



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 9 de junio de 2017

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

INGRITH YERALDIN HENAO CASTRO, con C.C. No. 1.110.515.305,  
EDWAR FELIPE PERDOMO BARRERA, con C.C. No. 1.077.864.830,  
autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado:

“BASE DE DATOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN POZOS CON SISTEMAS DE  
LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL MEDIANTE INDICE DE EXTRACCIÓN, INDICE DE FALLA Y  
MTBF DE CAMPO ZETA Y CAMPO ZAFÍR”.

presentado y aprobado en el año 2017 como requisito para optar al título de Ingeniero de  
Petróleos.

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad  
Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción  
intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la  
siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores" , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

INGRITH YERALDIN HENAO CASTRO

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

EDWAR FELIPE PERDOMO BARRERA

Firma:

Firma:



**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** Base de datos para el diagnóstico de fallas en pozos con Sistemas de Levantamiento Artificial por medio del Índice de Extracción, Índice de Falla y MTBF de Campo Zeta y Campo Zafír.

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Henao Castro Perdomo Barrera	Ingrith Yeraldin Edwar Felipe

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Mogollon Martinez Aranda Aranda	Mario Alexander Ervin

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero de Petróleos

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Petróleos

**CIUDAD:** Neiva - Huila

**AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2017

**NÚMERO DE PÁGINAS:** 197



**DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO**

<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>2 de 4</b>
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

**TIPO DE ILUSTRACIONES** (Marcar con una X):

Diagramas\_X\_ Fotografías\_\_\_ Grabaciones en discos\_\_\_ Ilustraciones en general\_X\_ Grabados\_\_\_  
 Láminas\_\_\_ Litografías\_\_\_ Mapas\_\_\_ Música impresa\_\_\_ Planos\_\_\_ Retratos\_\_\_ Sin ilustraciones\_\_\_  
 Tablas o Cuadros\_X\_

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento: Ninguno

**MATERIAL ANEXO:** No

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Tiempo de Operación	Operation Time	6. Causal	Cause
2. Extracción	Extraction	7. Intervención	Intervention
3. Falla	Failure	8. BCP	BPC
4. MTBF	MTBF	9. BES	BES
5. Sistema de Levantamiento	Lifting System	10. BMH	BMH

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

En este trabajo, se organizó la información histórica recopilada acerca de las instalaciones y fallas presentadas en los equipos de fondo, para todos los Sistemas de Levantamiento Artificial (SLA) presentes en el Bloque ZZ hasta el 30 de septiembre del año 2016, utilizando Indicadores Claves de Rendimiento (ICR) como medio de diagnóstico, para cada uno de los pozos pertenecientes a: Campo Zeta (409 pozos) y Campo Zafír (100 pozos); que conforman el Bloque ZZ, ubicados en la cuenca colombiana de los llanos orientales, el crudo de estos campos tiene una gravedad API de 12 a 13 grados y es extraído mediante SLA. Se hacía necesario una evaluación de parámetros que facilitara conocer el estado de operación de los equipos de fondo, con esta información se procedió a generar tablas y gráficos representativos por medio de los indicadores: MTBF, tiempo de operación, tiempo de operación promedio, índice de falla, índice de extracción entre otros parámetros importantes; que facilitan el diagnóstico y alarma temprana, de los equipos que se encuentran en operación con riesgo inminente de daño. Los datos han sido agrupados por tipo de SLA,



empresa proveedora, rango de tiempo en funcionamiento, caudal de producción y otros, buscando patrones o tendencias en las averías. De esta manera se espera llevar un control, análisis de estos indicadores y la predicción de posibles fallas que se pueden presentar a futuro, permitiendo la toma de decisiones oportuna, evitando así altos costos por intervenciones y pérdidas de producción.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

In this work, the historical information gathered about the installations and faults presented in the background equipment was organized for all Artificial Lift Systems (SLA) present in the ZZ Block until September 30, 2016, using Key Indicators For each of the wells belonging to: Campo Zeta (409 wells) and Campo Zafír (100 wells); Which form the ZZ Block, located in the Colombian basin of the eastern plains, the crude of these fields has an API gravity of 12 to 13 degrees and is extracted by SLA. It was necessary to evaluate parameters to facilitate the knowledge of the operating state of the bottom equipment. With this information, representative tables and graphs were generated through the following indicators: MTBF, operating time, average operating time, Failure, extraction rate among other important parameters; That facilitate the diagnosis and early warning of the equipment that are in operation with imminent risk of damage. The data have been grouped by type of SLA, supplier company, range of time in operation, production flow and others, looking for patterns or trends in the faults. In this way, it is expected to carry out a control, analysis of these indicators and the prediction of possible failures that can be presented in the future, allowing the timely decision making, thus avoiding high costs for interventions and production losses.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 4
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

**APROBACION DE LA TESIS**

Nombre Jurado: Claudia Marcela Hernández Cortez

Firma:

  
**Claudia Marcela Hernández Cortez**  
Jurado

Nombre Jurado: Luis Fernando Bonilla Camacho

Firma:

  
**Luis Fernando Bonilla Camacho**  
Jurado

BASE DE DATOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN POZOS CON  
SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL MEDIANTE INDICE DE  
EXTRACCIÓN, INDICE DE FALLA Y MTBF DE CAMPO ZETA Y CAMPO ZAFÍR

INGRITH YERALDIN HENAO CASTRO  
EDWAR FELIPE PERDOMO BARRERA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
NEIVA-HUILA  
2017

BASE DE DATOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN POZOS CON  
SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL MEDIANTE INDICE DE  
EXTRACCIÓN, INDICE DE FALLA Y MTBF DE CAMPO ZETA Y CAMPO ZAFÍR

MODALIDAD:  
PROYECTO DE GRADO

Presentado por:  
INGRITH YERALDIN HENAO CASTRO  
EDWAR FELIPE PERDOMO BARRERA

Director:  
MARIO ALEXANDER MOGOLLON MARTINEZ

Codirector:  
ERVIN ARANDA ARANDA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
NEIVA  
2017



**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

**Claudia Marcela Hernández Cortez**  
Jurado

---

**Luis Fernando Bonilla Camacho**  
Jurado

A Dios, por escuchar mis oraciones, por darme la salud, la voluntad y la constancia para llegar hasta aquí, a mis padres, Luz Miryan Castro y Orlando Henao, quienes con su carácter y personalidad han hecho de mí una mejor persona, llena de fortaleza, de seguridad y optimismo.

A mis hermanitas, Evelyn y Valery, por ese amor infinito y esas alegrías desde que llegaron a mi vida, a mis abuelas Inés Vanegas y Nelly Gamboa, por ese cariño tan maternal que siempre me han brindado.

A Adriana Arguelles, Mario Mogollón, Haydee Morales, Constanza Vargas y Roberto Vargas, por esa confianza que siempre depositaron en mí.

A mis amigos, Jaydit Riveros, Daniela Mañozca, Olmer Andrés y Dayibe Julieth, por el acompañamiento y apoyo, durante toda mi carrera.

De manera especial agradezco a mi compañero Felipe Perdomo, por su apoyo y constancia a pesar de las adversidades, por su disposición y compañía durante este proceso que hoy juntos culminamos.

¡Dios los bendiga siempre!

**Ingrith Yeraldin H Castro.**

A Dios quien es el artífice espiritual de mi vida, a mis amados padres Flor Barrera y Rodrigo Perdomo por el apoyo incondicional en este importante paso de mi formación, a mis hermanas Laura María y María Catalina por tanto cariño. A mi linda hija Sara Perdomo por ser mi fuente de motivación para alcanzar todas mis metas.

A mis compañeros de estudio, a mis amigos, a los profesores que dejaron una huella en mi como persona íntegra, a los directores de este proyecto, a la universidad Surcolombiana y especial gratitud a Yeral por el compañerismo e incansable esfuerzo en este trabajo.

**Felipe Perdomo Barrera.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Nuestras familias por el apoyo incondicional en cada momento; por darnos los medios necesarios para llegar a feliz término de nuestra carrera profesional, la confianza depositada, los consejos y especialmente el cariño.

Ingeniero Mario Alexander Mogollón director de este proyecto, por su disposición, tiempo y paciencia, en la orientación de cada paso crucial, la aclaración una a una de las dudas de este trabajo que nos permitieron culminar con éxito.

Ingeniero Ervin Aranda Aranda por confiar en nosotros y ser el codirector, contribuyendo con sus conocimientos y una buena sonrisa al ahora de ayudarnos de manera desinteresada.

La universidad Surcolombiana, que nos acogió por estos años formándonos como personas integras, con capacidad de liderazgo.

Los profesores de la facultad de Ingeniería, sus consejos y enseñanzas sin duda formaran parte de nuestras vidas de ahora en adelante.

Nuestros amigos que de manera especial estuvieron en cada uno de los momentos vividos, tanto buenos como malos, porque sin ustedes no hubiera sido lo mismo recorrer este camino de formación profesional, hicieron que todo pareciera una aventura en medio de las dificultades.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
GLOSARIO	17
RESUMEN	19
INTRODUCCIÓN	20
1, GENERALIDADES DEL BLOQUE ZZ	21
1.1. RESEÑA DEL BLOQUE ZZ	21
1.2. CARACTERISTICAS YACIMIENTO Y FLUIDOS	21
1.3. GEOLOGÍA	22
2. SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL (SLA)	27
2.1. BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (BES)	27
2.2. BOMBEO POR CAVIDADES PROGRESIVAS (BCP)	29
2.3. BOMBEO MECANICO POR UNIDADES HIDRÁULICAS (BMH)	30
3. PRODUCCIÓN	32
3.1. PRODUCCIÓN HISTORICA	32
3.2. PRODUCCIÓN DIFERIDA	37
4. FALLAS	39
4.1. CICLO DE VIDA DE LOS EQUIPOS DEL BLOQUE ZZ	39
5. INDICADORES DE GESTIÓN (ICR)	42
5.1. MTBF	42
5.2. TIEMPO DE OPERACIÓN (TO)	45
5.3. TIEMPO DE OPERACIÓN PROMEDIO (TOP)	46
5.4. ÍNDICE DE FALLA (IF)	46
5.5. ÍNDICE DE EXTRACCIÓN (IE)	46
6. PROCEDIMIENTO GENERAL	48
6.1. PROCEDIMIENTO EN POZOS CON EQUIPOS OPERANDO A VALORES LÍMITES DE MTBF	49
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS	51
7.1. CAMPO ZETA	51
7.2. CAMPO ZAFİR	139
7.3. RESULTADOS COMPARATIVOS Y POZOS EN ALERTA, CAMPO ZETA	159
7.4. RESULTADOS COMPARATIVOS Y POZOS EN ALERTA, CAMPO ZAFİR	161

8. CONCLUSIONES	164
9. RECOMENDACIONES	170
10. BIBLIOGRAFIA	172
ANEXOS	174

## LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Columna estratigráfica Bloque ZZ.	24
Gráfico 2. Corte Estructural Cuenca de los Llanos Orientales.	25
Gráfico 3. Producción histórica de fluidos de Campo Zeta.	33
Gráfico 4. Producción histórica de fluidos de Campo Zafír.	34
Gráfico 5. Producción mensual de fluidos en Campo Zeta, año 2016.	35
Gráfico 6. Producción mensual de fluidos en Campo Zafír, año 2016.	36
Gráfico 7. Curva de bañera, tipos de fallas vs tiempo de operación.	40
Gráfico 8. Causa principal de las Extracciones en Campo Zeta realizadas en el año 2009.	51
Gráfico 9. Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2009.	52
Gráfico 10. Número de fallas en Campo Zeta de acuerdo a los TO en el año 2009.	53
Gráfico 11. Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico en el año 2009.	53
Gráfico 12. IE e IF en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2009.	54
Gráfico 13. Rango de TO por tipo de SLA Campo Zeta año 2009	54
Gráfico 14. MTBF y TOP en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2009.	55
Gráfico 15. Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo en el año 2009.	56
Gráfico 16. Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2009.	57
Gráfico 17. Índice de falla y número de equipos operando en Campo Zeta de acuerdo a la compañía proveedora en el año 2009	58
Gráfico 18. Número de equipos instalados en Campo Zeta de acuerdo a los TO alcanzados al año 2009 por compañía proveedora.	58
Gráfico 19. MTBF y TOP en Campo Zeta por compañía proveedora, año 2009.	59
Gráfico 20. Causa principal de las Extracciones en Campo Zeta realizadas en el año 2010.	60
Gráfico 21. Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2010.	60
Gráfico 22. Número de fallas en Campo Zeta de acuerdo a los TO en el año 2010.	61
Gráfico 23. Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico en el año 2010.	62
Gráfico 24. IE e IF en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2010.	62
Gráfico 25. Rango de TO por tipo de SLA Campo Zeta año 2010	63
Gráfico 26. MTBF y TOP en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2010.	64
Gráfico 27. Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo en el año 2010.	65

