Se recuperó la sarta de cabilla y rotor para posterior intervención con el taladro Evertson-06	23/05/2007	23/05/2007	FBV-02	-	-	-
	CHC 0505	19/06/2004	El pozo presento alto torque (1345 lbs/pe) luego bajo torque de 350 lbs/pe, razón por la cual fue detenido.	Pesca de cabilla	24/06/2004	24/06/2004	FBV-03	-	-	-
	CHC 0507	02/02/2004		Cambio de bomba	03/02/2004	04/02/2004	Evertson-06	53,6	Weatherford 98-1580	6,16
	CHC 0508	14/07/2006	Possible bomba dañada	Cambio de bomba	27/07/2006	28/07/2006	Evertson-06	47,9	National 98-1580	6,16
	CHC 0509	14/04/2007	Possible bomba dañada	Recuperar sarta de cabillas y rotor, intento liberar rotor sin éxito	29/05/2007	29/05/2007	FBV-02	-	-	-
	CHC 0510	14/09/2004	El pozo CHC 0510 se encuentra parado desde el 14-09-2004 debido a su alta producción de gas, el cual estaba operando con un torque de 200 lbs-ft a 339 lbs-ft a una velocidad de 38 RPM.	Sacó completación. Se le bajó tubería de 5 1/2" con una pata de mula de 4 1/2" hasta 4920' MD	08/10/2004	11/10/2004	Evertson-06	-	-	-
	CHC 0511	03/11/2004	El pozo CHC 0511 esta activo trabajando con una velocidad de 75 rpm con un torque de 200 a 220 lbs-ft y una presión de cabezal de 44 psi	Se saco la sarta de cabillas	04/11/2004	04/11/2004	FBV-03	-	-	-
	CHC 0512									
	CHC 0513	06/09/2007	Possible bomba dañada	Cambio de bomba	26/09/2007	28/09/2007	Evertson-06	33,7	National 98-1580	6,16
	CHC 0514	25/03/2007	Bomba deficiente	Entro la unidad de flush by para recuperar sarta de cabillas sin éxito	28/05/2007	28/05/2007	FBV-02	-	-	-
	CHC 0515									
	CHC 0516	10/06/2003		El 25 de Septiembre se trabajó el pozo CHC 0516 con la unidad de flush by, realizando un trabajo de diagnóstico de falla, mientras se realizaba la prueba del sistema tubing-bomba se lleno el pozo y cuando se procedió a bombear para presurizar el pozo levantó 1000 lbs de presión y solo recibió 2 bls en 2 mn aproximadamente, se bombeó agua a través del casing para controlar el pozo, se repitió la operación a través del tubing, encontrándose el mismo resultado	25/09/2003	26/09/2003	FBV-02	-	-	-
	CHC 0517	15/01/2004	El 15-01-2004 el pozo CHC 0517 se detuvo debido a alto torque (1500 lbs-ft). Se reinició pero el torque no sobrepaso 80 lbs-ft	Pescó cabilla	17/01/2004	18/01/2004	FBV-03	-	-	-
CHC 0518	10/01/2004	Actualmente el pozo se encuentra operando. Será puesto fuera de servicio 1 dia antes de iniciar el trabajo de reemplazo de bomba	Cambio de bomba	26/01/2004	28/01/2004	Evertson-06	31,3	Weatherford 98-1580	6,16	

• Segunda intervención de los pozos pertenecientes a la macolla N° 5

MACOLLA	POZO	FECHA PARADA	DIAGNOSTICO	ACTIVIDAD	2da INTERVENCIÓN		EQUIPO	TIEMPO EQUIPO EN FONDO (Meses)	Modelo de Bomba	Desplazamiento nominal (Bls/día/rpm)	
					INICIO	FIN					
5	CHC 0501										
	CHC 0502										
	CHC 0503										
	CHC 0504	03/01/2007		Se interviene el Pozo con el objetivo de reemplazar completación BCP, durante la ejecución del trabajo se sacó pernos de seguridad del colgador, instaló niple de maniobra y tensionó tubería para sacar colgador sin éxito, tubería atascada. Trabajó sarta de tubería tensionando hasta 110 KLBS, 60 KLBS de Overpull. Llenó casing con 15 Bls y la presión incrementó hasta 800 Psi, desahogó presión y continuó trabajando tubería sin éxito. Intentó rotar sarta de tubing con resultados negativos. se decide diferir el pozo.		19/07/2007	19/07/2007	Evertson-06	-	-	-
	CHC 0505	19/06/2004	El pozo presento alto torque (1345 lbs/pie) luego bajo torque de 350 lbs/pie, razón por la cual fue detenido.	Cambio de bomba		25/06/2004	28/06/2004	Evertson-06	50,7	Weatherford 98-1580	6,16
	CHC 0507	24/05/2008	Possible bomba dañada	Cambio de bomba		29/06/2008	01/07/2008	Evertson-06	24,4	Weatherford 98-1600	6,16
	CHC 0508	25/09/2009	El 25/09/2009 se realizo la parada del pozo CHC 0508 debido a que no estaba aportando crudo por el toma muestra, el pozo se encontraba operando con un torque promedio de 770 lbs-ft y a partir del 21-09-2009 disminuyo a un torque de 300 lbs-ft por lo que se presume cabilla suelta.	Se realizó cambio de bomba debido a que se encontró rotor partido y elastomero desprendido		29/09/2009	02/10/2009	Evertson-06	9,166667	National 98-1580	6,16
	CHC 0509	14/04/2007	Possible bomba dañada	Cambio de bomba		20/06/2007	21/06/2007	Evertson-06	37,0	National 98-1580	6,16
	CHC 0510	14/09/2004		Realizo limpieza con la unidad de coiled tubing. El pozo fue tratado con la unidad de coiled tubing concentrico en modo Sand Vac/ Well Vac para la recuperación de arena y del tratamiento de nafta-gasoil que fue bombeado al pozo para su estimulación		18/10/2004	22/10/2004	BJ	-	-	-
	CHC 0511	03/11/2004		Se retiro la completación del pozo CHC 0511. Bajó tubería 5 1/2" con pata e mula a 3761'		05/11/2004	06/11/2004	Evertson-06	-	-	-
	CHC 0512										
	CHC 0513										
	CHC 0514	25/03/2007	Bomba deficiente	Cambio de bomba		13/06/2007	18/06/2007	Evertson-06	37,1	National 98-1580	6,16
	CHC 0515										
	CHC 0516	10/06/2003		Cambio de bomba		13/10/2003	16/10/2003	Evertson-06	48,0	Weatherford 98-1580	6,16
	CHC 0517	15/01/2004	El 15-01-2004 el pozo CHC 0517 se detuvo debido a alto torque (1500 lbs-ft). Se reinició pero el torque no sobrepaso 80 lbs-ft	Cambio de bomba		20/01/2004	22/01/2004	Evertson-06	39,7	Weatherford 98-1580	6,16
CHC 0518	26/07/2006	El pozo CHC 0518 se paro el 26-07-2006 por alto torque (1400 lbs-ft). Se abrio el toma muestra y se corrobora que el pozo no producía. Por lo tanto se presume bomba dañada	Cambio de bomba		23/08/2006	24/08/2006	Evertson-06	47,0	National 98-1580	6,16	

A.6 Historial de los pozos pertenecientes a la Macolla N° 6

- *Primera Intervención de los pozos pertenecientes a la macolla N° 6*

N°	MACOLLA	POZO	FECHA PARADA	DIAGNOSTICO	ACTIVIDAD	1era INTERVENCIÓN		EQUIPO	TIEMPO EQUIPO EN FONDO (Meses)	Modelo de Bomba	Desplazamiento nominal BCP (Bls/dia/rpm)
						INICIO	FIN				
1	6	CHC 0601	13/11/2004	El pozo CHC 0601 se detuvo el 13-11-2004 debido a que presentó alto torque de 971 lbs-ft y luego bajó a 350 lbs-ft aproximadamente a 350 rpm e igualmente la presión de fondo aumentó de 782 psi a 837 psi.	Cambio de bomba	16/11/2004	19/11/2004	Evertson-06	43,2	National 98-1580	6,16
2		CHC 0602									
3		CHC 0603	03/02/2006	El pozo CHC 0603 se paró el 03-02-2006 debido a que el mismo traía un torque promedio de 658 lbs-ft a 390 rpm y bajo a 341 lbs-ft hasta llegar a 0 lbs-ft, adicionalmente el pozo no producía en superficie	Se sacó la sarta de cabillas con trozos de elastomero y adicionalmente el rotor salió rayado por uno de sus lados	14/02/2006	15/02/2006	FBV-02	-	National 98-1580	-
4		CHC 0604	20/08/2005	El pozo CHC 0604 se detuvo el 20-08-2005 debido a que presentó alto torque de 1403 lbs-ft a 50 rpm. Este pozo venía operando con un torque promedio de 469 lbs-ft	Cambio de bomba	12/09/2005	16/09/2005	Evertson-06	58,7	National 98-1580	6,16
5		CHC 0605	08/06/2006	El pozo CHC 0605 se paró el 08-06-2006 por bajo torque. Este pozo se encontraba operando con un torque promedio de 728 lbs-ft a 440 rpm, bajó a 549 lbs-ft y luego se incrementó a 893 lbs-ft y bajo nuevamente hasta 0 lbs-ft	Cambio de bomba	19/07/2006	22/07/2006	Evertson-06	38,5	National 98-1580	6,16
6		CHC 0606	15/07/2006	El pozo CHC 0606 se encontraba operando con un torque promedio de 662 lbs-ft a 440 rpm. Luego de la parada de emergencia realizada el 15-07-2006 se intentó arrancar el pozo a 50 rpm y presentó torques de 980 a 1533 lbs-ft.	Cambio de bomba	15/08/2006	16/08/2006	Evertson-06	28,2	National 165-1800	10,3
7		CHC 0607									
8		CHC 0608	03/08/2004	El 03-08-2004 el pozo CHC 0608 presentó alto torque 1502 lbs-ft, se reinició dos veces observándose la misma falla, razón por la cual fue detenido	Cambio de bomba	05/08/2004	08/08/2004	Evertson-06 FBV-14	72,2	National 98-1580	6,16
9		CHC 0609	24/03/2008	El pozo CHC 0609 se encuentra activo, se realizará mantenimiento preventivo para cambio de bomba, debido a que la misma tiene una eficiencia de 61 % y una vida útil de 7 años	Cambio de bomba	24/03/2008	26/03/2008	Evertson-06	28,0	National 98-1580	6,16
10		CHC 0610	20/07/2007	El pozo CHC 0610 se detuvo el 20-07-2007 reportándose el pozo sin producción en superficie, para el momento el pozo presentó 337 lbs-ft de torque con 100 lbs de presión en el casing, 71 amp, esto permitió descartar rotura de cabillas ya que el valor era cercano al promedio del pozo en la vida útil (440 lbs-ft), se presume bomba dañada	Cambio de bomba	02/08/2007	03/08/2007	Evertson-06	35,8	Weatherford 98-1600	6,16