Gráfico 28. Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2010.	65
Gráfico 29. Índice de falla y número de equipos operando en Campo Zeta de acuerdo a la compañía proveedora en el año 2010.	66
Gráfico 30. Número de equipos instalados en Campo Zeta de acuerdo a los TO alcanzados al año 2010 por compañía proveedora.	67
Gráfico 31. MTBF y TOP en Campo Zeta por compañía proveedora, año 2010.	68
Gráfico 32. Causa principal de las Extracciones en Campo Zeta realizadas en el año 2011.	68
Gráfico 33. Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2011.	69
Gráfico 34. Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BCP año 2011.	70
Gráfico 35. Número de fallas en Campo Zeta de acuerdo a los TO en el año 2011.	70
Gráfico 36. Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico en el año 2011.	71
Gráfico 37. IE e IF en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2011.	72
Gráfico 38. Rango de TO por tipo de SLA Campo Zeta año 2011.	72
Gráfico 39. MTBF y TOP en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2011.	73
Gráfico 40. Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo en el año 2011.	74
Gráfico 41. Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2011.	74
Gráfico 42. Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BCP año 2011.	75
Gráfico 43. Índice de falla y número de equipos operando en Campo Zeta de acuerdo a la compañía proveedora en el año 2011.	76
Gráfico 44. Número de equipos instalados en Campo Zeta de acuerdo a los TO alcanzados al año 2011 por compañía proveedora.	77
Gráfico 45. MTBF y TOP en Campo Zeta por compañía proveedora, año 2011.	77
Gráfico 46. Causa principal de las Extracciones en Campo Zeta realizadas en el año 2012.	78
Gráfico 47. Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2012.	79
Gráfico 48. Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BCP año 2012.	79
Gráfico 49. Número de fallas en Campo Zeta de acuerdo a los TO en el año 2012.	80
Gráfico 50. Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico en el año 2012.	81
Gráfico 51. IE e IF en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2012.	82
Gráfico 52. Rango de TO por tipo de SLA Campo Zeta año 2012.	83
Gráfico 53. MTBF y TOP en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2012.	83
Gráfico 54. Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo en el año 2012.	84



Gráfico 55. Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2012.	85
Gráfico 56. Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BCP año 2012.	86
Gráfico 57. Índice de falla y número de equipos operando en Campo Zeta de acuerdo a la compañía proveedora en el año 2012.	87
Gráfico 58. Número de equipos instalados en Campo Zeta de acuerdo a los TO alcanzados al año 2012 por compañía proveedora.	88
Gráfico 59. MTBF y TOP en Campo Zeta por compañía proveedora, año 2012.	88
Gráfico 60. Causa principal de las Extracciones en Campo Zeta realizadas en el año 2013.	89
Gráfico 61. Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2013.	90
Gráfico 62. Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BCP año 2013.	91
Gráfico 63. Número de fallas en Campo Zeta de acuerdo a los TO en el año 2013.	91
Gráfico 64. Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico en el año 2013.	92
Gráfico 65. IE e IF en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2013.	93
Gráfico 66. Rango de TO por tipo de SLA Campo Zeta año 2013.	93
Gráfico 67. MTBF y TOP en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2013.	94
Gráfico 68. Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo en el año 2013.	95
Gráfico 69. Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2013.	95
Gráfico 70. Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BCP año 2013.	97
Gráfico 71. Índice de falla y número de equipos operando en Campo Zeta de acuerdo a la compañía proveedora en el año 2013.	97
Gráfico 72. Número de equipos instalados en Campo Zeta de acuerdo a los TO alcanzados al año 2013 por compañía proveedora.	98
Gráfico 73. MTBF y TOP en Campo Zeta por compañía proveedora, año 2013.	99
Gráfico 74. Causa principal de las Extracciones en Campo Zeta realizadas en el año 2014.	100
Gráfico 75. Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2014.	101
Gráfico 76. Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BCP año 2014.	101
Gráfico 77. Número de fallas en Campo Zeta de acuerdo a los TO en el año 2014.	102
Gráfico 78. Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico en el año 2014.	103
Gráfico 79. IE e IF en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2014.	104
Gráfico 80. Rango de TO por tipo de SLA Campo Zeta año 2014.	105
Gráfico 81. MTBF y TOP en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2014.	106

Gráfico 82. Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo en el año 2014.	107
Gráfico 83. Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2014.	107
Gráfico 84. Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BCP año 2014.	109
Gráfico 85. Índice de falla y número de equipos operando en Campo Zeta de acuerdo a la compañía proveedora en el año 2014.	109
Gráfico 86. Número de equipos instalados en Campo Zeta de acuerdo a los TO alcanzados al año 2014 por compañía proveedora.	111
Gráfico 87. MTBF y TOP en Campo Zeta por compañía proveedora, año 2014.	112
Gráfico 88. Causa principal de las Extracciones en Campo Zeta realizadas en el año 2015.	113
Gráfico 89. Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2015.	114
Gráfico 90. Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BCP año 2015.	114
Gráfico 91. Número de fallas en Campo Zeta de acuerdo a los TO en el año 2015.	115
Gráfico 92. Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico en el año 2015.	116
Gráfico 93. IE e IF en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2015.	117
Gráfico 94. Rango de TO por tipo de SLA Campo Zeta año 2015.	118
Gráfico 95. MTBF y TOP en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2015.	119
Gráfico 96. Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo en el año 2015.	120
Gráfico 97. Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2015.	120
Gráfico 98. Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BCP año 2015.	121
Gráfico 99. Índice de falla y número de equipos operando en Campo Zeta de acuerdo a la compañía proveedora en el año 2015.	122
Gráfico 100. Número de equipos instalados en Campo Zeta de acuerdo a los TO alcanzados al año 2015 por compañía proveedora.	123
Gráfico 101. MTBF y TOP en Campo Zeta por compañía proveedora, año 2015.	125
Gráfico 102. Causa principal de las Extracciones en Campo Zeta realizadas en el año 2016.	126
Gráfico 103. Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2016.	127
Gráfico 104. Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2016.	127
Gráfico 105. Número de fallas en Campo Zeta de acuerdo a los TO en el año 2016.	128
Gráfico 106. Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico en el año 2016.	129
Gráfico 107. IE e IF en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2016.	130

Gráfico 108. Rango de TO por tipo de SLA Campo Zeta año 2016.	131
Gráfico 109. MTBF y TOP en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2016.	131
Gráfico 110. Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo en el año 2016.	132
Gráfico 111. Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2016.	133
Gráfico 112. Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2016.	134
Gráfico 113. Índice de falla y número de equipos operando en Campo Zeta de acuerdo a la compañía proveedora en el año 2016.	135
Gráfico 114. Número de equipos instalados en Campo Zeta de acuerdo a los TO alcanzados al año 2016 por compañía proveedora.	136
Gráfico 115. MTBF y TOP en Campo Zeta por compañía proveedora, año 2016.	138
Gráfico 116. Causa principal de las Extracciones en Campo Zafír realizadas en los años 2012 y 2013.	139
Gráfico 117. Causa principal de las Extracciones en Campo Zafír realizadas en los años 2014, 2015 y 2016.	140
Gráfico 118. Tipo y numero de fallas en Campo Zafír presentadas en equipos del sistema BES histórico.	141
Gráfico 119. Tipo y numero de fallas en Campo Zafír presentadas en equipos del sistema BCP histórico.	141
Gráfico 120. Tipo y numero de fallas en Campo Zafír presentadas en equipos del sistema BMH histórico.	142
Gráfico 121. Número de fallas en Campo Zafír de acuerdo a los TO histórico.	142
Gráfico 122. Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico histórico.	143
Gráfico 123. IE e IF en Campo Zafír para SLA tipo BES histórico.	144
Gráfico 124. IE e IF en Campo Zafír para SLA tipo BCP histórico.	145
Gráfico 125. IE e IF en Campo Zafír para SLA tipo BMH histórico.	146
Gráfico 126. Rango de TO por tipo de SLA Campo Zafír, histórico.	147
Gráfico 127. MTBF y TOP en Campo Zafír para SLA tipo BES, histórico.	148
Gráfico 128. MTBF y TOP en Campo Zafír para SLA tipo BCP, histórico.	149
Gráfico 129. MTBF y TOP en Campo Zafír para SLA tipo BMH, histórico.	149
Gráfico 130. Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo, histórico.	150
Gráfico 131. Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES, histórico.	150
Gráfico 132. Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BCP, histórico.	151
Gráfico 133. IF histórico y número de equipos operando en Campo Zafír, compañía Generic.	152
Gráfico 134. IF histórico y número de equipos operando en Campo Zafír, compañía Sluber.	153
Gráfico 135. IF histórico y número de equipos operando en Campo Zafír, compañía Wonder.	154

Gráfico 136. Número histórico de equipos instalados en Campo Zafír de acuerdo a los TO alcanzados por compañía proveedora de sistemas BES.	155
Gráfico 137. Número histórico de equipos instalados en Campo Zafír de acuerdo a los TO alcanzados por compañía proveedora de sistemas BCP	156
Gráfico 138. Número histórico de equipos instalados en Campo Zafír de acuerdo a los TO alcanzados por compañía proveedora de sistemas BMH.	156
Gráfico 139. MTBF y TOP histórico en Campo Zafír, compañía Generic.	157
Gráfico 140. MTBF y TOP histórico en Campo Zafír, compañía Sluber.	157
Gráfico 141. MTBF y TOP histórico en Campo Zafír, compañía Wonder (BCP).	158
Gráfico 142. MTBF y TOP histórico en Campo Zafír, compañía Wonder (BMH).	158

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Condiciones Ambientales Bloque ZZ	21
Tabla 2. Factores del Yacimiento y de los Fluidos.	22
Tabla 3. Datos anuales, de producción, BS&W y WOR histórico en Campo Zeta.	33
Tabla 4. Datos anuales, de producción, BS&W y WOR histórico en Campo Zafír.	34
Tabla 5. Datos de producción, BSW y WOR en el año 2016 de Campo Zeta.	36
Tabla 6. Datos mensuales de producción, BS& W y WOR para el año 2016 en Campo Zafír.	37
Tabla 7. Producción diferida anual, debido a interrupciones por fallas en los SLA en campo Zeta.	38
Tabla 8. Producción diferida anual, debido a interrupciones por fallas en los SLA en campo Zafír.	38
Tabla 9. Comparativo entre MTBF real e ideal por Compañía, Campo Zeta.	159
Tabla 10. MTBF límite por Compañía, Campo Zeta.	160
Tabla 11. Pozos en riesgo por MTBF límite, Campo Zeta.	160
Tabla 12. Comparativo entre MTBF real e ideal por Compañía. Campo Zafír.	161
Tabla 13. MTBF límite por Compañía, Campo Zafír.	162
Tabla 14. Pozos en riesgo por MTBF límite, Campo Zafír.	162

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Resumen de fallas ocurridas en el Bloque ZZ, tabuladas.	174
Anexo B. Procedimiento recomendado en equipos con SLA tipo BES que presentan TO mayores a los límites MTBF.	182
Anexo C. Demostración del procedimiento realizado en Campo Zeta para equipos BES que opera valores mayores a los límites MTBF.	188

## GLOSARIO

**API:** medida de densidad que comparada con la densidad del agua determina que tan pesado o liviano es el petróleo.

**BCP:** bombeo por cavidades progresivas.

**BES:** bombeo electrosumergible.

**BFPD:** barriles de fluido por día.

**BOPD:** barriles de crudo por día.

**BS&W:** contenido de agua libre y sedimentos que contiene el crudo.

**BWPD:** barriles de agua por día.

**DESBALANCE DE FASES:** diferencias significativas entre el ángulo o tensiones de fases consecutivas, en un sistema trifásico.

**EXTRACCIÓN:** proceso mediante el cual se lleva a superficie el equipo que se encuentra en fondo de pozo.

**FALLA CAUSAL:** falla que ocurre en el equipo en un lapso de tiempo mayor a 90 días y menor a los 1100 días, estas fallas pueden ser causales asociadas al equipo o asociadas al tipo de yacimiento. (Este valor aplica de manera exclusiva para los equipos de este estudio).

**FALLA POR DESGASTE:** falla que ocurre en un equipo con tiempo de operación mayor a los 1100 días. (Este valor aplica de manera exclusiva para los equipos de este estudio).

**FALLA PREMATURA:** falla que ocurre en el equipo en un lapso de tiempo menor a los 90 días de operación. (Este valor aplica de manera exclusiva para los equipos de este estudio).

**FALLA PREMATURA INFANTIL:** falla que ocurre en el equipo en un lapso de tiempo menor a 30 días de operación. (Este valor aplica de manera exclusiva para los equipos de este estudio).

**FALLA PREMATURA NORMAL:** falla que ocurre en el equipo en un lapso de tiempo entre los 30 y 90 días de operación. (Este valor aplica de manera exclusiva para los equipos de este estudio).

**ÍNDICE DE EXTRACCIÓN:** relación entre el número de extracciones realizadas a los pozos y el número de equipos operando, en un lapso de tiempo determinado.

**ÍNDICE DE FALLA:** relación entre el número de fallas reportadas y el número de equipos operando, en un lapso de tiempo determinado.

**INTERVENCIÓN:** servicio realizado al pozo, con el propósito de mejorar su productividad.

**MTBF:** tiempo medio entre fallas.

**SISTEMA DE LEVANTAMIENTO:** sistema que porta energía externa de manera artificial a la columna de fluido de un pozo con el fin de extraerlo a superficie.

**TIEMPO DE INSTALACIÓN:** tiempo total desde el día de la instalación del equipo, despreciando el tiempo de operación y paradas realizadas al pozo.

**TIEMPO DE OPERACIÓN:** tiempo total en el que el equipo realmente se mantuvo operando, hace referencia al tiempo de instalación del equipo restándole el tiempo de paradas por cualquier razón.

**TO:** tiempo de operación.

**TOP:** tiempo de operación promedio.

**WOR:** relación agua – aceite.



## **RESUMEN**

En este trabajo, se organizó la información histórica recopilada acerca de las instalaciones y fallas presentadas en los equipos de fondo, para todos los Sistemas de Levantamiento Artificial (SLA) presentes en el Bloque ZZ hasta el 30 de septiembre del año 2016, utilizando Indicadores Claves de Rendimiento (ICR) como medio de diagnóstico, para cada uno de los pozos pertenecientes a: Campo Zeta (409 pozos) y Campo Zafír (100 pozos); que conforman el Bloque ZZ, ubicados en la cuenca colombiana de los llanos orientales, el crudo de estos campos tiene una gravedad API de 12 a 13 grados y es extraído mediante SLA. Se hacía necesario una evaluación de parámetros que facilitara conocer el estado de operación de los equipos de fondo, con esta información se procedió a generar tablas y gráficos representativos por medio de los indicadores: MTBF, tiempo de operación, tiempo de operación promedio, índice de falla, índice de extracción entre otros parámetros importantes; que facilitan el diagnóstico y alarma temprana, de los equipos que se encuentran en operación con riesgo inminente de daño. Los datos han sido agrupados por tipo de SLA, empresa proveedora, rango de tiempo en funcionamiento, caudal de producción y otros, buscando patrones o tendencias en las averías. De esta manera se espera llevar un control, análisis de estos indicadores y la predicción de posibles fallas que se pueden presentar a futuro, permitiendo la toma de decisiones oportuna, evitando así altos costos por intervenciones y pérdidas de producción.

## **PALABRAS CLAVES**

Tiempo de operación. Índice de falla. MTBF. Índice de extracción. Levantamiento artificial.

## INTRODUCCIÓN

En el yacimiento, los fluidos son afectados naturalmente por una serie de fuerzas y energía, que contribuyen en su movimiento, desde su migración hasta su acumulación en el reservorio; cuando esta energía es suficiente para desplazar el fluido desde el fondo del pozo hasta la superficie, el pozo produce flujo naturalmente debido al diferencial de presión entre la formación y el pozo, pero a medida que esta energía disminuye, este diferencial se hace cada vez menor ocasionando que la producción empiece a declinar hasta el punto en el que no tiene el aporte suficiente de energía para impulsar el fluido hasta la superficie, esto hace necesario el uso de un sistema externo que proporcione de manera artificial energía al pozo; que garantice extraer el fluido desde el yacimiento hasta superficie, optimizando en gran medida la producción. A este método se le conoce como sistema de levantamiento artificial (SLA).

Pero cada uno de estos SLA, tiene unas limitaciones operacionales que afectan de manera directa la producción del pozo, una de las limitaciones de mayor influencia son las fallas en sus componentes ya sean fallas de tipo mecánico o fallas eléctricas.

Por lo tanto, en este proyecto se plantea elaborar una base de datos que permita generar un análisis de falla en equipos de fondo en pozos con SLA, que facilite la toma de decisiones para considerar la intervención oportuna del pozo como medida de prevención y detección minimizando la tasa de fallas y mitigando consecuencias de mayor impacto en los equipos. Mejorando así el tiempo de operación, su eficiencia y vida útil de cada uno de sus componentes; todo esto se resume en un ahorro de costos por fallas o diferidas de crudo.

La base de datos suministrada contiene información confiable acerca de las intervenciones realizadas durante todo el tiempo de operación de los pozos; el enfoque principal será acerca de: los índices de falla, índices de extracción, tiempos de operación y MTBF (Mean Time Before Failure) tiempo medio entre fallas en los equipos de fondo para cada uno de los SLA utilizados en los pozos de crudo pesado del Bloque ZZ.

Como recurso investigativo esta información se recopiló del historial que tiene la empresa de cada una de las intervenciones realizadas y además puede ser complementado con la información futura que se recolecte.

## 1. GENERALIDADES DEL BLOQUE ZZ

### 1.1. RESEÑA DEL BLOQUE ZZ

El Bloque ZZ tiene un área total de 152.736 hectáreas y se encuentra ubicado en la cuenca de los llanos orientales en el centro-este de Colombia a 465 km de Bogotá, en el municipio de Puerto Gaitán, Departamento del Meta. El bloque comprende dos campos principales, Campo Zeta y Campo Zafir de los cuales se extrae crudo pesado de gravedad API 12.7-13.8 y viscosidad del petróleo vivo de 450-500 cp, la presión medida a una profundidad promedio de las areniscas basales es de 1100 psi y la temperatura de yacimiento de 146°F

**1.1.1. Condiciones Ambientales.** Las condiciones ambientales del Bloque ZZ son en promedio aproximadamente las siguientes:

**Tabla 1.** Condiciones Ambientales Bloque ZZ

Temperatura	26.3°C
Precipitación	1.900 a 2.200 mm/año
Características del viento	Velocidad promedio: Se ha adoptado el valor de 100 km/h como criterio de diseño según recomendación de la NSR- 98 Colombiana.
Humedad Relativa	25% a 40%
Atmósfera	Presión barométrica promedio: 14.1 psia
Nivel de ruido en el sector	45 dB en ruido ambiental.

### 1.2. CARACTERÍSTICAS YACIMIENTO Y FLUIDOS

Las condiciones del yacimiento y de los fluidos del Bloque ZZ (Tabla 2), se encuentran a una profundidad de 2700-3000 pies, el aceite presente en los yacimientos del bloque ZZ es de base parafínica y su gravedad API oscila alrededor de los 12.7-13.8°API, clasificándose de esta manera como un crudo pesado. De acuerdo al comportamiento de la presión la cual medida a una profundidad promedio de la unidad areniscas basales es de 1100 psi y a su vez a una temperatura de yacimiento de 146°F, la presión de burbuja es de 108 psi, condiciones bajo las cuales la solubilidad del gas es de 7-8 PCN/BN, el factor volumétrico a la presión de burbuja fue de 1.009 Bbl/STB y la viscosidad del petróleo vivo es 450-500 cp. En

cuanto a la salinidad promedio del agua de formación es de 761 ppm de sólidos disueltos totales.

**Tabla 2.** Factores del Yacimiento y de los Fluidos.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>BLOQUE ZZ</b>
Profundidad, Pies	2700-3000
Tipo de Formación	Areniscas
Temperatura, °F	145-147
Presión inicial, psi	1100
Presión de burbujeo, psi	108
Presión actual, psi	980
Relación gas petróleo, PCN/BN	7-8
Gravedad API	12.7-13.8
Factor volumétrico a presión de burbuja, vol/vol	1.009
Salinidad, ppm	761
Viscosidad del petróleo muerto, cps (T= 60 °F)	4500
Viscosidad del petróleo vivo, cps (T= 146 °F)	450-500
Buzamiento, grados	0.3-2.5
Espesor de arena del yacimiento, pies	42-65
Espesor de arena neta petrolífera, pies	10-50
Área Comercial, acres	99250
POES, MMBls	1543

### 1.3. GEOLOGÍA

**1.3.1. Geología General.** Geológicamente el Bloque ZZ se encuentra ubicado en una porción de cuenca antepaís (foreland), donde algunos sedimentos paleógenos y neógenos están descansando sobre rocas precámbricas y paleozoicas del escudo de la Guayana.

La Cuenca de los Llanos Orientales presenta un desarrollo correspondiente a una mega-secuencia de synrift relacionada con la separación del norte y el sur de América en el proto-caribe<sup>1</sup>.

**1.3.2. Estratigrafía.** La extensión de la Cuenca de los Llanos Orientales, abarca desde el cabalgamiento de la Cordillera Oriental de Colombia en la parte norteoeste, hasta el escudo guayanés con afloramientos precámbricos al este. La cuenca es constituida principalmente por sedimentos cretácicos y terciarios que fueron depositados de manera discordante sobre el paleozoico y el basamento.

La secuencia de sedimentos de edad Paleozoica-Pleistoceno presenta espesores mayores a 25000 pies en zonas cercanas a la Cordillera Oriental y su espesor disminuye continuamente en dirección este-sureste, aproximadamente entre 2000 a 3000 pies. El estilo dominante en la cuenca de los llanos del Meta, es de fallas normales con convergencia hacia el oeste y de sus correspondientes fallas antitéticas con convergencias hacia el este, causadas por flexión como respuesta a la carga tectónica impuesta por la cordillera oriental<sup>2</sup>.

En esta cuenca de interés económico la secuencia estratigráfica está conformada por rocas separadas por discordancias regionales (ver gráfico 1), que van desde el precámbrico, pasando por el paleozoico inferior, cretácico y terciario (Formaciones Carbonera y León, Guayabo y Necesidad)<sup>3</sup>.

**1.3.3. Geología Estructural.** Desde el punto de vista estructural, el área del Bloque ZZ se localiza en el sector más oriental del antepaís (foreland) de la Cuenca de los Llanos Orientales, al oriente de la zona deformada del piedemonte, desarrollada al oeste del escudo de Guyana (cratón), en una zona relativamente “tranquila”, afectada por esfuerzos distensivos manifestados en la presencia de fallas normales antitéticas, las cuales generan estructuras favorables para la acumulación de hidrocarburos.

Esta cuenca refleja una polaridad debido a que en la zona oeste tiene un margen móvil y en el este presenta un margen estable. Aspectos que se ven reflejados

---

<sup>1</sup> Cooper, M. A., Addison, F. T., Álvarez, R., Coral, M., Graham, R. H., Hayward, S. H., . . . Pulham, A. J. (1995). *Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley*. Colombia: American Association of Petroleum Geologists Bulletin.

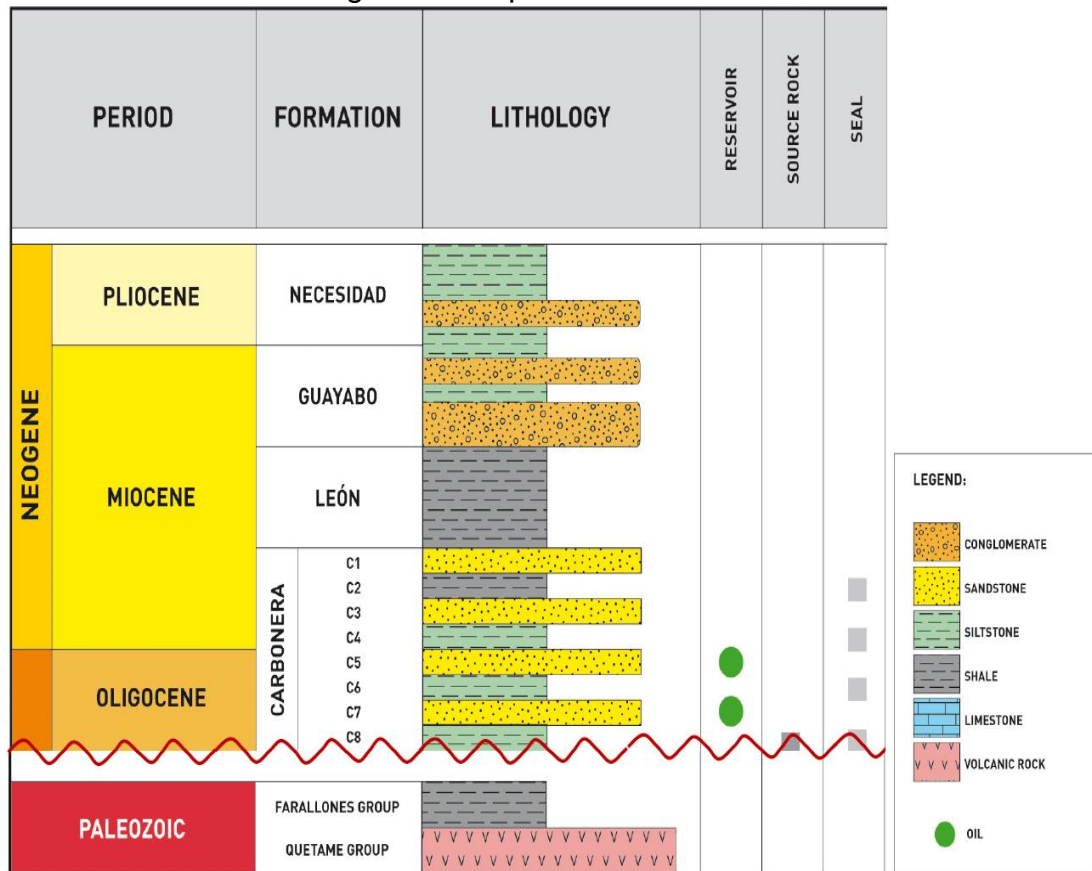
<sup>2</sup> Gómez, Y., Yoris, F., Rodríguez, J., Portillo, F., & Araujo, Y. (2011). Aspectos hidrodinámicos, estructurales y estratigráficos del Campo Zeta, Cuenca de los Llanos Orientales, Colombia. Bogotá, Colombia: Pacific Energy.