10	CHC 0610										
11	CHC 0611										
12	CHC 0612	12/09/2005	El 12-09-2005 se detuvo el pozo CHC 0612 debido a que presentó bajo torque de 85 lbs-ft a 444 rpm. Este pozo venía operando con un torque promedio de 982 lbs-ft a 445 rpm	Pesca de cabilla	20/09/2005	21/09/2005	Evertson-06	-	-	-	
13	CHC 0613	24/06/2008	El pozo CHC 0613 se detuvo el 24-06-2008 por presentar alto torque	Cambio de bomba	25/06/2008	28/06/2008	Evertson-06	24,8	National 98-1580	6,16	
14	CHC 0614										
15	CHC 0615										
16	CHC 0616										
17	CHC 0617	14/11/2002	Bomba dañada	Cambio de bomba	26/11/2002	30/11/2002	Evertson-06	20,8	Weatherford 130-1600	8,2	
18	CHC 0618			En Abril del 2001 el taladro es ingresado al pozo para sacar toda la completación, se reemplazó la tubería y cabillas dañadas y se bajó una nueva completación, esta vez con centralizadores y se coloca nuevamente en producción		17/04/2001	-	-	7,1	Weatherford 130-1600	8,2
19	CHC 0619										
20	CHC 0620										
21	CHC 0621										

6

• Tercera intervención de los pozos pertenecientes a la macolla N° 6

N°	MACOLLA	POZO	FECHA PARADA	DIAGNOSTICO	ACTIVIDAD	3era INTERVENCIÓN		EQUIPO	TIEMP EQUIPO EN FONDO (Meses)	Modelo de Bomba	Desplazamiento nominal (Bls/dia/rpm)
						INICIO	FIN				
1	6	CHC 0601									
2		CHC 0602									
3		CHC 0603									
4		CHC 0604									
5		CHC 0605									
6		CHC 0606									
7		CHC 0607									
8		CHC 0608									
9		CHC 0609									
10		CHC 0610									
11		CHC 0611									
12		CHC 0612	13/11/2007	Durante la intervención realizada el 15-11-2007 se encontró rotor partido	Cambio de bomba	08/12/2007	11/12/2007	Evertson-06	31,5	National 98-1580	6,16
13		CHC 0613									
14		CHC 0614									
15		CHC 0615									
16		CHC 0616									
17		CHC 0617		El pozo CHC 0617 actualmente se encuentra produciendo a 211 rpm con un torque de 1220 lbs-ft. Sin embargo, será detenido para realizar un reemplazo de la bomba 130-1600 por una 98-1600, debido a que su producción se encuentra limitada por altos valores de torque que presenta con la bomba actual (1200 lbs-ft a 200 rpm)	Cambio de bomba	12/08/2004	14/08/2004	Evertson-06	23,7	Weatherford 98-1600	6,16
18		CHC 0618			Se dejó punta libre	12/11/2001	15/11/2001	Evertson-06	-	-	-

7

CHC 0711	18/09/2005	En su vida productiva el pozo se caracteriza por poseer aporte menor o igual a 200 BNPD (bajo aporte relativo a comportamiento de pozos del área) y alto GOR (mayor a 649 PCVBNPD). La última presión de fondo registrada se ubica en 830 PSI. Se recomienda operar a baja velocidad. El pozo se detuvo el 18/09/2005, el diagnóstico de la antigua operadora es bomba dañada.	Cambio de bomba (el tubo de 5 1/2' que esta por encima del estator salió roto por corrosión).	31/08/2007	04/09/2007	Evertson-06	34,766667	Weatherford 98-1580	6,16	
CHC 0712		El pozo CH0712 presento alto torque al momento de intentar arrancarlo.	Intervención del pozo con unidad flush by para desplazar fluido a través de la bomba y hacer una limpieza que disminuya el torque inicial de arranque.	19/11/2002	19/11/2002	FBV-03	-	-	-	
CHC 0713										
CHC 0714	18/02/2005	El pozo CH0714 se detuvo debido a que presentó un incremento de torque de 981 a 1144 lbs/pie. Se presume bomba dañada.	Cambio de bomba. (Al bajar la sarta de cabillas se reemplazaron 10 cuellos que presentaron desgaste por corrosión y una cabilla por pin dañado).	01/03/2005	04/03/2005	Evertson-06		Weatherford 98-1580	6,16	
CHC 038	02/01/2005	El pozo CH0738 se detuvo debido a que presento alto torque de 1512 lbs/pie a 445 RPM, se le abrió el toma muestra y no se observó la presencia de crudo. Este pozo estaba trabajando con un torque de 1124 lbs/pie de promedio a 445 RPM.	Pesca de cabilla. Se sacó sarta de cabillas y rotor. Se colocó flange ciego 3 1/8".	05/01/2005	06/01/2005	FBV-03	-	-	-	
CHC 039	20/02/2005	El pozo CH039 se detuvo debido a que presento incremento de gas en la producción.	Sacar sarta de cabillas y tubería de producción del pozo, correr tubería 5 1/2' con pata e' mula hasta colgador. Se acondicionó para posterior trabajo de coiled tubing.	08/03/2005	10/03/2005	Evertson-06	-	-	-	
CHC 040	20/06/2004	El 20/06/2004 el pozo CH0740 se detuvo por presentar alto torque de 1146 lbs/pie. Se presume bomba dañada.	Cambio de bomba. (En el tubo perforado se observaron pedazos de elastómero)	22/06/2004	25/06/2004	Evertson-06	73,633333	Weatherford 98-1580	6,16	
CHC 041	01/11/2001	El pozo CH041 se detuvo para la fecha 01/11/2001.	Intervención con flush by. Se sacó sarta de cabillas y rotor. (El rotor salió en buenas condiciones con partículas de arena).	01/12/2001	01/12/2001	FBV-03	-	-	-	

7

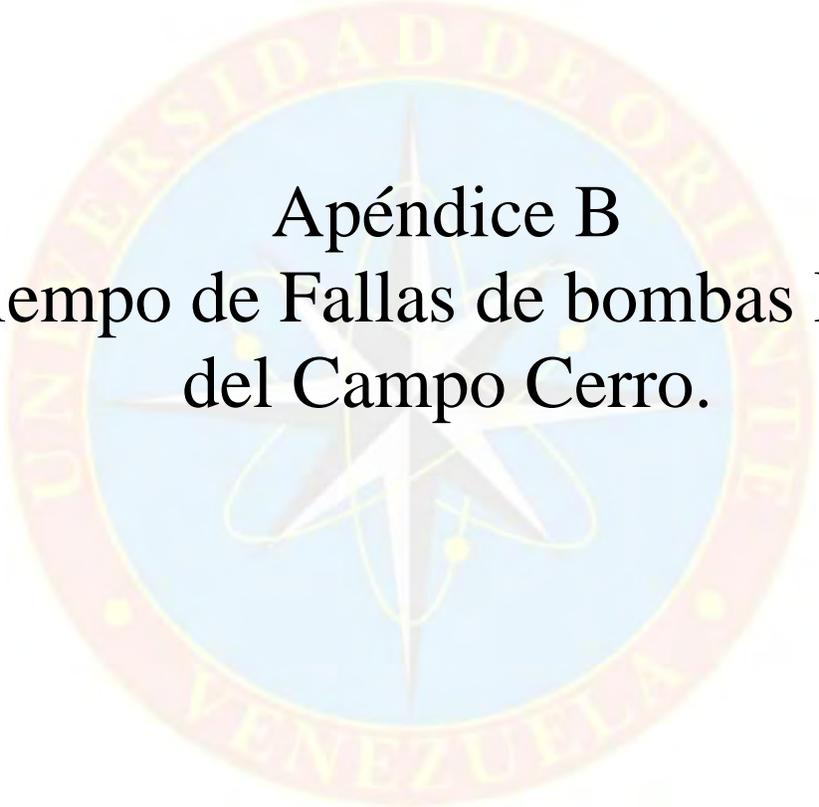
10	CHC 0710									
11	CHC 0711									
12	CHC 0712	12/05/2006	El pozo CH0712 se detuvo por no presentar producción a nivel de cabezal, se presume bomba dañada. Pozo operaba a velocidad controlada a 80 RPM por poseer bajo aporte, la última presión de sensor leída 830 PSI.	Cambio de bomba (Al sacar la bomba se observó que el elastómero se encontraba desgarrado).	29/08/2007	30/08/2007	Evertson-06	34,933333	Weatherford 98- 1580	6,16
13	CHC 0713									
14	CHC 0714	07/03/2005	El pozo CH0714 se detuvo el 07/03/2005 debido a que presento un incremento de torque de 1421 lbs/pie a 50 RPM. El pozo habia sido intervenido el 01/03/2005 para reemplazo de bomba.	Se sacó completación y se bajó tubería 5 1/2" con pata e' mula para posterior trabajo de coiled tubing. (En el tubo perforado y en el niple de paro se encontraron restos considerables de arena y elastómero).	10/03/2005	12/03/2005	Evertson-06	-	National 98- 1580	-
15	CHC 038		El pozo presentó alto torque por lo que fue intervenido por la unidad flush by encontrandose cabillas sueltas, se intento bajar el rotor dentro del estator sin éxito, se decidio sacar la sarta de cabillas, instalar BPV y esperar intervención del taladro Evertson-06.	Cambio de bomba	08/01/2005	10/01/2005	Evertson-06	67	National 98- 1580	6,16
16	CHC 039	-	-	Se sacó tubería 5 1/2" hasta superficie y luego se bajó con pata e' mula hasta 3100'.	04/09/2007	06/09/2007	Evertson-06	-	-	-
17	CHC 040	-	-	Intervención con flush by. Se asentó sarta y se aseguró con flange ciego 5 1/8".	24/04/2009	24/04/2009	FBV-04	-	-	-
18	CHC 041		El 01/12/2001 se retiró sarta de cabillas observándose desgaste en las mismas y trazas de arena en el rotor.	Se sacó tubería de producción 5 1/2". Se bajó pata e' mula. (El tubo perforado salió aproximadamente 1 ft lleno de lodo con arena).	13/12/2001	13/12/2001	Evertson-06	-	-	-