<sup>3</sup> Ibid.

nuevamente en la estratigrafía y sedimentación. Estructuralmente la cuenca se presenta en forma de monoclin, con un rumbo NNE-SSW con dirección de buzamiento hacia el NW y con un ángulo de buzamiento promedio de 1 a 2 grados<sup>4</sup>.

La cuenca se extiende hacia el norte en Venezuela, donde es conocida como la Cuenca de Barinas. Desde el Triásico hasta el Mioceno Medio, los Llanos Orientales formaron parte de una cuenca sedimentaria aún mayor, que incluía las actuales áreas correspondientes al Valle del Magdalena y Cordillera Oriental. A partir del Mioceno, los Llanos Orientales se separaron formando una cuenca independiente tipo antepais, después de la formación de la Cordillera Oriental<sup>5</sup>.

**Gráfico 1.** Columna estratigráfica Bloque ZZ.



**Fuente:** Oil Distribution in the Carbonera Formation, Arenas Basales Unit. A Case Study in the Zeta and Rubiales Fields, Eastern Llanos Basin, Colombia. 2014.

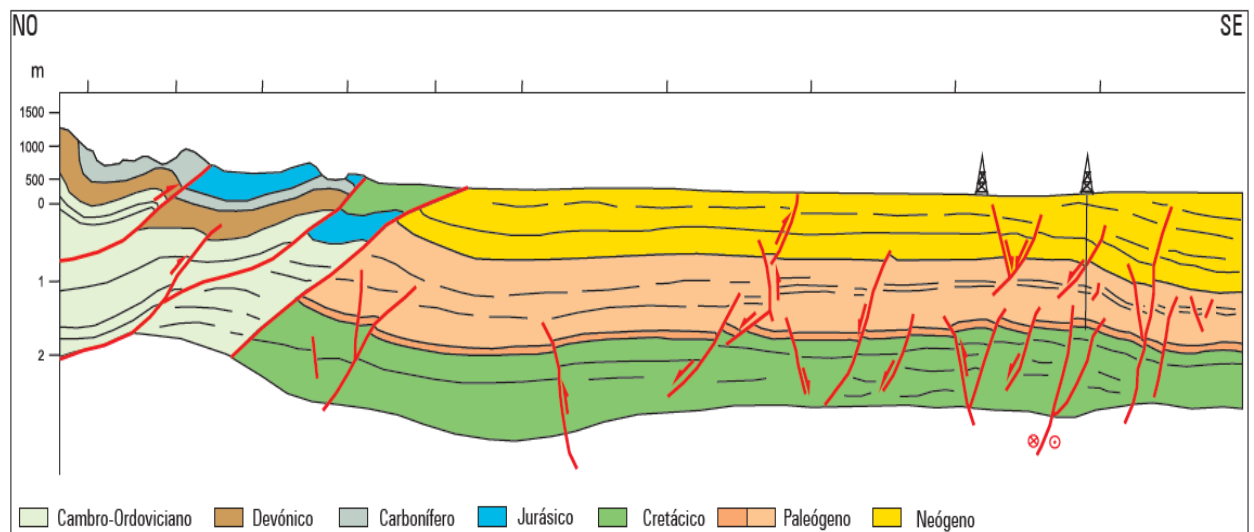
<sup>4</sup> Ibíd.

<sup>5</sup> Cooper, y otros. Op. cit.

**1.3.4. Geología del Petróleo.** En el Bloque ZZ, lo constituyen las areniscas de la parte inferior de la Formación Carbonera depositadas en un ambiente predominantemente fluvial de edad Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano<sup>6</sup>.

El sistema petrolífero puede explicarse por la intercalación de sedimentos finos de inundación, que generaron barreras de permeabilidad situando en diferentes niveles estructurales el contacto agua-aceite, este fenómeno puede observarse en las diferencias que existen de decenas de pies en pozos separados por cientos de metros a un par de kilómetros.

**Gráfico 2.** Corte Estructural Cuenca de los Llanos Orientales.



**Fuente:** Ronda Colombia 2010, ANH. 2010.

**1.3.4.1. Roca Generadora.** La principal roca generadora en esta área son las lutitas marino-continentales de la Formación Gachetá, localizadas por debajo del flanco oriental de la cordillera oriental, estas rocas poseen un kerógeno tipo II y III, rangos de TOC entre 1 y 3% y un espesor efectivo de 50 a 100 metros. La mayor madurez termal se encuentra hacia el SW de la cuenca asociada a la Falla Guaicaramo<sup>7</sup>.

**1.3.4.2. Migración y Entrampamiento.** El petróleo entrampado en la parte central y oriental de la Cuenca de los Llanos migró desde el Piedemonte al sitio de acumulación. Dos pulsos de migración han sido documentados: el primero durante

<sup>6</sup> Gómez , Yoris, Rodriguez, Portillo, & Araujo. Op. cit.

<sup>7</sup> ANH. (2010). *Ronda Colombia Llanos Orientales*. ANH

el Eoceno tardío-Oligoceno y el segundo comenzó en el Mioceno y continua en la actualidad<sup>8</sup>.

En la provincia del meta las trampas principales son pliegues suaves, fallas de rumbo y trampas estratigráficas.

**1.3.4.3. Rezumaderos de Petróleo y Gas en la región.** En la zona que corresponde al Bloque ZZ, no se han observado rezumaderos de petróleo o gas. Sin embargo, sobre la Cordillera Oriental de Colombia existe información relacionada con rezumaderos de petróleo ligados a fallas, que permiten la migración a través de las mismas hacia la superficie.

**1.3.4.4. Reservorios.** Las arenitas de las formaciones Carbonera (C-3, C-5, C-7) y Mirador, de edad paleógeno, son excelentes almacenadoras de hidrocarburos. En la secuencia cretácica algunos intervalos arenosos son también excelentes reservorios. Su rango de porosidad varía entre el 10 al 30%<sup>9</sup>. En el Bloque ZZ, se constituye el reservorio por la parte superior de las areniscas basales de la formación Carbonera, con porosidades entre el 25 y 32% y permeabilidades del orden de 5 a 10 Darcy. Con espesores que varían entre 120 y 200 pies.

**1.3.4.5. Roca Sello.** El sello regional de la cuenca es la Formación León. Por otra parte, las unidades C-2, C-4, C-6 y C-8 de la Formación Carbonera son reconocidas como sellos locales, y además las lutitas cretácicas de las formaciones Gachetá y Guadalupe pueden actuar como sellos intraformacionales<sup>10</sup>.

En el Bloque ZZ, el principal sello vertical para la acumulación de hidrocarburos está asociado a la serie lutítica denominada C4 de la Unidad Carbonera Intermedio que alcanza espesores entre 10 y 20 pies. El sello lateral está conformado por el acuñamiento de la unidad.

---

<sup>8</sup> Ibíd.

<sup>9</sup> Ibíd.

<sup>10</sup> Ibíd.



## **2. SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL (SLA)**

Los sistemas de levantamiento artificial, son un conjunto de equipos, que mediante diferentes métodos llevan fluidos a superficie desde el yacimiento, por medio de mecanismos externos al mismo; cuando el reservorio no tiene la capacidad de producir los fluidos de manera natural o cuando se requiere aumentar el caudal de producción. Pueden suministrar energía adicional a los fluidos o variar alguna de sus propiedades y se constituyen como la primera opción en cualquier etapa de recobro, dependiendo de las condiciones propias de cada pozo. Se clasifican en dos categorías:

- Sistemas que modifican propiedades físicas de los fluidos: Gas lift, Plunger, Chamber lift.
- Sistemas que utilizan bombas para suministrar energía adicional a los fluidos: Bombeo mecánico (pistón), bombeo por cavidades progresivas, bombeo electrosumergible (centrifuga), bombeo hidráulico (tipo jet o pistón).

Estos sistemas tienen rangos de operación propios, debido a que cada uno tiene una configuración distinta, características de diseño diferentes y responden a todos los desafíos hasta ahora conocidos en la industria.

Se realizará a continuación una breve descripción de los SLA que son relevantes al desarrollo de producción de los campos Zeta y Zafír.

### **2.1. BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (BES)**

Este SLA se compone de una bomba centrifuga de varias etapas, conectada mediante un eje a un motor eléctrico sumergido en el fluido, que se conecta a superficie por medio de un cable eléctrico. Su función principal es suministrar energía en forma de presión al fluido. Es uno de los más utilizados en la industria para manejar altos volúmenes de producción en pozos profundos y bajo distintas condiciones.

Funcionamiento: Se basa en el continuo movimiento de la bomba centrifuga multietapa, que recibe potencia del motor eléctrico conectado a superficie a través de un cable que transmite la energía eléctrica desde un variador. Cada etapa de la

bomba suministra un porcentaje de energía al fluido y en conjunto alcanza la presión necesaria para vencer las fuerzas y llegar a superficie.

**Componentes principales en fondo:**

- Guía del Motor.
- Sensor de Fondo.
- Motor Electrosumergible.
- Sección Sellante (Protector o sellos).
- Separador de Gas (Alto volumen de Gas).
- Bomba Sumergible.
- Cabeza de Descarga.
- Cable de Potencia (Cable de Potencia con capilar).
- Intake o Sección de entrada.

**Componentes principales en superficie:**

- Transformador.
- Variador de Frecuencia.
- Caja de venteo.
- Cabezal del pozo.
- Penetrador – Conjunto cable potencia.
- Centralizador.
- Relay Backspin.

**Ventajas:**

- Levantamiento de alto volumen de fluidos.
- Alta eficiencia en el aporte de energía al fluido.
- No se afecta por la desviación, trabaja en pozos direccionales o en plataformas offshore.
- Ocupa poco espacio en superficie.
- Permite la aplicación de tratamientos al fluido.
- Se dispone de unidades con tamaños diversos.

**Desventajas:**

- Poca tolerancia a producción con arenas.
- Fallas eléctricas asociadas al cable.
- Rango limitado a altas temperaturas.
- Requiere altos voltajes.
- Limite en profundidad por altos costos en cableado y costo de unidades.
- En caso de fallas es necesario sacar el equipo del pozo.

- En presencia de alto contenido de gas se puede bloquear la bomba o producir cavitación.
- Requiere tener un control continuo del equipo.

## **2.2. BOMBEO POR CAVIDADES PROGRESIVAS (BCP)**

El sistema de BCP utiliza una bomba de desplazamiento positivo conectada a un motor eléctrico que le transmite el movimiento, este motor puede estar ubicado en el subsuelo (ESBCP) o en cabeza de pozo (BCP), aunque generalmente y para el bloque ZZ se encuentra en superficie, por lo tanto, el motor se conecta con la bomba por medio de una sarta de varillas. Su potencial radica en la facilidad de mover fluidos medios y pesados, con contenidos moderados de arenas, alta viscosidad y alto contenido de agua; es una buena alternativa de optimización y baja de costos ligados al consumo energético.

Funcionamiento: La bomba se conforma por un estator y un rotor, el rotor recibe el movimiento rotatorio desde superficie a través de la sarta de varillas; el estator contiene un polímero de alto peso molecular que tiene la capacidad de deformación elástica, se denomina elastómero. El rotor tiene una forma helicoidal al igual que el estator, al entrar en movimiento forman unas cavidades selladas que se desplazan en movimiento combinado de rotación y traslación desde la zona de succión de la bomba hasta la zona de descarga aumentando la energía del fluido para que este llegue a superficie. El resultado es flujo laminar, con un volumen de descarga proporcional a la cavidad que forma la bomba. Este diseño optimiza el desgaste en las piezas por el efecto de la arena.

### **Componentes principales en fondo:**

- Estator.
- Elastómero.
- Rotor.
- Niple de Paro.

### **Componentes principales en Superficie:**

- Cabezales de rotación.
- Motovariadores Mecánicos
- Motorreductores.
- Variadores de Frecuencia.
- Equipos Integrados de polea y correa.

Ventajas:

- Bajo costo de inversión inicial.
- Producción de crudos con arenas.
- Producción de crudos con alto contenido de agua.
- Optimización y reducción de costos.
- Ocupa poco espacio en superficie.
- Poco peso, fácil transporte e instalación.

Desventajas:

- Limitada capacidad de los elastómeros para manejar altas temperaturas.
- Altos contenidos de aromáticos pueden afectar la bomba.
- Restricción de diseño por la sarta de varillas.
- Incompatibilidad entre marcas y modelos.
- Baja tolerancia a CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y demás ácidos.
- Se dificulta la detección de fallas en fondo.

### **2.3. BOMBEO MECANICO POR UNIDADES HIDRAULICAS (BMH)**

El sistema de BMH es una variación del bombeo mecánico, debido a que el mecanismo que suministra movimiento a la bomba de fondo funciona accionado por fluido hidráulico. Estas unidades son un desarrollo tecnológico con significativas mejoras en la variación de velocidad y recorrido, debido a que la velocidad ascendente y descendente puede ser variable e independiente; su bajo peso y la confiabilidad que presenta lo constituyen como el remplazo a los sistemas mecánicos usados en el tiempo anterior por la compañía operadora en el Bloque ZZ.

Funcionamiento: Este sistema básicamente sube y baja la sarta de varillas que se conectan a una bomba de fondo tipo pistón, la unidad hidráulica se encarga de suministrar la energía por medio de un conjunto (motor, bomba hidráulica, circuitos hidráulicos) hasta el pedestal y el actuador, que se montan sobre la cabeza del pozo, el actuador convierte la energía hidráulica en energía mecánica, moviendo las varillas que transfieren la energía a la bomba de fondo y traen a superficie los fluidos.

**Componentes principales en fondo:**

- Bomba de Subsuelo (Tipo Pistón).
- Sarta de Varillas.

**Componentes principales en Superficie:**

- Bomba Hidráulica.
- Motor (Suministra Energía Hidráulica).
- Pedestal.
- Actuador.

**Ventajas:**

- Longitud de carrera variable, desde 12 hasta 240 pulgadas.
- Control y operación de múltiples pozos desde una sola estación.
- No se requiere equipo de servicio a pozo, para la extracción del equipo de fondo.
- Puede operar con bajas concentraciones de arena.
- Sistema modular, mantenimiento rápido.
- Grandes recorridos y pocos ciclos por minuto.
- Velocidad variable e independiente para recorrido descendente y ascendente.

**Desventajas:**

- Mayor riesgo en superficie por las altas presiones del fluido hidráulico.
- Alto costo inicial.
- Baja eficiencia en pozos con alto GLR
- Operación a profundidades limitadas.
- Problemas en pozos desviados.

### 3. PRODUCCIÓN

Se considera un sistema de producción, al proceso de migración o transporte de los fluidos desde el radio de drene del yacimiento, hasta el separador de fluidos en superficie; como la columna de fluidos de los pozos que conforman el Bloque ZZ, no tienen el diferencial de presión óptimo para garantizar que éstos lleguen por sí mismos hasta la superficie, la producción en los campos de este bloque se realiza mediante un aporte de energía externa por medio de los SLA.

#### 3.1. PRODUCCIÓN HISTORICA

De acuerdo a los datos históricos del Bloque ZZ, sus campos han tenido la siguiente tendencia expresada en barriles totales, barriles de crudo y barriles de agua a través de sus años de producción. La tendencia de los gráficos muestra una disminución en la producción de fluidos en ambos campos en el año 2016, debido a que los datos tomados para este año fueron hasta el 30 de septiembre, así que para el último año hacen falta los datos de producción de los meses octubre, noviembre y diciembre, razón por la cual estos valores tienden a ser significativamente menores.

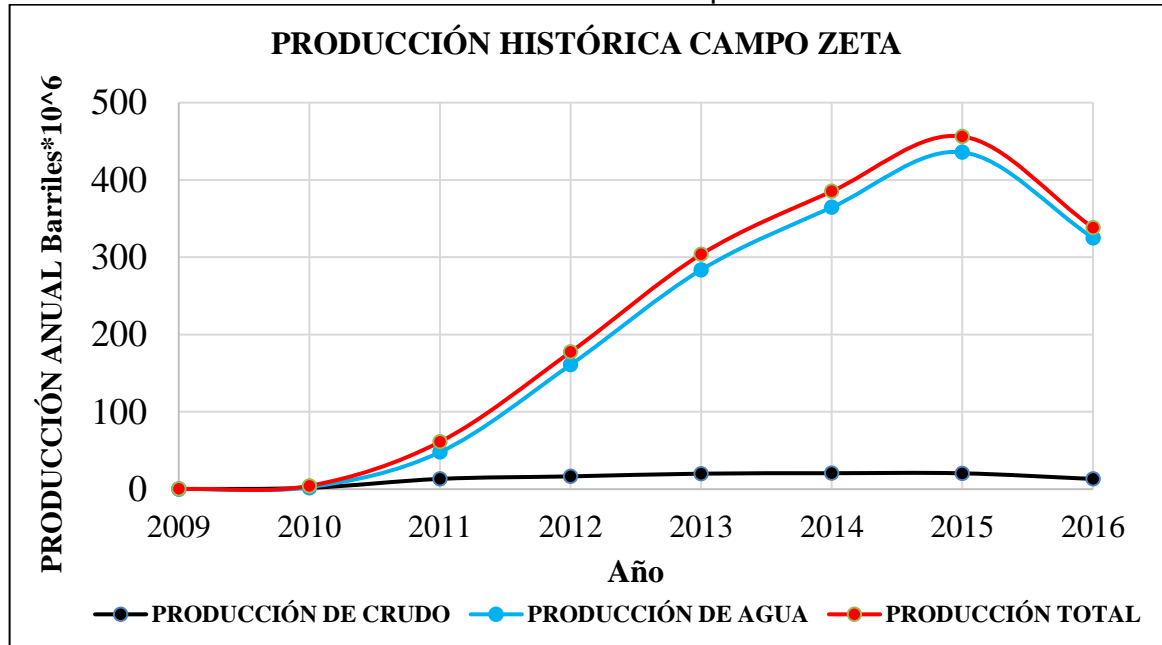
**3.1.1. Producción anual en Campo Zeta.** El gráfico 3, representa la producción anual en barriles de crudo, barriles de agua y barriles de fluidos totales en Campo Zeta, desde el año 2009 hasta el 30 de septiembre del año 2016. (Fecha de estudio).

La tabla 3, muestra los valores y tendencia de datos de producción de fluidos, datos de BS&W y la relación agua – aceite, de Campo Zeta, desde el año 2009 hasta el 30 de septiembre del año 2016.

**3.1.2. Producción anual en Campo Zafír.** El gráfico 4, representa la producción anual en barriles de crudo, barriles de agua y barriles de fluidos totales en Campo Zafír, desde el año 2011 hasta el 30 de septiembre del año 2016.

La tabla 4, presenta los valores y tendencia de datos de producción de fluidos, datos de BS&W y la relación agua – aceite, de Campo Zafír, desde el año 2011 hasta el 30 de septiembre del año 2016.

**Gráfico 3.** Producción histórica de fluidos de Campo Zeta.



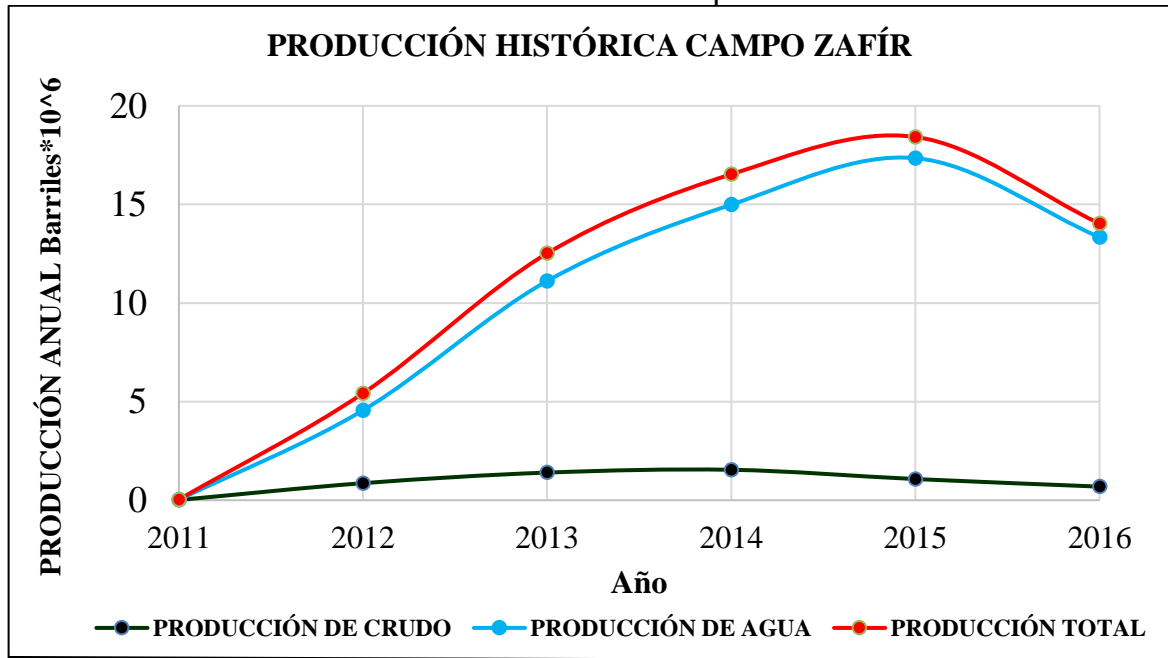
**Tabla 3.** Datos anuales, de producción, BS&W y WOR histórico en Campo Zeta.

Año	Producción De Crudo (Barriles)	Producción De Agua (Barriles)	Producción Total Fluidos (Barriles)	% BS&W	WOR (BblW/BblO)
2009	112.571	139.310	251.881	57,96%	2,4
2010	1.754.330	2.599.981	4.354.311	60,02%	1,7
2011	13.308.535	47.910.300	61.218.834	75,39%	3,5
2012	16.563.647	160.886.857	177.450.503	90,35%	9,6
2013	20.086.637	283.705.596	303.792.233	93,32%	14,1
2014	20.648.984	364.581.299	385.230.283	94,62%	17,4
2015	20.511.773	435.783.656	456.295.429	95,50%	21,3
2016	13.244.091	325.074.105	338.318.196	96,08%	24,6

Los gráficos 3 y 4, representan el comportamiento de la producción de fluidos de Campo Zeta y Campo Zafír respectivamente, a través de los años. A partir de enero del año 2009 para Campo Zeta y desde enero del año 2011 para Campo Zafír, hasta el 30 de septiembre del año 2016 para los dos campos; donde se aprecia como la producción de fluidos totales incrementó notablemente a través del tiempo, pero la

variación de producción de aceite fue mínima, lo que indica que la mayor producción es agua como lo corroboran sus valores de BS&W y WOR.

**Gráfico 4.** Producción histórica de fluidos de Campo Zafír.



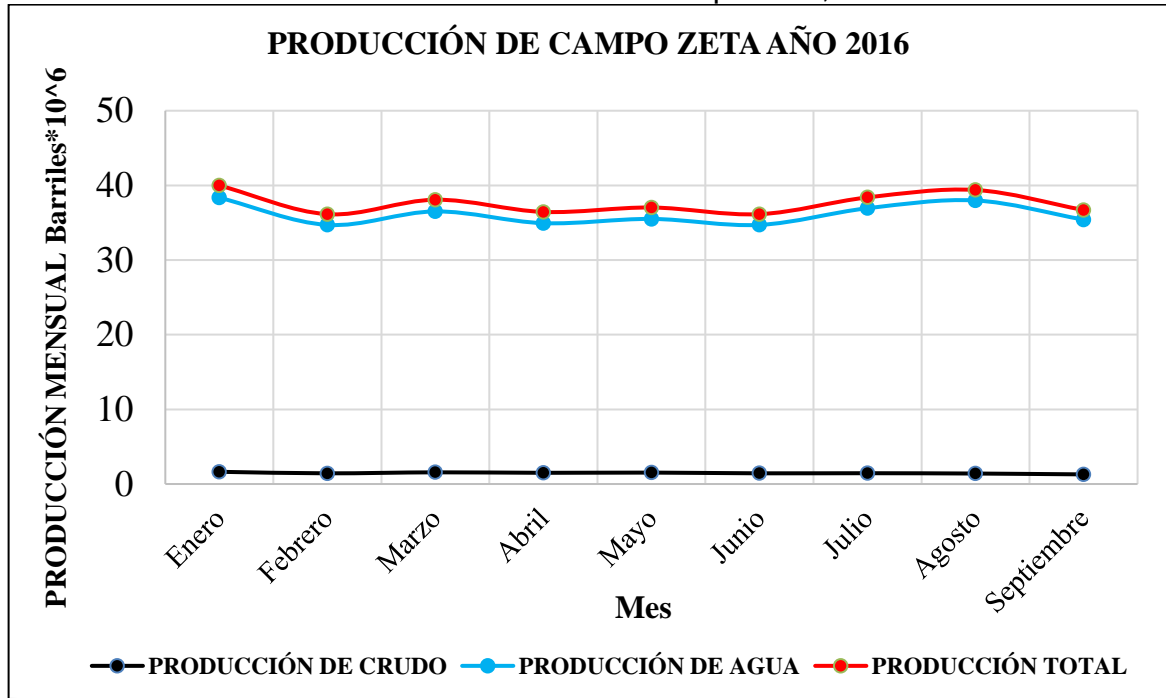
**Tabla 4.** Datos anuales, de producción, BS&W y WOR histórico en Campo Zafír.

Año	Producción De Crudo (Barriles)	Producción De Agua (Barriles)	Producción Total Fluidos (Barriles)	% BS&W	WOR (BblW/BbIO)
2011	13.872	21.663	35.535	57,71%	1,9
2012	863.992	4.559.591	5.423.583	80,47%	5,5
2013	1.400.877	11.117.032	12.517.909	88,85%	8,1
2014	1.542.686	14.987.045	16.529.732	90,71%	10,1
2015	1.073.858	17.348.979	18.422.838	94,07%	16,3
2016	689.433	13.338.856	14.028.289	95,09%	19,4



A continuación, en el gráfico 5, se representa la producción mes a mes en Campo Zeta, en base a la tabla 5; desde el 01 enero hasta el 30 de septiembre del año 2016.