11	CHC 0711									
12	CHC 0712									
13	CHC 0713									
14	CHC 0714									
15	CHC 038	-	-	Intervención con flush by, se asentó sarta de cabillas y se verificó entrada y salida del rotor en el estator con éxito, se aseguró el pozo con flange ciego 5 1/8".	24/04/2009	24/04/2009	FBV-03	-	-	-
16	CHC 039									
17	CHC 040	-	-	Se realizó espaciamento del rotor. (No se pudo realizar el trabajo debido a que existe la posibilidad de desprendimiento de elastómero. Se sacó una cabilla y aseguro con la barra pulida y stuffing box).	02/10/2009	03/10/2009	Evertson-06	-	-	-
18	CHC 041	-	-	Se sacó tubería de 5 1/2". Se dejó preparado para el abandono.	04/03/2005	05/03/2005	Evertson-06	-	-	-

7

11	CGC 0814									
12	CGC 0815									
13	CGC 0816									
14	CGC 0817									
15	CGC 0818									
16	CGC 0819	-	El pozo fue intervenido por la unidad flush by el 24/01/2006 para observar el estado de la sarta de cabillas y rotor encontrando el rotor roto. Se recomienda cambio de bomba.	Cambio de bomba. (Se quito el flange ciego)	30/03/2006	05/04/2006	Evertson-06	5,0666667	National 98- 1580	6,16
17	CGC 0820									
18	CGC 0821									
19	CGC 0822		El pozo fue intervenido para cambio de bomba debido a que el pozo no producía en superficie y se encontró hoyo en la tubería a 3060' aproximadamente.	Se bajó sarta de cabillas	18/09/2006	19/09/2006	Evertson-06	-	-	-
20	CGC 0823									
21	CGC 0824									
22	CGC 0825	01/02/2007	El pozo se detuvo debido a que presento alto torque de 1400 lbs/pie a 100 RPM, este venia operando con un torque promedio de 820 lbs/pie a 100 RPM. Se presume cabilla suelta	Levantar sarta de cabillas y desplazar con agua por el tubing.	31/05/2007	01/06/2007	FBV-02	-	-	-
23	CGC 0827									
24	CGC 0828									
25	CGC 0829									
26	CGC 0830									
27	CGC 0831		Se recomienda sacar sarta de completación para chequear integridad del equipo de fondo.	Sacó completación BCP (Al sacar la sarta de cabillas y rotor se observó pérdida de cromo a 12 ft de la cola del rotor, también se observó abundante porosidad en el mismo. La sarta de tubería se encontraba atascada por arenamiento y al lograr liberarla en el estator se encontraron pedazos de elastómero y arena en su interior, además de observarse cierto hinchamiento del elastómero en la descarga del estator. El tubo perforado salió lleno de arena). Se limpió relleno hasta 3915'. Suspendió trabajo por posible colapso de casing de 9-5/8"	10/12/2008	26/12/2008	Evertson-06	-	-	-
28	CGC 0832									
29	CGC 0833									

8



Apéndice B
Tiempo de Fallas de bombas BCP
del Campo Cerro.

B.1. Tiempo y modos de fallas de bombas BCP en pozos de la macolla N°1

Pozo	Fecha de Parada del pozo	Fecha de intervención con taladro	Tiempo promedio para las fallas (TPPF)	Tiempo para la reparación (TPR)	Evento	Observaciones (Modo de Falla)
CGC 0101		17/02/1999			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	3605	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		3778		Fecha final de estudio	
CGC0102		19/02/1999			Completación	
	11/11/2005	25/06/2007	2457	591	Cambio de Bomba	Desprendimiento del Elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	555	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		728		Fecha Final de Estudio	
CGC0103		21/02/1999			Completación	
	13/07/2008	16/07/2008	3430	3	Reemplazo de la Bomba	Baja Eficiencia de la Bomba
	31/12/2008	11/07/2009	168	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		341		Fecha Final de Estudio	
CGC0104		24/02/1999			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	3598	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		3771		Fecha Final de Estudio	
CGC 0105		25/02/1999			Completación	
	09/11/2008	13/11/2008	3545	4	Reemplazo de la Bomba	desprendimiento del elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	48	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		221		Fecha Final de Estudio	
CGC 0106		27/02/1999			Completación	
	10/12/2001	24/01/2002	1017	45	Pesca de Cabillas	Cabilla suelta
	12/12/2006	06/02/2008	1783	421	Reemplazo de la Bomba	Desprendimiento del Elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	329	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		502		Fecha Final de Estudio	
CGC 0107		01/03/1999			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	3593	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		3766		Fecha Final de Estudio	

CGC 0108		02/03/1999			Completación	
	09/02/2005	14/02/2008	2171	1100	Reemplazo de la Bomba	Baja Eficiencia de la Bomba
	31/12/2008	11/07/2009	321	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		494		Fecha final de Estudio	
CGC 0109		06/04/1999			Completación	
	30/01/2001	05/02/2001	665	6	Reemplazo de la Bomba	Rotor Partido
	31/12/2008	11/07/2009	2886	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		3059		Fecha final de Estudio	
CGC 0110		03/06/1999			Completación	
	07/07/2005	12/02/2008	2226	950	Reemplazo de la Bomba	Baja Eficiencia de la Bomba
	31/12/2008	11/07/2009	323	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		496		Fecha final de Estudio	
CGC 0111		02/06/1999			Completación	
	07/09/2008	12/09/2008	3385	5	Reemplazo de la Bomba	Baja Eficiencia de la Bomba
	31/12/2008	11/07/2009	110	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		283		Fecha final de Estudio	
CGC 0113		01/06/1999			Completación	
	24/11/2007	01/02/2008	3098	69	Reemplazo de la Bomba	Desprendimiento del Elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	334	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		507		Fecha final de Estudio	
CGC 0114		30/05/1999			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	3503	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		3676		Fecha final de Estudio	
CGC 0115		29/05/1999			Completación	
	20/05/2004	24/05/2004	1818	4	Reemplazo de la Bomba	Hinchamiento del Elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	1682	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1855		Fecha final de Estudio	
CGC 0116		28/05/1999			Completación	
	26/04/2005	30/04/2005	2160	4	Reemplazo de la Bomba	NO aparece
	27/10/2007	29/01/2008	910	94	Reemplazo de la Bomba	Hinchamiento del Elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	337	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		510		Fecha final de Estudio	
CGC 0117		27/05/1999			Completación	
	15/06/2008	17/06/2008	3307	2	Reemplazo de la Bomba	Baja Eficiencia de la Bomba
	31/12/2008	11/07/2009	197	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		370		Fecha final de Estudio	

B.2. Tiempo y modos de Fallas de bombas BCP en pozos de la macolla N° 2

Pozo	Fecha de inicio	Fecha Fin	TEE	TPR	Evento	Observaciones (Causa de Falla)
CHC 0201		36195			Completación	
	26/08/2006	39317	2760	362	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del Elastómero
	31/12/2008	40005	496	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		669		Fecha Final de Estudio	
CHC 0202		36198			Completación	
	20/10/2004	38296	2082	16	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del Elastómero
	39813	40005	1517	192	Recorte OPEP	
	40178		1690		Fecha Final de Estudio	
CHC 0203		36201			Completación	No presentó Falla
	31/12/2008	40005	3612	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		3785		Fecha Final de Estudio	
CHC 0204		36203			Completación	
	06/11/2007	39703	3189	311	Pozo Arenado	Pozo Arenado
	31/12/2008	40005	110	192	Recorte OPEP	
	40178		283		Fecha Final de Estudio	
CHC 0205		36205			Completación	
	22/07/2004	38195	1985	5	Pozo Arenado (punta libre)	Pozo Arenado
	01/08/2004	38206	5	6	Pozo Arenado	Pozo Arenado
	38234	39706	28	1472	Pozo Arenado	Pozo Arenado
	39813	40005	107	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		280		Fecha Final de Estudio	
CHC 0206		36284			Completación	
	30/01/2007	39316	2828	204	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del Elastómero
	39813	40005	497	192	Recorte OPEP	
	40178		670		Fecha Final de Estudio	
CHC 0207		36285			Completación	
	38497	38744	2212	247	Reemplazo de la bomba	Baja Eficiencia de la Bomba
	39813	40005	1069	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1242		Fecha Final de Estudio	
CHC 0208		36295			Completación	
	38082	38087	1787	5	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del Elastómero
	39813	40005	1726	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1899		Fecha Final de Estudio	
CHC 0209		36296			Completación	
	37304	37351	1008	47	Reemplazo de la bomba ojo	Desprendimiento del Elastómero
	39778	39783	2427	5	Reemplazo de la bomba	Rotor Partido
	31/12/2008	40005	30	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		203		Fecha Final de Estudio	