**Gráfico 5.** Producción mensual de fluidos en Campo Zeta, año 2016.



La producción diaria estimada promedio mensual de petróleo con corte a 30 de septiembre de 2016 en campo Zeta, alcanzó los 42.995 BOPD, con una producción de agua de 1.180.468 BWPD, con un BS&W de 96,49% y una relación agua-aceite 27,46 (tabla 5).

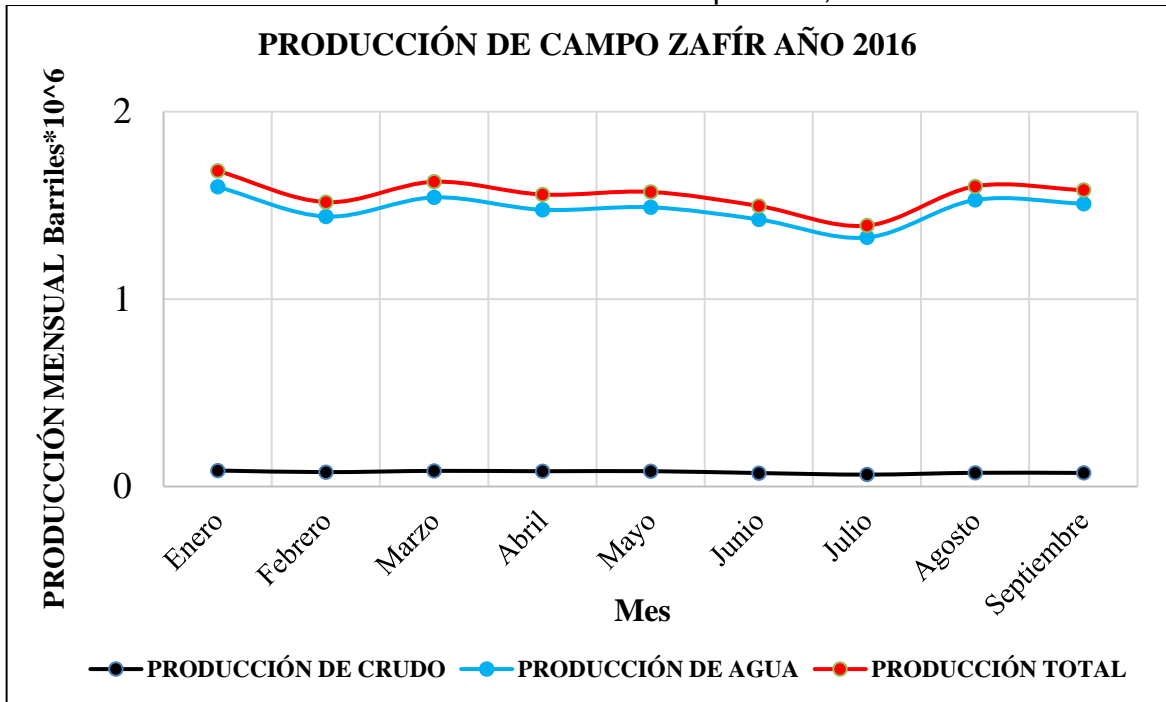
El gráfico 6, muestra la producción mes a mes en Campo Zafír, desde el 01 enero hasta el 30 de septiembre del año 2016.

La producción diaria estimada del promedio mensual de petróleo con corte a 30 de septiembre de 2016 en Campo Zafír, alcanzó los 2.413 BOPD, con una producción de agua de 50.294 BWPD, con un BS&W de 95,42% y una relación agua-aceite de 20,84 (tabla 6).

**Tabla 5.** Datos de producción, BSW y WOR en el año 2016 de Campo Zeta.

Mes	Producción De Crudo (Barriles)	Producción De Agua (Barriles)	Producción Total Fluidos (Barriles)	% BS&W	WOR (BbiW/BbIO)
Enero	1.635.996	38.352.637	39.988.633	95,91%	23,4
Febrero	1.433.274	34.710.667	36.143.940	96,03%	24,2
Marzo	1.566.505	36.514.119	38.080.624	95,89%	23,3
Abril	1.501.174	34.943.383	36.444.557	95,88%	23,3
Mayo	1.530.172	35.508.148	37.038.319	95,87%	23,2
Junio	1.434.491	34.711.331	36.145.822	96,03%	24,2
Julio	1.449.024	36.938.756	38.387.780	96,23%	25,5
Agosto	1.403.618	37.981.030	39.384.648	96,44%	27,1
Septiembre	1.289.838	35.414.034	36.703.872	96,49%	27,5

**Gráfico 6.** Producción mensual de fluidos en Campo Zafír, año 2016.



Se evidencia en los dos campos una producción de agua significativamente alta, que aumenta con el tiempo. Si bien en los dos últimos años la producción de agua bajo, la proporción que se produce de agua-aceite o WOR, ha ido creciendo mes a mes.

**Tabla 6.** Datos mensuales de producción, BS& W y WOR para el año 2016 en Campo Zafír.

Mes	Producción De Crudo (Barriles)	Producción De Agua (Barriles)	Producción Total Fluidos (Barriles)	% BS&W	WOR (BblW/BblO)
Enero	85.209	1.598.876	1.684.085	94,94	18,8
Febrero	76.657	1.440.705	1.517.362	94,95	18,8
Marzo	83.464	1.542.367	1.625.830	94,87	18,5
Abril	81.465	1.476.421	1.557.886	94,77	18,1
Mayo	81.882	1.489.707	1.571.589	94,79	18,2
Junio	71.816	1.424.929	1.496.745	95,20	19,8
Julio	63.371	1.328.647	1.392.018	95,45	21,0
Agosto	73.184	1.528.383	1.601.567	95,43	20,9
Septiembre	72.386	1.508.821	1.581.207	95,42	20,8

### 3.2. PRODUCCIÓN DIFERIDA

La producción diferida hace referencia al volumen de petróleo que por alguna razón se ha dejado de extraer de acuerdo al potencial de producción que se tiene establecido para un determinado tiempo. Las diferidas en este estudio, están expresadas en barriles de crudo, se contabilizan desde la falla del equipo hasta que es puesto en operación nuevamente y para la compañía representa altas sumas de dinero que se deja de producir por la no extracción de este volumen.

**3.2.1. Producción diferida debido a fallas en SLA.** En la tabla 7, se evidencia el volumen de petróleo que se dejó de producir anualmente en Campo Zeta; desde el año en que se reportó la primera falla en equipos de fondo, que para este campo fue en el 2009 hasta el 30 de septiembre del año 2016, estas diferidas son sólo las causadas por interrupciones en el funcionamiento continuo de los pozos, debido a fallas presentadas en los SLA.

De la misma forma en la tabla 8, se presenta la información recopilada acerca de las diferidas para Campo Zafír, desde el año 2012, año en el que se presenta la primera falla asociada a equipos de fondo en este campo hasta el 30 de septiembre del año 2016.

**Tabla 7.** Producción diferida anual, debido a interrupciones por fallas en los SLA en campo Zeta.

<b>Año</b>	<b>Número Fallas</b>	<b>Número Equipos en Servicio</b>	<b>Diferida Causada por Fallas (Barriles)</b>
2009	1	10	769
2010	5	42	28400
2011	8	108	18200
2012	18	158	34000
2013	31	243	42800
2014	38	294	124600
2015	26	309	206000
2016	22	215	367600

**Tabla 8.** Producción diferida anual, debido a interrupciones por fallas en los SLA en campo Zafír.

<b>Año</b>	<b>Número Fallas</b>	<b>Número Equipos en Servicio</b>	<b>Diferida Causada por Fallas (Barriles)</b>
2012	1	40	320
2013	6	53	13815
2014	1	63	6150
2015	2	59	11100
2016	3	55	31200

Como se mencionó anteriormente, este volumen de crudo representa altas sumas de dinero que la compañía ha dejado de recibir en producción, a causa de estas interrupciones. En algunos casos estas diferidas tardan algunas horas, como en otros son de días y hasta de semanas; en las que el pozo permanece inactivo. Por otra parte, son altos los costos operacionales para dar una solución a estos eventos.

## 4. FALLAS

A la situación donde un conjunto de equipos, herramientas o partes deja de realizar una tarea para la que fue diseñado se le conoce como falla, la idea principal es prevenir dicha situación, para lo cual se emplean métodos y análisis que lleven un seguimiento y control de los fenómenos o parámetros que dan indicios de la falla y de esta manera se tomen decisiones que permitan un mejor funcionamiento bajo las situaciones estimadas garantizando la confiabilidad del equipo.

Realizar un seguimiento por medio de esta base de datos a las fallas ocurridas en los equipos de fondo del Bloque ZZ, brinda una herramienta de control, mantenimiento, prevención y diagnóstico, de las características de funcionamiento en el equipo que evidencien un posible daño y así minimizar las pérdidas en la etapa productiva de un pozo, a partir de la detección y control de fallas potenciales, permitiendo tomar decisiones operativas, con el objetivo de prevenir un efecto dominó en el mecanismo de falla.

El análisis de fallas puede lograr grandes ahorros en mantenimiento pues sirve para erradicar y controlar fallas reales o potenciales en los elementos o equipos, donde ayuda a ahorrar recursos en mantenimiento<sup>11</sup>.

### 4.1. CICLO DE VIDA DE LOS EQUIPOS DEL BLOQUE ZZ

Estudios realizados sobre la confiabilidad en diferentes equipos han demostrado que la tasa de fallas que se presenten en un equipo, no es constante a lo largo de su tiempo de operación, sino que hay lapsos de tiempo donde el número de fallas es más crítico, y otro lapso de tiempo donde esta tasa de fallas se hace más constante. La curva de bañera es la que mejor representa esta descripción aplicada al Bloque ZZ.

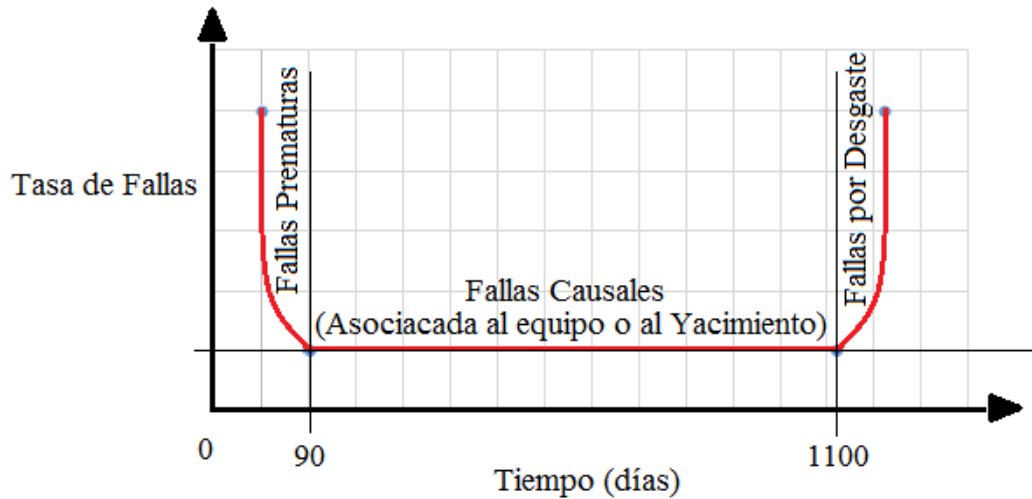
El gráfico 7, representa la curva de bañera, con valores específicos para todos los SLA en el Bloque ZZ. De acuerdo al tiempo de operación de los equipos, las fallas se clasifican en: fallas prematuras, fallas causales y fallas por desgaste. Las definiciones que a continuación serán descritas están sujetas a valores y rango de

---

<sup>11</sup> Mora, L. A. (2006). *Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios, Enfoque sistemático Kantiano*. Medellín, Colombia: AMG.

valores establecidos por la compañía operadora exclusivamente de los campos que comprenden el Bloque ZZ.

**Gráfico 7.** Curva de bañera, tipos de fallas vs tiempo de operación.



**4.1.1. Fallas Prematuras.** Se denominan fallas prematuras, a las que ocurren en equipos con tiempos de operación menores a los 90 días, en este lapso de tiempo se espera que el equipo instalado presente posibles anomalías en su funcionamiento principalmente por:

- Defectos de fabricación del equipo.
- Fallas mecánicas en el momento de la instalación.
- Fallas por una mala operación de la cuadrilla de trabajo.

Las fallas prematuras a su vez se clasifican en: Falla prematura infantil y falla prematura normal, donde la falla prematura infantil es la que se produce en equipos con tiempos de operación entre los 0 y 30 días de funcionamiento; y la falla prematura normal a la ocurrida en equipos con tiempos entre los 30 y 90 días.

**4.1.2. Fallas Causales.** Este tipo de fallas son las que se producen en el lapso de tiempo de operación del equipo entre los 90 y los 1100 días, en este periodo se espera que la tendencia del número de fallas sea menor y constante, en el Bloque ZZ, estas fallas se clasifican en: falla causal asociada al equipo y falla causal asociada al yacimiento.

Las fallas causales asociadas al equipo, como su nombre lo indica, son aquellas en las que su origen de daño, está directamente asociado a componentes o condiciones propias del equipo, mientras que las fallas de tipo causal asociadas al yacimiento son aquellas que se producen por efectos derivados de las condiciones del pozo, por ejemplo, daños en equipos ocasionados por corrosión o daños ocasionados por presencia de arenas de la formación litológica.

**4.1.3. Fallas por Desgaste Operativo.** Después de determinado tiempo todos los equipos empiezan a presentar un desgaste o deterioro natural, el cual es inevitable, este desgaste es asociado a las características especiales para las cuales se diseñó el equipo, en los equipos instalados en el bloque ZZ este periodo inicia a partir de los 1100 días de operación.

Es conveniente identificar cuáles son las etapas más críticas en la vida útil de los equipos, para llevar un control de los sucesos que tienen mayor probabilidad de desencadenar en una falla, reconocer los patrones de falla y así tomar decisiones que conlleven a minimizar los riesgos y la tasa de fallas de un equipo en relación de su vida útil. Para esto nos vamos a basar en los indicadores de gestión ICR (indicador clave de rendimiento).

## 5. INDICADORES DE GESTIÓN (ICR)

En este capítulo, se presentan los principales indicadores de gestión, llamados también indicadores claves de rendimiento (ICR), como parámetros importantes de este estudio, para identificar el rendimiento de los equipos con base a unos objetivos determinados con anterioridad.

Los ICR esenciales precisados en este trabajo son: MTBF (tiempo medio entre fallas), índice de falla, índice de extracción, tiempo de operación y tiempo de operación promedio.

Se hace necesario evaluar estos ICR, ya que el comportamiento de los equipos en campo es muy variable a través del tiempo, por lo tanto, es posible que las condiciones de operación vayan por buen camino o que por el contrario el desempeño de los equipos no esté cumpliendo con los resultados deseados y se estén teniendo rendimientos negativos, lo que permitirá tomar acciones a tiempo.

### 5.1. MTBF<sup>12</sup>

Mean Time Before Failures (Tiempo medio entre fallas). El MTBF es el tiempo aproximado de operación de un equipo a partir del nivel de confiabilidad de sus componentes. Esta medición es una de las más utilizadas para el cálculo de la función de confiabilidad en la mayoría de procesos industriales, en nuestro caso es considerado el tiempo de vida útil del SLA que se esté utilizando en un respectivo pozo o tiempo estimado de operación.

Para este cálculo se debe prestar especial atención a los datos censurados que son todos aquellos casos en los cuales el equipo ha sido retirado antes de que presentara algún tipo de falla o que la falla sufrida sea ocasionada por un agente externo al SLA. Los datos censurados son de suma importancia dentro del cálculo del MTBF y se deben tener en cuenta para el cálculo estadístico con el método de análisis de supervivencia.

---

<sup>12</sup> Bonilla Valencia, M. F. (2013). *Análisis de Falla de Equipos Electrosumergibles Empleados en el Campo Shushufindi*. Quito.



El cálculo del MTBF para una muestra de n equipos se puede realizar utilizando la siguiente fórmula:

$$MTBF = T / n \quad (1)$$

Donde:

T = tiempo de operación total acumulada de los equipos (todos los pozos con mismo SLA)

n = número total acumulado de fallas

Es importante resaltar que para la utilización de este cálculo todas las fallas descritas deben ser producto directo de la confiabilidad de cada uno de sus componentes. Esto sería un caso ideal, pero en condiciones de campo muchos de los equipos son retirados por eventos que no son producto de una falla y se pueden tener fallas que no son producto de los componentes del equipo, a este tipo de datos se los denomina censurados, a continuación, tenemos algunos ejemplos:

- Retiro de un equipo por rediseño.
- Retiro de un equipo para trabajos de adecuación en el pozo.
- Retiro de una unidad por abandono de pozo.

Se pueden tener fallas en los equipos por agentes externos como:

- Falla del equipo por mala operación.
- Falla del equipo por rotura de la tubería.
- Falla del equipo por problemas de mala instalación.

#### **Censura:**

1 - Para fallas directas, componentes del equipo.

0 - Para equipos operando, equipos esperando mantenimiento, equipos apagados y equipos con fallas indirectas, datos censurados.

El método más utilizado para este tipo de análisis donde se hace necesario tener en cuenta los datos censurados es el propuesto por Herd Johnson.

**5.1.1. Cálculo según el método de Herd Johnson.** El método consiste en la clasificación descendente o ascendente de los tiempos de operación para N equipos en una muestra que incluyen tanto fallas como datos censurados, como recomendación es preferible que el orden establecido sea en forma ascendente. Para cada uno de los tiempos la función de distribución acumulada de fallas  $F(t)$  se define como:

$$F(t_i) = \frac{i}{N + 1} \quad (2)$$

De dónde:

$$R(t_i) = 1 - F(t_i) = \frac{N + 1 - i}{N + 1} \quad (3)$$

$$R(t_{i-1}) = \frac{N + 2 - i}{N + 1} \quad (4)$$

Se suma uno debido a que el ancho del intervalo es de uno entre  $R(t_i)$  y  $R(t_{i-1})$ . A partir de estas expresiones se desarrolla una relación recursiva de  $R(t_i)$  y  $R(t_{i-1})$ .

$$\frac{R(t_i)}{R(t_{i-1})} = \frac{N + 1 - i}{N + 2 - i} \quad (5)$$

La probabilidad condicional se define como:

$$\frac{R(t_i)}{R(t_{i-1})} = \begin{cases} \frac{N + 1 - i}{N + 2 - i} & \text{para falla "1"} \\ 1 & \text{para censura "0"} \end{cases} \quad (6)$$

La función de confiabilidad para cualquier tiempo  $t_i$  se define como:

$$R(t_i) = R\left(\frac{t_i}{t_{i-1}}\right) R(t_{i-1}) \quad (7)$$

y recursivamente

$$R(t_i) = R\left(\frac{t_i}{t_{i-1}}\right) R\left(\frac{t_{i-1}}{t_{i-2}}\right) R\left(\frac{t_{i-2}}{t_{i-3}}\right) \dots \dots \dots R\left(\frac{t_1}{t_0}\right) \quad (8)$$

Con  $R(0) = 1$

Una vez obtenida la función de confiabilidad se puede obtener el MTBF

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt \approx \sum_{i=1}^N R(t_{i-1})(t_i - t_{i-1}) \dots \dots \dots \quad (9)$$

Al obtener el MTBF mediante el método de distribución de frecuencias o análisis de supervivencia se aplica la ecuación exponencial del método de tasa de falla constante para obtener la curva exponencial decreciente que ayudará al análisis del tiempo de operación.

La función de confiabilidad aplicando el análisis de tasa de falla constante, se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$R(t) = e^{\frac{-t}{MTBF}} \quad (10)$$

## 5.2. TIEMPO DE OPERACIÓN (TO)

Es el tiempo total de funcionamiento del equipo, sin interrupción alguna, en otras palabras, es el tiempo total desde su instalación, restando las paradas realizadas al pozo, ya sean por fallas, mantenimientos, o cualquier otro evento.

$$\textit{Tiempo de Operación: Tiempo Neto de funcionamiento} \\ \textit{- Paradas realizadas al equipo} \quad (11)$$

### 5.3. TIEMPO DE OPERACIÓN PROMEDIO (TOP)

Es el promedio aritmético de los tiempos de operación de un número determinado de equipos, este valor se obtiene a partir de la sumatoria de todos los TO de los equipos, dividido entre el número total de equipos.

$$TOP: \frac{TO_1 + TO_2 + TO_3 + TO_n}{n} \quad (12)$$

$TO_1$  = Tiempo de operación del equipo 1.

$TO_n$  = Tiempo de operación del equipo n.

$n$  = Número total de equipos.

### 5.4. ÍNDICE DE FALLA (IF)

Es una medida que asocia el número de fallas reportadas en los equipos, con el número de equipos que se encontraban funcionando, en un lapso de tiempo determinado.

$$\text{Índice de Falla: } \frac{\# \text{ Fallas}_t}{\# \text{ Equipos Activos}_t} \quad (13)$$

$\# \text{ Fallas}_t$  = Número de fallas reportadas en un tiempo  $t$ .

$\# \text{ Equipos Activos}_t$  = Número de equipos operando en un tiempo  $t$ .

### 5.5. ÍNDICE DE EXTRACCIÓN (IE)

Este indicador nos muestra la relación entre la cantidad de extracciones realizadas a los pozos, con el número de equipos que se encontraban activos en un determinado lapso de tiempo.

$$\text{Índice de Extracción: } \frac{\# \text{ Extracciones}_t}{\# \text{ Equipos Activos}_t} \quad (14)$$

#  $\text{Extracciones}_t$  = Número de extracciones realizadas en un tiempo  $t$ .

#  $\text{Equipos Activos}_t$  = Número de equipos operando en un tiempo  $t$ .

## 6. PROCEDIMIENTO GENERAL

Se inició realizando la recolección y clasificación de toda la información histórica que tenía la empresa acerca de las intervenciones realizadas a cada pozo del Bloque ZZ desde su instalación inicial. Se consultaron informes operacionales, estados mecánicos, entre otros archivos, tanto en medio físico como magnético. De esta información se seleccionaron los datos de cada pozo, como fechas, causas generales y específicas de todas las actividades realizadas durante su tiempo de operación (corridas, extracciones, fallas, eventos, etc), así como información de cada uno de los componentes del equipo de fondo instalados, de acuerdo al SLA, caudal de operación y proveedor.

La información recolectada fue tabulada y agrupada por medio de los indicadores de gestión, con la ayuda del Software Microsoft Excel. Las tablas resultantes (ver Anexo A), están representadas por gráficos, estos gráficos para el caso del Campo Zeta se encuentran año por año y para el caso de Campo Zafír se presentan para toda la vida productiva del campo. Los gráficos permitirán un análisis mucho más fácil y rápido por parte de la persona o empresa interesada y se encuentran agrupados de la siguiente manera:

- Tasa y causa de las Extracciones realizadas.
- Tasa y tipos de Fallas Por SLA.
- Tasa de Fallas Totales anual por rangos de Tiempos de Operación.
- Tasa de Fallas Totales anual por Caudal.
- Índice de Extracción e Índice de Falla por SLA.
- Número Total de Instalaciones acumuladas por SLA anual por rangos de Tiempo de Operación.
- MTBF y Tiempo de Operación Promedio anual por SLA.
- Tasa y tipos de Falla por proveedor.
- Principal componente afectado en las Fallas por tipo de SLA.
- Índice de Fallas por proveedores.
- Porcentaje de instalaciones acumuladas por proveedor de acuerdo a los rangos de Tiempo de Operación alcanzados en cada año.
- MTBF y Tiempo de Operación Promedio anual por proveedor

Debido a que el campo Zafír tiene menos cantidad de pozos, se escogió este campo para representar todos los datos en conjunto lo que permite evidenciar año por año los sucesos que afectaron los SLA. A diferencia del campo Zeta, donde la información expuesta en el capítulo de resultados evidencia los acontecimientos mes a mes.

En los gráficos representativos agrupados por compañías operadoras, los nombres de estas empresas han sido cambiados debido a la confidencialidad, pero en todo caso los datos son reales.

## **6.1.PROCEDIMIENTO EN POZOS CON EQUIPOS OPERADO A VALORES LIMITES DE MTBF**

**6.1.1. Identificar pozos en riesgo por TO Según MTBF.** En la base de datos se identifican los pozos que hayan sobrepasado el límite máximo de valor MTBF, de acuerdo a la compañía fabricante.

La base de datos generará un sistema de alarma, para los pozos en los que los equipos sobrepasen estos límites.

Al identificar los equipos en funcionamiento, que están en inminente riesgo de falla por su TO, se procede a revisar los parámetros limitantes tanto en los equipos de fondo como en superficie, con el fin de saber si están dentro de los criterios de funcionamiento o no, (este paso no hace parte de los objetivos de este trabajo, pero se presenta una breve descripción en el anexo B y C) de la siguiente manera:

### **Para Equipos BES:**

- Verificar valores medidos en VSD, SUT y motor
- A la salida del VSD/primario SUT
- A la entrada del motor/secundario SUT
- Verificar aislamiento y balance de fases
  - Fase a tierra
  - Desbalance de fases
- Calcular potencias, corrientes y limitaciones principales
  - Limitante por potencia VSD
  - Limitante por corriente VSD
  - Limitante por potencia del transformador elevador SUT
  - Limitante por corriente del motor de fondo

### **Para Equipos BCP:**

Limitaciones Principales:

- Limitante por potencia VSD
- Limitante por corriente VSD
- Limitante por corriente del motor de superficie.

- Limitante por relación entre poleas.
- Limitante por torque máximo en las varillas.
- Limitante por sumergencia.

### **Para Equipos BMH (Unidades Hidráulicas)**

Limitaciones Principales:

- Limitante unidad de superficie.
- Limitante sensor de posicionamiento.
- Limitante funcionamiento sección sellante.
- Limitante operación bomba (Validación Dinagrama).
- Limitante Carga axial sarta de varillas.



## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo los datos de cada pozo han sido procesados y se encuentran representados por gráficos, están agrupados por campo; para el caso del campo Zeta se presentan año por año, lo cual va a permitir un análisis más detallado para cada uno de los casos de falla que se presentaron y para el campo Zafir están agrupados por el total de años en producción, permitiendo conocer la evolución de los equipos y de las fallas de forma más superficial, pero al mismo tiempo permite una comparación más directa respecto a los otros años.