CHC 0210		18/05/1999			Completación	
	14/03/2006	27/08/2007	2492	531	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del Elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	492	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		665		Fecha Final de Estudio	
CHC 0211		19/05/1999			Completación	
	10/05/2004	14/05/2004	1818	4	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del Elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	1692	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1865		Fecha Final de Estudio	
CHC 0212		21/05/1999			Completación	
	20/09/2008	24/09/2008	3410	4	Reemplazo de la bomba	Bomba Deficiente instalaron bomba de bajo caudal
	31/12/2008	11/07/2009	98	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		271		Fecha Final de Estudio	
CHC 0213		22/05/1999			Completación	
	27/10/2004	31/10/2004	1985	4	Pesca de Cabillas	Cabilla rota o suelta
	31/12/2008	11/07/2009	1522	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1695		Fecha Final de Estudio	
CHC 0214		23/05/1999			Completación	
	15/07/2008	18/07/2008	3341	3	Reemplazo de la bomba	Bomba Deficiente
	31/12/2008	11/07/2009	166	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		339		Fecha Final de Estudio	
CHC 0215		06/03/1999			Completación	
	15/01/2004	21/02/2004	1776	37	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	1775	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1948		Fecha Final de Estudio	
CHC 0216		05/03/1999			Completación	
	17/11/2005	08/05/2006	2449	172	Reemplazo de la bomba	Elastómero hinchado
	01/04/2008	03/04/2008	694	2	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	272	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		445		Fecha Final de Estudio	
CHC 0217		04/03/1999			Completación	
	20/06/2008	25/06/2008	3396	5	Reemplazo de la bomba	Baja Eficiencia de la Bomba
	31/12/2008	11/07/2009	189	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		362		Fecha Final de Estudio	
CHC 0218		07/05/1999			Completación	
	29/09/2007	04/10/2007	3067	5	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	454	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		627		Fecha Final de Estudio	
CHC 0219		14/05/1999			Completación	
	11/12/2006	29/08/2007	2768	261	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	490	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		663		Fecha Final de Estudio	

B.3. Tiempo y modos de Fallas de bombas BCP en pozos de la macolla N° 3

Pozo	Fecha de inicio	Fecha Fin	TEE	TPR	Evento	Observaciones (Modo de Falla)
CGC 0301		24/01/2000			Completación	
	24/10/2005	28/06/2007	2100	612	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del elastómero
	03/04/2008	29/08/2008	280	148	Limpieza de pozo arenado	pozo arenado
	31/12/2008	11/07/2009	124	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		297	Fecha Final de Estudio		
CGC 0302		20/01/2000			Completación	
	08/09/2001	01/11/2001	597	54	Reemplazo de la bomba	Hinchamiento del elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	2617	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		2790		Fecha Final de Estudio	
CGC 0303		13/01/2000			Completación	
	21/12/2005	03/07/2007	2169	559	Reemplazo de la bomba	Rotor partido
	31/12/2008	11/07/2009	547	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		720		Fecha Final de Estudio	
CGC 0304		12/01/2000			Completación	
	18/02/2004	09/03/2004	1498	20	Reemplazo de la bomba	Desgaste del rotor
	07/08/2005	04/10/2005	516	58	Reemplazo de la bomba	Rotor partido
	31/12/2008	11/07/2009	1184	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1357		Fecha Final de Estudio	
CGC 0305		11/01/2000			Completación	
	16/06/2003	02/07/2004	1252	382	Limpieza de pozo arenado	Pozo arenado
	13/03/2006	31/05/2007	619	444	Saco Sarta de Cabillas y Rotor	
	31/12/2008	11/07/2009	580	192	Recorte OPEP	
	14/07/2009	29/09/2009	3	77	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del elastómero
	31/12/2009		96		Fecha Final de Estudio	
CGC 0306		07/01/2000			Completación	
	09/02/2001	14/02/2001	399	5	Reemplazo de la bomba	Hinchamiento del elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	2877	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		3050		Fecha Final de Estudio	
CGC 0307		12/01/2000			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	3276	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		3449		Fecha Final de Estudio	
CGC 0308		05/01/2000			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	3283	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		3456		Fecha Final de Estudio	
CGC 0309		04/01/2000			Completación	
	07/12/2004	12/12/2004	1799	5	Reemplazo de la bomba	Baja Eficiencia de la Bomba
	17/02/2005	18/08/2008	67	1278	Pozo Arenado	Pozo arenado
	31/12/2008	11/07/2009	135	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		308		Fecha Final de Estudio	

CGC 0310		31/12/1999			Completación	
	14/10/2005	02/07/2007	2114	626	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del elastómero
	07/09/2007	25/09/2007	67	18	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	463	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		636		Fecha Final de Estudio	
CGC 0311		29/12/1999			Completación	
	12/11/2001	12/12/2001	684	30	Reemplazo de la bomba	Hinchamiento del elastómero
	13/10/2003	24/10/2003	670	11	Reemplazo de la bomba	Hinchamiento del elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	1895	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		2068		Fecha Final de Estudio	
CGC 0312		28/10/1999			Completación	
	30/03/2006	14/08/2007	2345	502	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del Elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	505	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		678		Fecha Final de Estudio	
CGC 0313		23/12/1999			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	3296	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		3469		Fecha Final de Estudio	
CGC 0314		21/12/1999			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	3298	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		3471		Fecha Final de Estudio	
CGC 0315		17/12/1999			Completación	
	03/04/2006	20/08/2007	2299	879	Reemplazo de la bomba	Baja Eficiencia de la Bomba
	22/08/2007	29/08/2008	2	192	Pozo Arenado	
	31/12/2008	11/07/2009	124		Recorte OPEP	
	31/12/2009		297		Fecha Final de Estudio	
CGC 0316		14/12/1999			Completación	
	10/10/2001	08/11/2001	666	29	Espaciamiento con 1 Pony Rod	
	14/07/2005	30/09/2005	1344	78	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del Elastómero
	06/10/2005	29/08/2006	6	327	Prueba de Tubería	
	31/12/2008	11/07/2009	855	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1028		Fecha Final de Estudio	
CGC 0317		09/12/1999			Completación	
	24/08/2005	16/08/2007	2085	722	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del Elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	503	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		676		Fecha Final de Estudio	
CGC 0318		07/12/1999			Completación	
	05/10/2004	07/10/2004	1764	2	Reemplazo de la bomba	Baja Eficiencia de la Bomba ojo
	21/12/2006	05/07/2007	805	196	Reemplazo de la bomba	Baja Eficiencia de la Bomba ojo
	31/12/2008	11/07/2009	545	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		718		Fecha Final de Estudio	
CGC 0319		25/01/2000			Completación	
	23/12/2000	01/03/2005	333	1529	Saco Sarta de Cabillas y Rotor	No presento Fallas
	19/03/2005	30/05/2008	18	1168	Intervención con Flush By y Coiled Tubing	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	215	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		388		Fecha Final de Estudio	

B.4. Tiempo y modo de Fallas de bombas BCP en pozos de la macolla

Nº 4

Pozo	Fecha de inicio	Fecha Fin	TEE	TPR	Evento	Observaciones (Modo de Falla)
CGC 0401		11/10/2001			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	2638	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		2811		Fecha Final de Estudio	
CGC 0402		09/10/2001			Completación	
	11/03/2004	14/03/2008	884	1464	Reemplazo de la bomba	Baja Eficiencia de la Bomba
	31/12/2008	11/07/2009	292	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		465		Fecha Final de Estudio	
CGC 0403		08/10/2001			Completación	
	17/03/2008	19/03/2008	2352	2	Reemplazo de la bomba	Baja Eficiencia de la Bomba
	31/12/2008	11/07/2009	287	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		460		Fecha Final de Estudio	
CGC 0404		22/10/2001			Completación	
	13/01/2005	31/01/2005	1179	18	Pesca de Cabillas	Cabillas sueltas
	31/03/2005	10/10/2008	59	1289	Pozo Arenado	Pozo Arenado
	31/12/2008	11/07/2009	82	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		255		Fecha Final de Estudio	
CGC 0405		04/10/2001			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	2645	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		2818		Fecha Final de Estudio	
CGC 0406		03/10/2001			Completación	
	14/10/2006	26/07/2007	1837	285	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento de elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	524	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		697		Fecha Final de Estudio	
CGC 0407		23/10/2001			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	2626	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		2799		Fecha Final de Estudio	
CGC 0408		27/09/2001			Completación	
	28/03/2006	01/08/2007	1643	491	Reemplazo de la bomba	Hinchamiento del elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	518	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		691		Fecha Final de Estudio	
CGC 0409		26/09/2001			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	2653	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		2826		Fecha Final de Estudio	

CGC 0410		24/09/2001			Completación	
	28/04/2005	03/05/2005	1312	5	Reemplazo de la bomba	Hinchamiento del elastómero
	20/03/2008	24/03/2008	1052	4	Reemplazo de la bomba	Baja eficiencia de la Bomba
	31/12/2008	11/07/2009	282	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		455		Fecha Final de Estudio	
CGC 0411		21/09/2001			Completación	
	02/02/2007	25/07/2007	1960	173	Reemplazo de la bomba	Hinchamiento del elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	525	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		698		Fecha Final de Estudio	
CGC 0412		20/09/2001			Completación	
	11/10/2008	18/10/2008	2578	7	Reemplazo de la bomba	Hinchamiento del elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	74	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		247		Fecha Final de Estudio	
CGC 0413		19/09/2001			Completación	
	15/09/2007	02/10/2007	2187	17	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento de elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	456	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		629		Fecha Final de Estudio	
CGC 0414		17/09/2001			Completación	
	19/08/2007	22/02/2008	2162	187	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	313	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		486		Fecha Final de Estudio	
CGC 0415		13/09/2001			Completación	
	30/03/2002	19/11/2002	198	234	Limpieza	
	14/03/2006	15/10/2008	1211	946	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	77	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		250		Fecha Final de Estudio	
CGC 0416		13/09/2001			Completación	
	24/03/2005	11/03/2008	1288	1083	Pozo Arenado	Pozo Arenado
	31/12/2008	11/07/2009	295	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		468		Fecha Final de Estudio	
CGC 0417		10/09/2001			Completación	
	24/01/2002	25/01/2002	136	1	Reemplazo de la bomba	Baja Eficiencia de Bomba
	23/11/2002	23/09/2003	302	304	Pozo Arenado	
	11/12/2003	01/10/2008	79	1756	Pozo Arenado	
	31/12/2008	11/07/2009	91	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		264		Fecha Final de Estudio	
CGC 0418		07/09/2001			Completación	
	07/06/2006	31/07/2007	1734	419	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	519	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		692		Fecha Final de Estudio	

B.5. Tiempo y modo de Fallas de bombas BCP en pozos de la macolla

Nº 5

Pozo	Fecha de inicio	Fecha Fin	TEE	TPR	Evento
CHC 0501		27/09/2000			Completación
	31/12/2008	11/07/2009	3017	192	Recorte OPEP
	14/09/2009	22/09/2009	65	8	Reemplazo de la bomba
	31/12/2009		165		Fecha Final de Estudio
CHC 0502		25/09/2000			Completación
	31/12/2008	11/07/2009	3019	192	Recorte OPEP
	18/07/2009	27/07/2009	7	9	Reemplazo de la bomba
	17/11/2009	24/11/2009	113	7	Reemplazo de la bomba
	31/12/2009		150		Fecha Final de Estudio
CHC 0503		24/09/2000			Completación
	31/12/2008	11/07/2009	3020	192	Recorte OPEP
	12/07/2009	31/07/2009	1	19	Reemplazo de la bomba
	31/12/2009		154		Fecha Final de Estudio
CHC 0504		30/09/2000			Completación
	03/01/2007	19/07/2007	2286	197	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	531	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		704		Fecha Final de Estudio
CHC 0505		23/09/2000			Completación
	19/06/2004	28/06/2004	1365	9	Pesca de cabillas y Cambio de Bomba
	19/08/2008	26/08/2008	1513	7	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	127	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		300		Fecha Final de Estudio
CHC 0507		21/09/2000			Completación
	02/02/2004	04/02/2004	1229	2	Reemplazo de la bomba
	24/05/2008	01/07/2008	1571	38	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	183	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		356		Fecha Final de Estudio
CHC 0508		20/09/2000			Completación
	14/07/2006	28/07/2006	2123	14	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	887	192	Recorte OPEP
	25/09/2009	02/10/2009	76	7	Reemplazo de la bomba
	31/12/2009		166		Fecha Final de Estudio
CHC 0509		18/09/2000			Completación
	14/04/2007	21/06/2007	2399	68	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	559	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		732		Fecha Final de Estudio
CHC 0510		16/09/2000			Completación
	14/09/2004	28/10/2004	1459	44	Limpieza del pozo
	13/11/2004	10/12/2004	16	27	Pueba de tubería
	23/02/2005	17/03/2005	75	22	Reemplazo de la bomba
	28/02/2008	04/03/2008	1078	5	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	302	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		475		Fecha Final de Estudio

CHC 0511		14/09/2000			Completación
	03/11/2004	15/11/2004	1511	12	Limpieza del pozo
	15/09/2008	18/09/2008	1400	3	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	104	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		277		Fecha Final de Estudio
CHC 0512		12/09/2000			Completación
	31/12/2008	11/07/2009	3032	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		3205		Fecha Final de Estudio
CHC 0513		10/09/2000			Completación
	06/09/2007	28/09/2007	2552	22	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	460	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		173		Fecha Final de Estudio
CHC 0514		08/09/2000			Completación
	25/03/2007	18/06/2007	2389	85	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	562	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		735		Fecha Final de Estudio
CHC 0515		06/09/2000			Completación
	31/12/2008	11/07/2009	3038	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		3211		Fecha Final de Estudio
CHC 0516		04/09/2000			Completación
	10/06/2003	16/10/2003	1009	128	Reemplazo de la bomba
	07/07/2007	26/09/2007	1360	81	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	462	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		635		Fecha Final de Estudio
CHC 0517		02/09/2000			Completación
	15/01/2004	22/01/2004	1230	7	Reemplazo de la bomba
	08/03/2007	26/04/2007	1141	49	Reemplazo de la bomba y pesca de cabilla
	06/08/2007	08/08/2007	102	2	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	511	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		684		Fecha Final de Estudio
CHC 0518		31/08/2000			Completación
	10/01/2004	28/01/2004	1227	18	Reemplazo de la bomba
	26/07/2006	24/08/2006	910	29	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	860	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		1033		Fecha Final de Estudio

B.6. Tiempo y modo de fallas de bombas BCP en pozos de la macolla

Nº 6

Pozo	Fecha de inicio	Fecha Fin	TEE	TPR	Evento
CHC 0601		24/10/2000			Completación
	13/11/2004	19/11/2004	1481	6	Reemplazo de la bomba
	06/06/2008	08/06/2008	1295	2	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	206	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		379		Fecha Final de Estudio
CHC 0602		26/10/2000			Completación
	31/12/2008	11/07/2009	2988	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		3161		Fecha Final de Estudio
CHC 0603		27/10/2000			Completación
	03/02/2006	27/04/2006	1925	83	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	979	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		1152		Fecha Final de Estudio
CHC 0604		29/10/2000			Completación
	20/08/2005	16/09/2005	1756	27	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	1202	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		1375		Fecha Final de Estudio
CHC 0605		30/10/2000			Completación
	08/06/2006	22/07/2006	2047	44	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	893	192	Recorte OPEP
	03/09/2009	17/09/2009	54	14	Reemplazo de la bomba
	03/11/2009	20/11/2009	47		Reemplazo de la bomba
	31/12/2009		88		Fecha Final de Estudio
CHC 0606		01/10/2000			Completación
	15/07/2006	16/08/2006	2113	32	Reemplazo de la bomba
	03/12/2008	10/12/2008	840	7	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	21	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		194		Fecha Final de Estudio
CHC 0607		02/11/2000			Completación
	31/12/2008	11/07/2009	2981	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		3154		Fecha Final de Estudio
CHC 0608		03/11/2000			Completación
	03/08/2004	08/08/2004	1369	5	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	1606	192	Recorte OPEP
	29/09/2009	05/10/2009	80	6	Reemplazo de la bomba
	31/12/2009		167		Fecha Final de Estudio
CHC 0609		05/11/2000			Completación
	24/03/2008	26/03/2008	2696	2	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	280	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		453		Fecha Final de Estudio
CHC 0610		06/11/2000			Completación
	20/07/2007	03/08/2007	2447	14	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	516	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		689		Fecha Final de Estudio

CHC 0611		08/11/2000			Completación
	18/07/2005	19/09/2005	1713	63	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	1199	192	Recorte OPEP
	16/10/2009	23/10/2009	97		Reemplazo de la bomba
	31/12/2009		166		Fecha Final de Estudio
CHC 0612		09/10/2000			Completación
	17/07/2004	23/07/2004	1377	6	Reemplazo de la bomba
	12/09/2005	21/09/2005	416	9	Pesca de cabillas
	13/11/2007	11/12/2007	783	28	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	386	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		559		Fecha Final de Estudio
CHC 0613		10/11/2000			Completación
	14/09/2005	23/09/2005	1769	9	Reemplazo de la bomba
	24/06/2008	28/06/2008	1005	4	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	186	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		359		Fecha Final de Estudio
CHC 0614		11/11/2000			Completación
	26/09/2004	30/09/2008	1415	1465	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	92	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		265		Fecha Final de Estudio
CHC 0615		13/11/2000			Completación
	10/06/2006	09/08/2006	2035	60	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	875	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		1048		Fecha Final de Estudio
CHC 0616		14/11/2000			Completación
	05/05/2008	09/05/2008	2729	4	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	236	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		409		Fecha Final de Estudio
CHC 0617		15/11/2000			Completación
	14/11/2002	30/11/2002	729	16	Reemplazo de la bomba
	11/08/2004	14/08/2004	620	3	Reemplazo de la bomba
	29/05/2006	25/07/2006	653	57	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	890	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		1063		Fecha Final de Estudio
CHC 0618		17/11/2000			Completación
	18/03/2001	17/04/2001	121	30	Reemplazo de la bomba
	11/05/2001	15/11/2001	24	188	Limpieza
	01/12/2002	18/12/2002	381	17	Reemplazo de la bomba
	18/11/2005	04/05/2006	1066	167	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	972	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		1145		Fecha Final de Estudio

B.7. Tiempo y modo de fallas de bombas BCP en pozos de la macolla

Nº 7

Pozo	Fecha de inicio	Fecha Fin	TEE	TPR	Evento
CHC 0701		09/03/2001			Completación
	15/02/2002	27/02/2002	343	12	Pesca de Cabilla
	29/06/2002	11/07/2002	122	12	Pesca de Cabilla
	20/06/2003	12/10/2003	344	114	Reemplazo de la bomba
	15/07/2006	07/08/2006	1007	23	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	877	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		1050		Fecha Final de Estudio
CHC 0702		06/03/2001			Completación
	26/11/2001	04/12/2001	265	8	Pesca de Cabilla
	08/02/2002	27/02/2002	66	19	Pesca de Cabilla
	09/12/2003	11/12/2003	650	2	Reemplazo de la bomba
	25/08/2004	30/08/2004	258	5	Reemplazo de la bomba
	09/12/2005	11/04/2006	466	123	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	995	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		1168		Fecha Final de Estudio
CHC 0703		05/03/2001			Completación
	31/12/2008	11/07/2009	2858	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		3031		Fecha Final de Estudio
CHC 0704		03/03/2001			Completación
	05/09/2002	14/09/2002	551	9	Reemplazo de la bomba
	02/12/2003	07/12/2003	444	5	Reemplazo de la bomba
	24/03/2006	16/04/2006	838	23	Reemplazo de la bomba
	04/03/2008	07/03/2008	688	3	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	299	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		472		Fecha Final de Estudio
CHC 0705		02/03/2001			Completación
	28/10/2005	20/04/2006	1701	174	Reemplazo de la bomba
	29/06/2006	03/08/2006	70	35	Reemplazo de la bomba
	25/08/2006	30/08/2006	22	5	Reespaciamiento del rotor
	31/12/2008	11/07/2009	854	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		1027		Fecha Final de Estudio
CHC 0706		01/03/2001			Completación
	14/06/2008	19/06/2008	2662	5	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	195	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		368		Fecha Final de Estudio
CHC 0707		29/10/2001			Completación
	09/01/2007	10/07/2007	1898	182	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	540	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		713		Fecha Final de Estudio
CHC 0708		27/02/2001			Completación
	21/10/2004	25/10/2004	1332	4	Reemplazo de la bomba
	06/08/2007	10/08/2007	509	4	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	173	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		682		Fecha Final de Estudio
CHC 0709		27/02/2001			Completación
	31/12/2008	11/07/2009	173	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		3037		Fecha Final de Estudio
CHC 0710		25/02/2001			Completación
	31/12/2008	11/07/2009	2866	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		3039		Fecha Final de Estudio

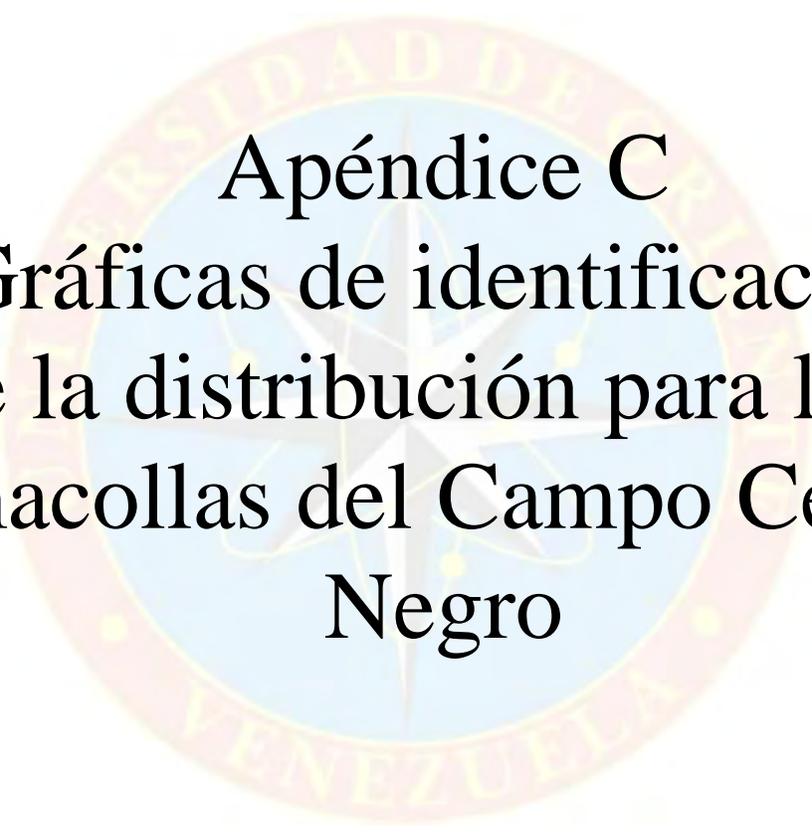
CHC 0711		24/02/2001			Completación
	18/09/2005	04/09/2007	1667	716	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	484	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		657		Fecha Final de Estudio
CHC 0712		23/02/2001			Completación
	29/07/2002	19/11/2002	521	113	Reemplazo de la bomba
	12/05/2006	30/08/2007	1270	475	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	489	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		662		Fecha Final de Estudio
CHC 0713		21/02/2001			Completación
	31/12/2008	11/07/2009	2870	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		3043		Fecha Final de Estudio
CHC 0714		20/02/2001			Completación
	18/02/2005	04/03/2005	1459	14	Reemplazo de la bomba
	07/03/2005	12/03/2005	3	5	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	1390	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		1563		Fecha Final de Estudio
CHC 0716		16/06/2009	198	0	Completación
	31/12/2009				Fecha Final de Estudio
CHC 0717		16/06/2009	198	0	Completación
	31/12/2009				Fecha Final de Estudio
CHC 0720		12/06/2009			Completación
	31/12/2009		202	0	Fecha Final de Estudio
CHC 0721		10/06/2009			Completación
	31/12/2009		204	0	Fecha Final de Estudio
CHC 0722		09/06/2009			Completación
	31/12/2009		205	0	Fecha Final de Estudio
CHC 038		22/03/2001			Completación
	02/01/2005	10/01/2005	1382	8	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	1451	192	Intervención con Flush By
	01/10/2009	02/10/2009	82	1	Recorte OPEP
	31/12/2009		172		Fecha Final de Estudio
CHC 039		20/03/2001			Completación
	20/02/2005	06/09/2007	1433	928	Trabajo con Coiled Tubing
	31/12/2008	11/07/2009	482	192	Recorte OPEP
	31/12/2009		655		Fecha Final de Estudio
CHC 040		17/03/2001			Completación
	20/06/2004	25/06/2004	1191	5	Reemplazo de la bomba
	31/12/2008	11/07/2009	1650	192	ojo
	01/10/2009	03/10/2009	82	2	Recorte OPEP
	31/12/2009		171		Fecha Final de Estudio

B.8. Tiempo y modo de fallas de bombas BCP en pozos de la macolla

Nº 8

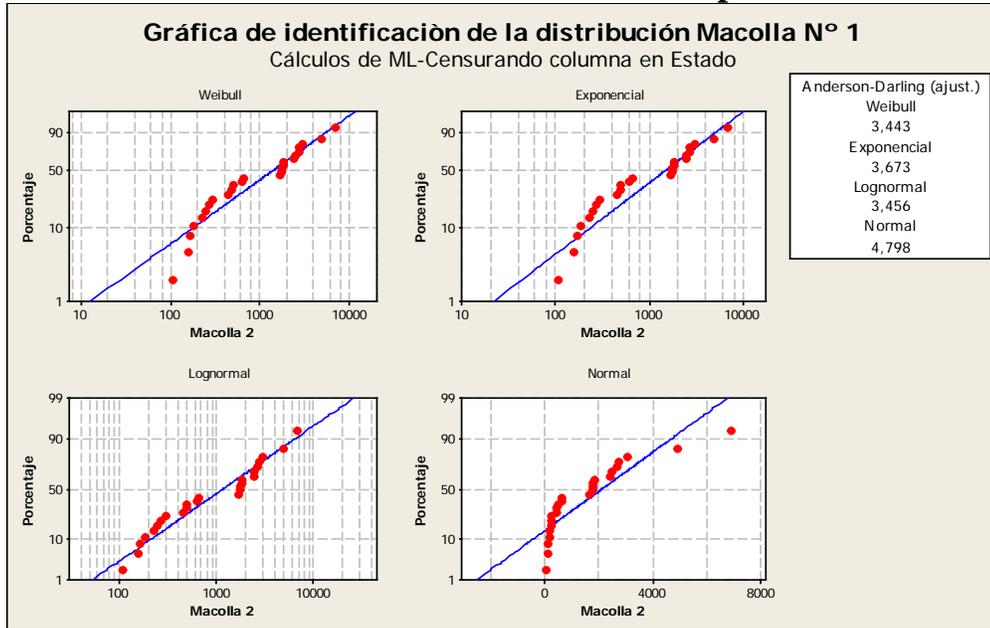
Pozo	Fecha de inicio	Fecha Fin	TEE	TPR	Evento	Observaciones (Causa de Falla)
CGC 0803		07/04/2005			Completación	
	13/02/2007	30/04/2007	677	76	Reemplazo de la bomba	Baja Eficiencia de la Bomba
	31/12/2008	11/07/2009	611	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		784		Fecha Final de Estudio	
CGC 0804		25/11/2004			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	1497	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1670		Fecha Final de Estudio	
CGC 0805		08/04/2005			Completación	
	23/05/2007	06/06/2007	775	14	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del Elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	574	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		747		Fecha Final de Estudio	
CGC 0806		27/11/2004			Completación	
	18/02/2008	28/03/2008	1178	39	Reemplazo de la bomba	Presencia de sedimentos
	31/12/2008	11/07/2009	278	192	Recorte OPEP	
	19/09/2009	25/09/2009	70	6	Reemplazo de la bomba	
	31/12/2009		167		Fecha Final de Estudio	
CGC 0807		12/04/2005			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	1359	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1532		Fecha Final de Estudio	
CGC 0808		28/11/2004			Completación	
	05/01/2008	24/01/2008	1133	19	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del Elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	342	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		515		Fecha Final de Estudio	
CGC 0809		22/04/2005			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	1349	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1522		Fecha Final de Estudio	
CGC 0810		30/11/2004			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	1492	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1665		Fecha Final de Estudio	
CGC 0811		12/05/2005			Completación	
	16/12/2005	19/05/2006	218	154	Reemplazo de la bomba	Rotor Partido
	31/12/2008	11/07/2009	957	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1130		Fecha Final de Estudio	
CGC 0813		30/05/2005			Completación	
	06/12/2007	14/12/2007	920	8	Pesca de Cabillas	Cabillas sueltas
	31/12/2008	11/07/2009	383	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		556		Fecha Final de Estudio	
CGC 0814		06/12/2004			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	1486	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1659		Fecha Final de Estudio	

CGC 0819		22/06/2005			Completación	
	14/01/2006	05/04/2006	206	81	Reemplazo de la bomba	Rotor Partido
	07/04/2006	18/10/2006	2	194	Reemplazo de la bomba	Baja Eficiencia de la Bomba
	31/08/2008	08/09/2008	683	8	Reemplazo de la bomba	Desprendimiento del Elastómero
	31/12/2008	11/07/2009	114	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		287		Fecha Final de Estudio	
CGC 0820		09/12/2004			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	1483	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1656		Fecha Final de Estudio	
CGC 0821		08/08/2005			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	1241	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1414		Fecha Final de Estudio	
CGC 0822		01/02/2005			Completación	
	11/08/2006	19/09/2006	556	39	Reemplazo de la bomba	
	31/12/2008	11/07/2009	834	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1007		Fecha Final de Estudio	
CGC 0823		10/08/2005			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	1239	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1412		Fecha Final de Estudio	
CGC 0824		11/02/2005			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	1419	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1592		Fecha Final de Estudio	
CGC 0825		12/08/2005			Completación	
	10/01/2006	25/01/2006	151	15	Saco Sarta de Cabillas y Rotor	No presento Fallas
	01/02/2007	24/03/2008	372	417	Intervención con Coiled Tubing	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	282	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		455		Fecha Final de Estudio	
CGC 0827		13/08/2005			Completación	
	05/07/2007	23/07/2007	691	18	Sacar Completación	bomba en Buen Estado pero Pozo Aren
	31/12/2008	11/07/2009	527	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		700		Fecha Final de Estudio	
CGC 0828		18/02/2005			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	1412	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1585		Fecha Final de Estudio	
CGC 0829		24/10/2008			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	68	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		241		Fecha Final de Estudio	
CGC 0830		23/02/2005			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	1407	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		1580		Fecha Final de Estudio	
CGC 0831		16/10/2008			Completación	
	10/11/2008	26/12/2008	25	46	Reemplazo de la bomba	
	31/12/2008	11/07/2009	5	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		178		Fecha Final de Estudio	
CGC 0832		07/11/2008			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	54	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		227		Fecha Final de Estudio	
CGC 0833		19/10/2008			Completación	No presento Fallas
	31/12/2008	11/07/2009	73	192	Recorte OPEP	
	31/12/2009		246		Fecha Final de Estudio	

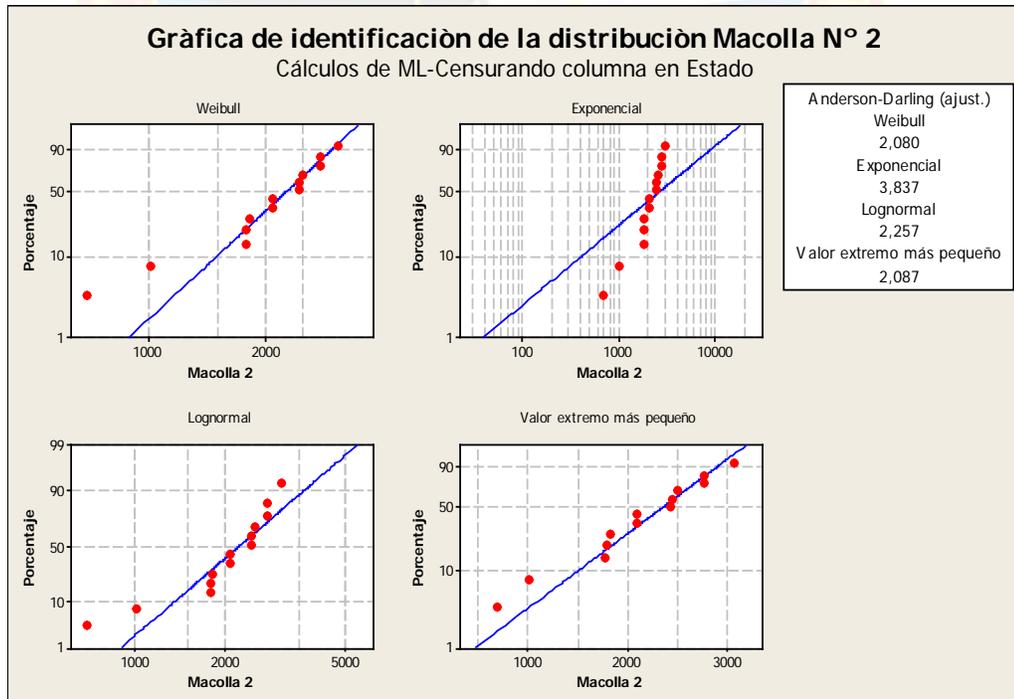


Apéndice C
Gráficas de identificación
de la distribución para las 8
macollas del Cerro Negro

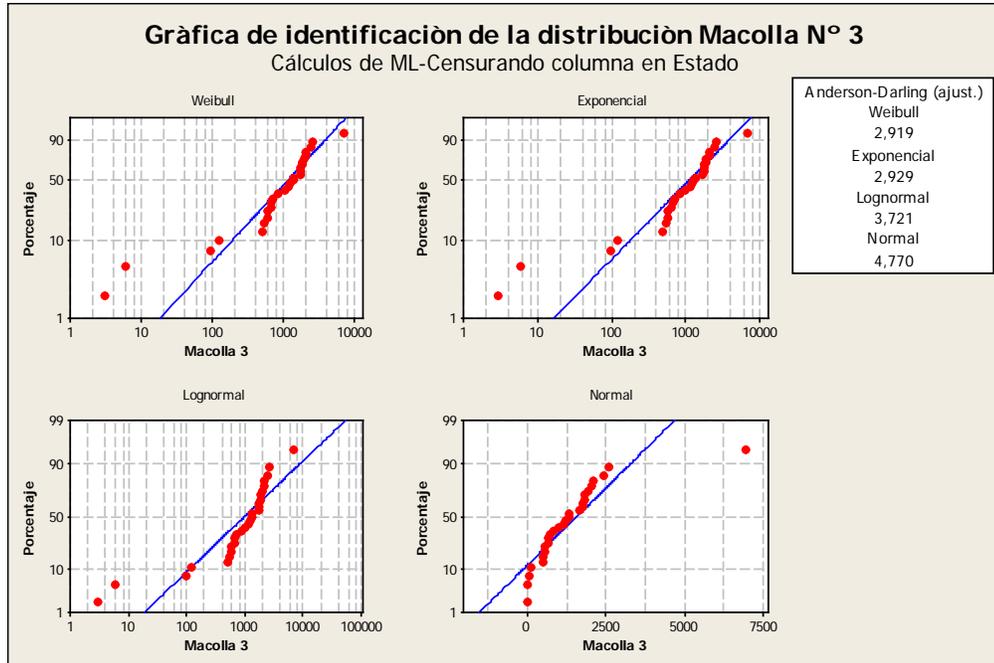
C.1. Gráfica de identificación de la distribución para la macolla N° 1



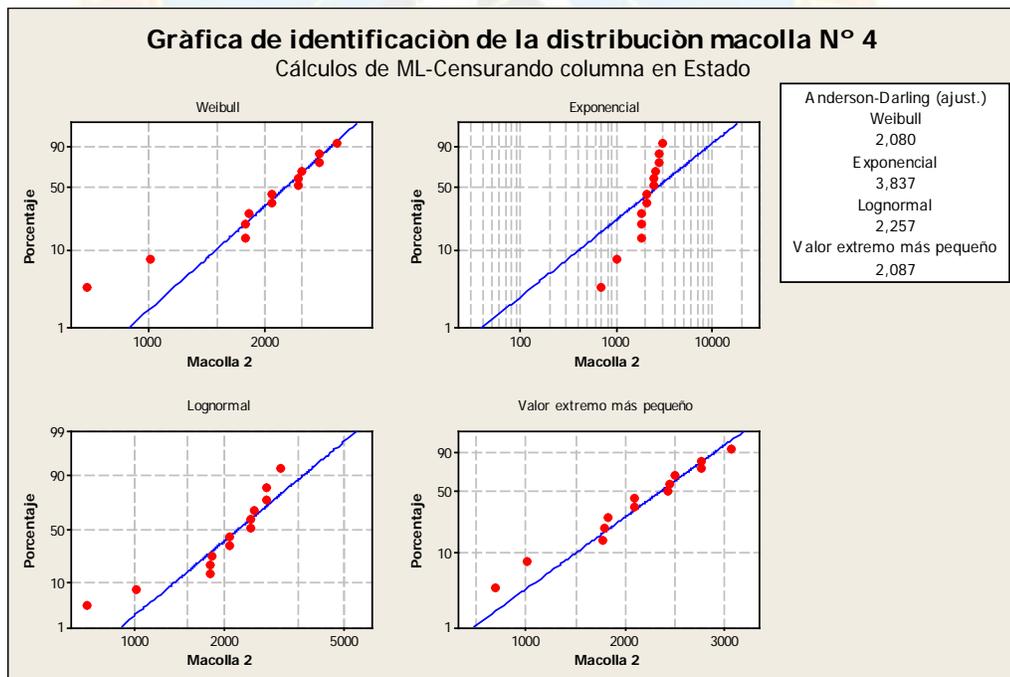
C.2. Gráfica de identificación de la distribución para la macolla N° 2



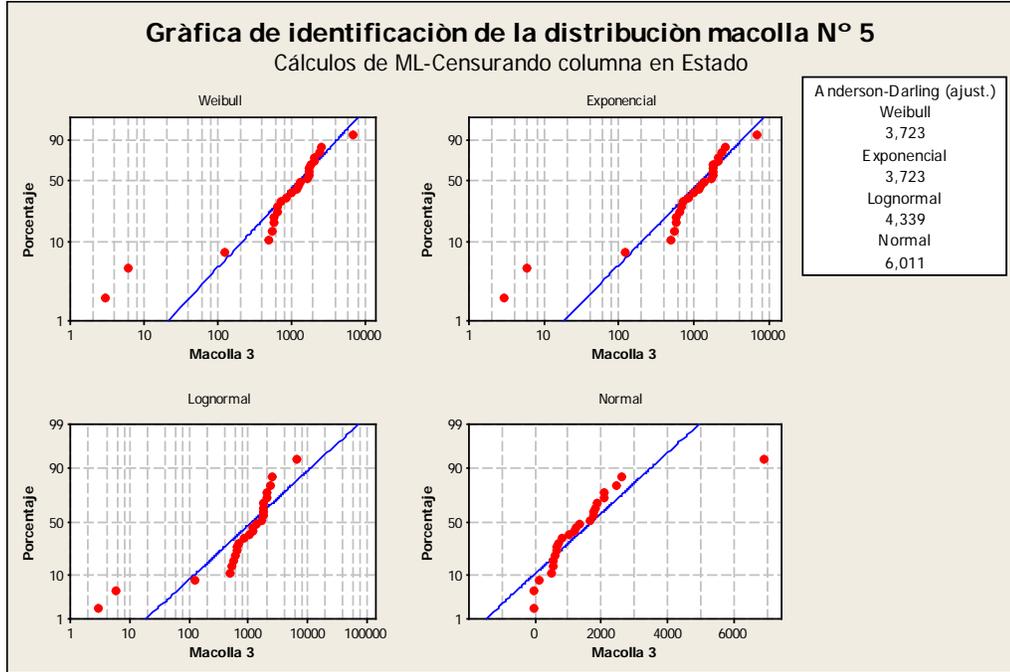
C.3. Gráfica de identificación de la distribución para la macolla N° 3



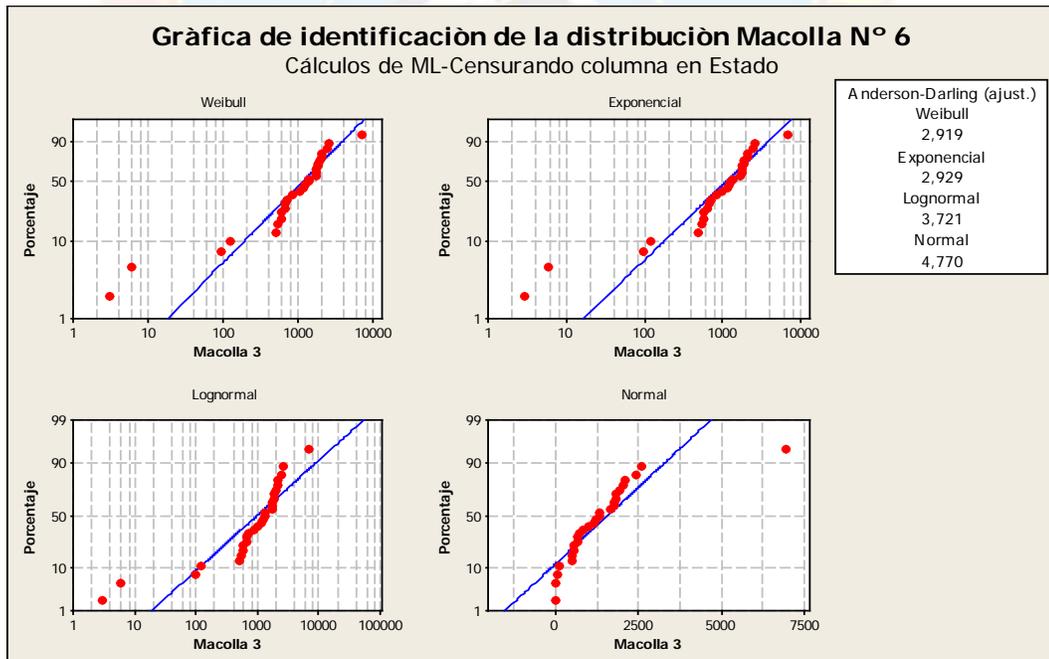
C.4. Gráfica de identificación de la distribución para la macolla N° 4



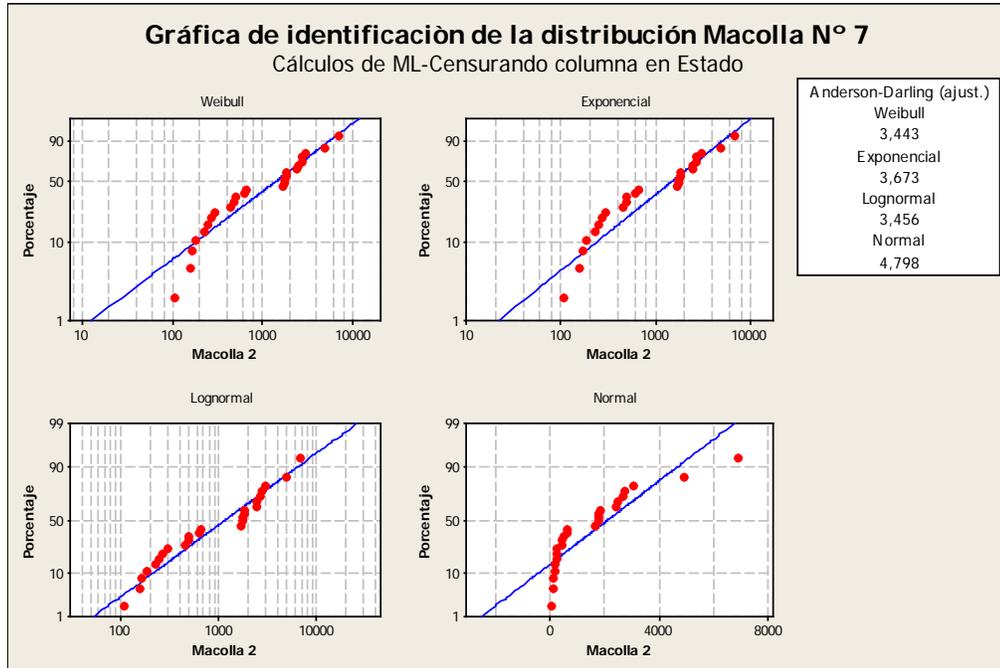
C.5. Gráfica de identificación de la distribución para la macolla N° 5



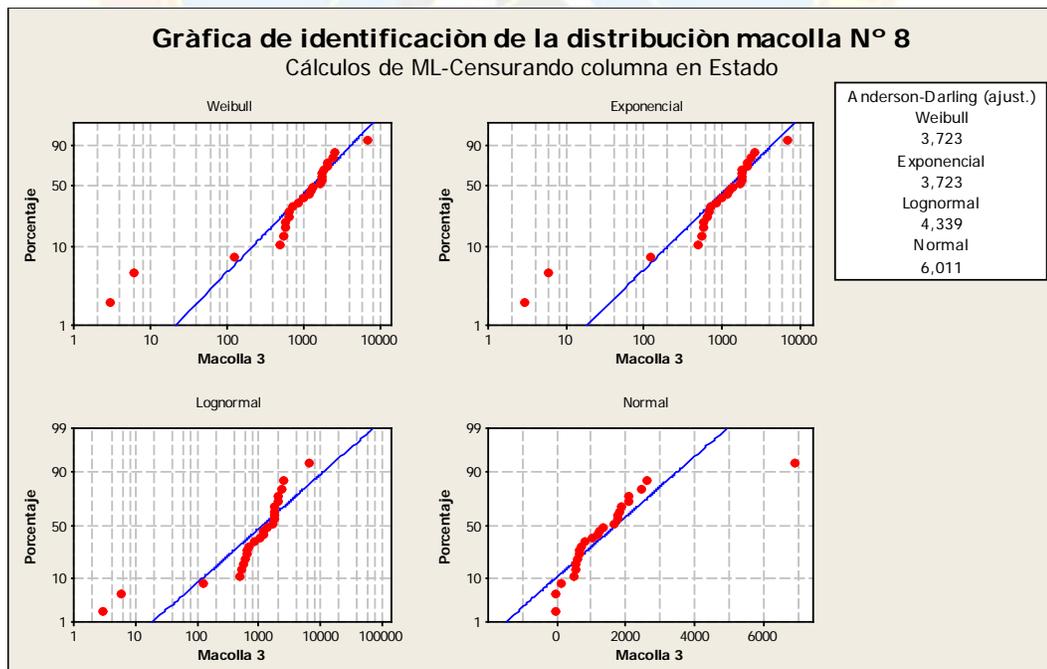
C.6. Gráfica de identificación de la distribución para la macolla N° 6



C.7. Gráfica de identificación de la distribución para la macolla N° 7



C.8. Gráfica de identificación de la distribución para la macolla N° 8



HOJAS METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 1/5

Título	<i>Incidencias de las fallas mecánicas en el rendimiento de las bombas de cavidad progresiva(BCP) del campo cerro negro, COPEM</i>
Subtítulo	

El Título es requerido. El subtítulo o título alternativo es opcional.

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Marcano C. Nerlys E.	CVLAC	17.933.866
	e-mail	Nerlys_20@hotmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres de un autor. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores.

Palabras o frases claves:

Fallas mecánicas
Distribuciones estadísticas
Bombas
Diagramas (paretos)
Producción (costos)
TPPF

El representante de la subcomisión de tesis solicitará a los miembros del jurado la lista de las palabras claves. Deben indicarse por lo menos cuatro (4) palabras clave.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 2/5

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ciencias	Ingeniería de Petróleo

Debe indicarse por lo menos una línea o área de investigación y por cada área por lo menos un subárea. El representante de la subcomisión solicitará esta información a los miembros del jurado.

Resumen (Abstract):

El Campo Cerro Negro asociado a la empresa mixta Petromonagas cuenta con 8 macollas que operan con el método de levantamiento artificial de Bombas de Cavidad Progresiva, para levantar los fluidos a la superficie por la alta viscosidad que posee el crudo. En la presente investigación se determinaron los modos de fallas que han sido originadas por las fallas mecánicas que han presentado estas bombas. Para ello se inició con la actualización de la base de datos de la macolla 7 y 8 con el fin de conocer los pozos que han sido reemplazados por daños en las BCP para posteriormente identificar los modos de fallas que se presentan en el campo y su frecuencia de ocurrencia mediante la aplicación del Diagrama de Pareto y a través de la distribución Weibull fueron determinados la cantidad de Bombas de Cavidad Progresiva que probablemente fallarán para los siguientes tres años y acorde a estos resultados fueron presupuestados los materiales necesarios para los reemplazos en los años estudiados. Finalmente se analizaron los efectos de las fallas mecánicas sobre los costos de operación, el tiempo y la producción. Mediante la aplicación del Diagrama de Pareto se obtuvo que los modos de fallas que presentaron un mayor porcentaje de frecuencia son los referidos a elastómero hinchado y desprendido en todo el campo y que la causa que generó estas desviaciones se debieron principalmente al tiempo de operación y a las altas velocidades de operación (altas RPM). Igualmente por medio de la distribución Weibull se obtuvo que 67 BCP serán reemplazadas a los tres años y se determinó que la mayoría de las BCP se encuentran en una etapa de desgaste mediante el parámetro de forma Beta.

Si el funcionario de SIBIUDO encargado de transcribir los metadatos encuentra este campo en blanco, debe copiarlo de la versión digital del texto del trabajo mediante “copiar y pegar”.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 3/5

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail				
Ing. Vega Ruben	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input checked="" type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC				
	e-mail				
	e-mail				
Ing. Velásquez Franklin	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input checked="" type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC				
	e-mail				
	e-mail				
Ing. Da Salva Alicia	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC				
	e-mail				
	e-mail				
Ing. Cañizales Fernando	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC				
	e-mail				
	e-mail				

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres del tutor y los otros dos (2) jurados. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores. La codificación del Rol es: CA = Coautor, AS = Asesor, TU = Tutor, JU = Jurado.

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2010	11	04
------	----	----

Fecha en formato ISO (AAAA-MM-DD). Ej: 2005-03-18. El dato fecha es requerido.

Lenguaje: spa Requerido. Lenguaje del texto discutido y aprobado, codificado usando ISO 639-2. El código para español o castellano es spa. El código para ingles en. Si el lenguaje se especifica, se asume que es el inglés (en).

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 4/5

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
MARCANO NERLYS.DOC	PETROLEO

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:

Espacial: _____ (opcional)

Temporal: _____ (opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ing. petróleo

Dato requerido. Ejs: Licenciado en Matemáticas, Magister Scientiarum en Biología Pesquera, Profesor Asociado, Administrativo III, etc

Nivel Asociado con el Trabajo: ingeniería

Dato requerido. Ejs: Licenciatura, Magister, Doctorado, Postdoctorado, etc.

Área de Estudio:

Ingeniería

Usualmente es el nombre del programa o departamento.

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente

Si como producto de convenciones, otras instituciones además de la Universidad de Oriente, avalan el título o grado obtenido, el nombre de estas instituciones debe incluirse aquí.