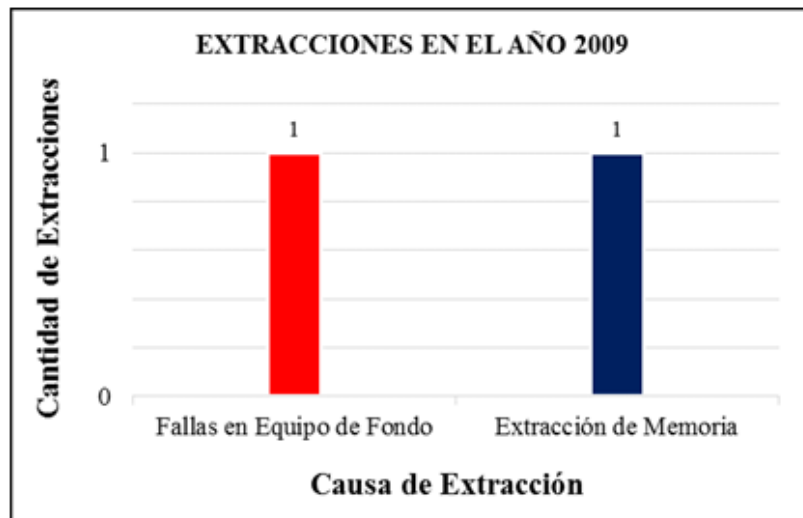
### 7.1. CAMPO ZETA

A continuación, se realiza un análisis por año de cada uno de los parámetros que afectan de manera directa e indirecta los equipos que se encuentran en fondo, dependiendo del SLA, caudal y compañía que suministra el equipo, entre otros.

#### 7.1.1. Campo Zeta año 2009.

##### 7.1.1.1. Tasa y causa de las Extracciones realizadas en el año 2009.

**Gráfico 8.** Causa principal de las Extracciones en Campo Zeta realizadas en el año 2009.



En el año 2009 como se observa en el gráfico 7, se realizaron 2 intervenciones a los pozos, 1 fue por falla en el equipo de fondo, para un porcentaje de falla del 50% con respecto al numero de extracciones realizadas, la otra intervencion fue para extraer una memoria que se habia instalado para verificar las condiciones del yacimiento.

### 7.1.1.2. Tasa y tipos de Fallas por SLA en el año 2009.

**Gráfico 9.** Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2009.

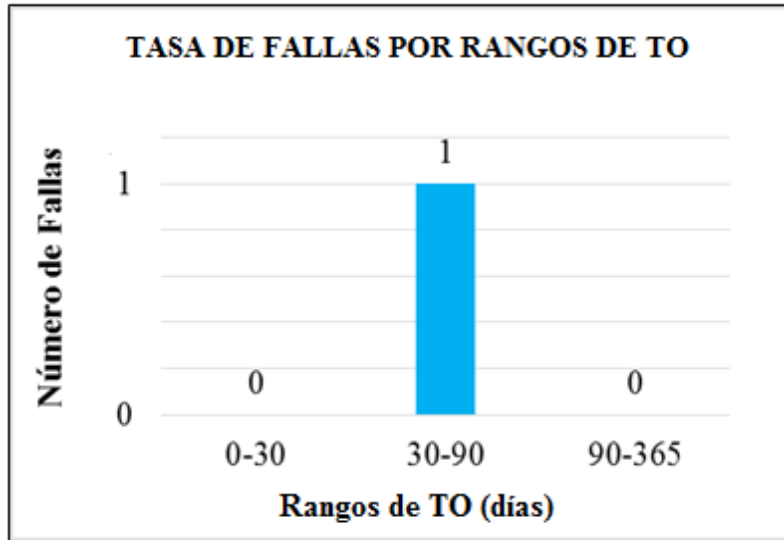


El gráfico 8, indica que la única falla reportada en el año 2009 fue en un pozo con sistema de levantamiento BES, esta falla fue prematura. Los pozos con sistema de levantamiento BCP no presentaron fallas en fondo.

### 7.1.1.3. Tasa de Fallas totales por rangos de TO en el año 2009.

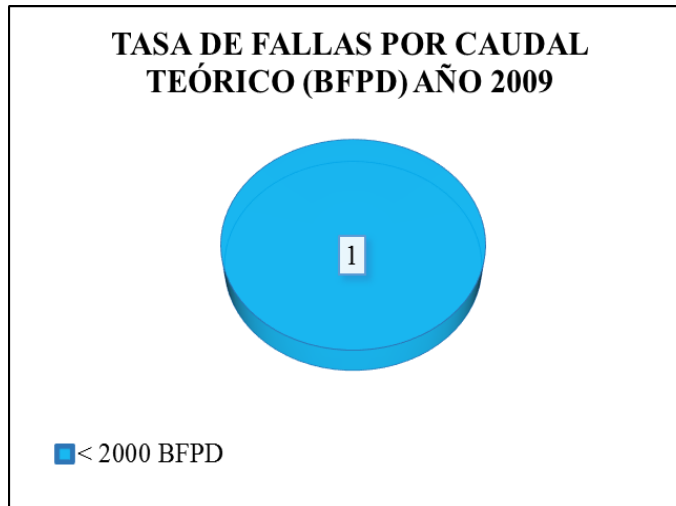
Según datos históricos del pozo, al mes de diciembre del 2009 solo había 10 pozos corriendo, 4 del sistema BES y 6 del sistema BCP, con tiempos de operación no mayores a los 160 días, el campo estaba en sus inicios de producción y la única falla reportada tuvo lugar en el periodo de fallas prematuras (0-90 días), fue en un pozo con sistema BES a los 55 días de operación (gráfico 9). Los equipos del sistema BCP no reportaron ninguna falla.

**Gráfico 10.** Número de fallas en Campo Zeta de acuerdo a los TO en el año 2009.



**7.1.1.4. Tasa de Fallas totales por Caudal teórico en el año 2009.**

**Gráfico 11.** Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico en el año 2009.



La única falla ocurrida en el 2009 (gráfico 10), se presentó en un pozo con caudal menor a los 2000 BFPD, con sistema de bombeo electrosumergible, afectando al sensor por bajo aislamiento.

7.1.1.5. IE e IF por SLA en el año 2009.

Gráfico 12. IE e IF en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2009.

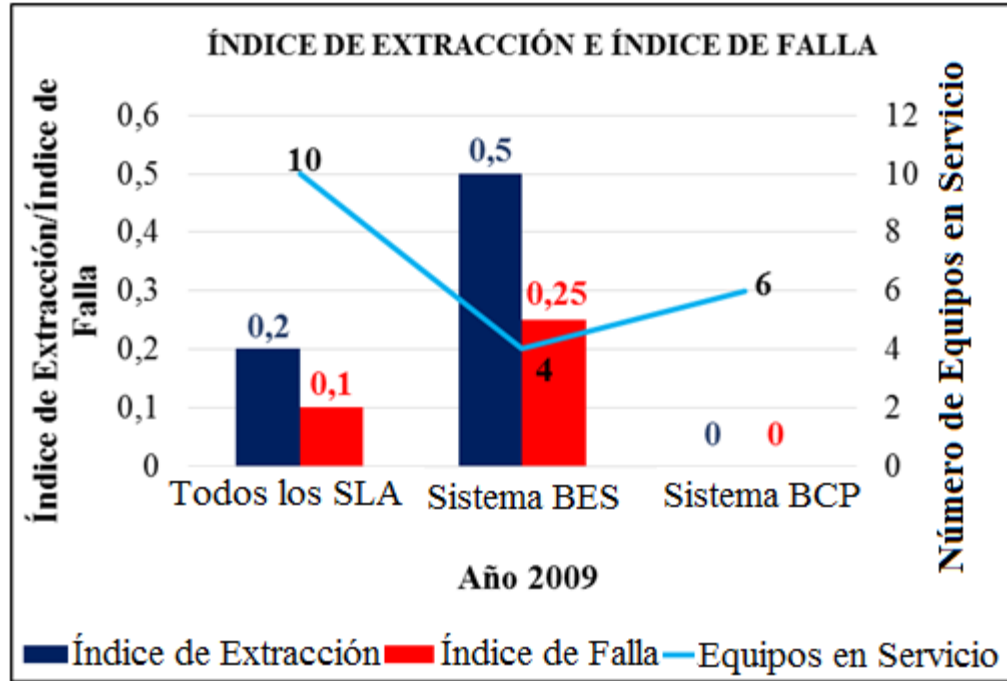
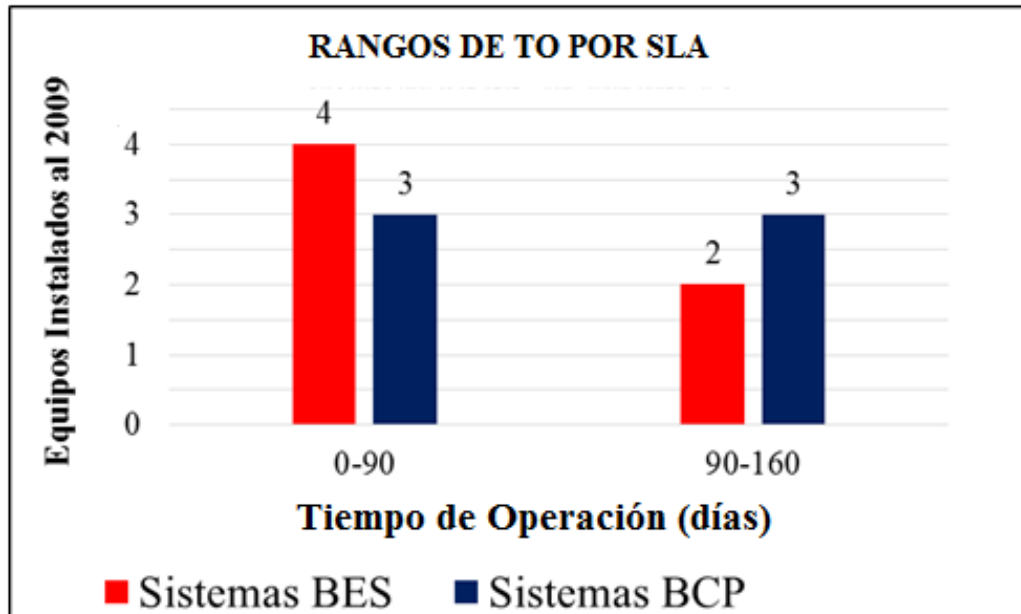


Gráfico 13. Rango de TO por tipo de SLA Campo Zeta año 2009

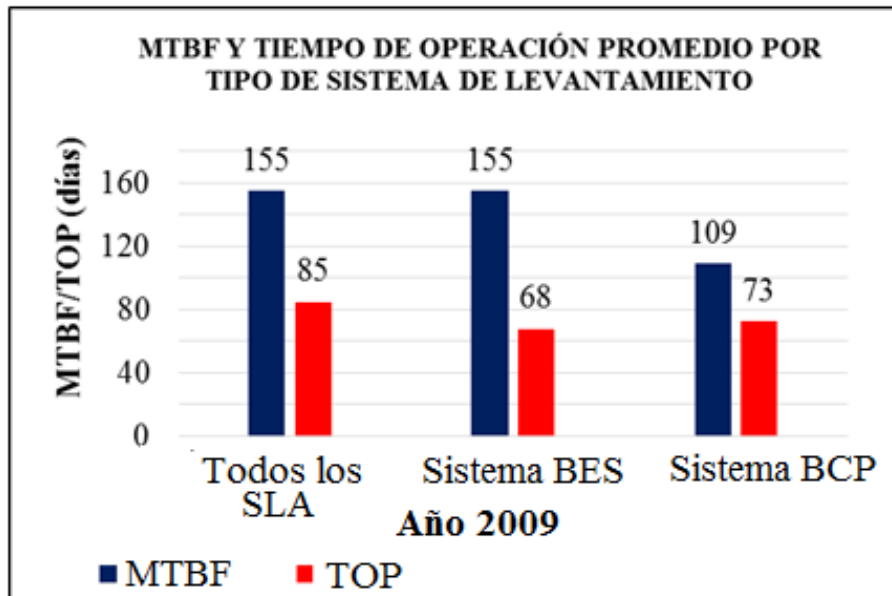


En el gráfico 11, se observa como el IE de los equipos del sistema BES es el doble del IF, esto se debe a que solo se presentó una falla en equipo de fondo respecto a las dos extracciones, también se puede ver que no hubo fallas ni se realizaron intervenciones en los pozos con sistemas BCP, lo que hizo que los indicadores para todo el campo en general disminuyeran.

**7.1.1.6. Tasa de instalaciones acumuladas por SLA agrupadas en rangos de TO, año 2009.** Al 31 de diciembre del año 2009, se habían realizado un total de 12 instalaciones, 6 de equipos BES y 6 de equipos con sistema BCP, como se observa en el gráfico 12, el 58% de los equipos no sobrepasa los 90 días de operación y el 43% restantes estaban entre los 90 y 160 días, esta tendencia es de esperarse ya que los primeros pozos de producción, fueron instalados en el segundo semestre de 2009.

**7.1.1.7. MTBF y TOP acumulado al año 2009 por SLA**

**Gráfico 14.** MTBF y TOP en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2009.



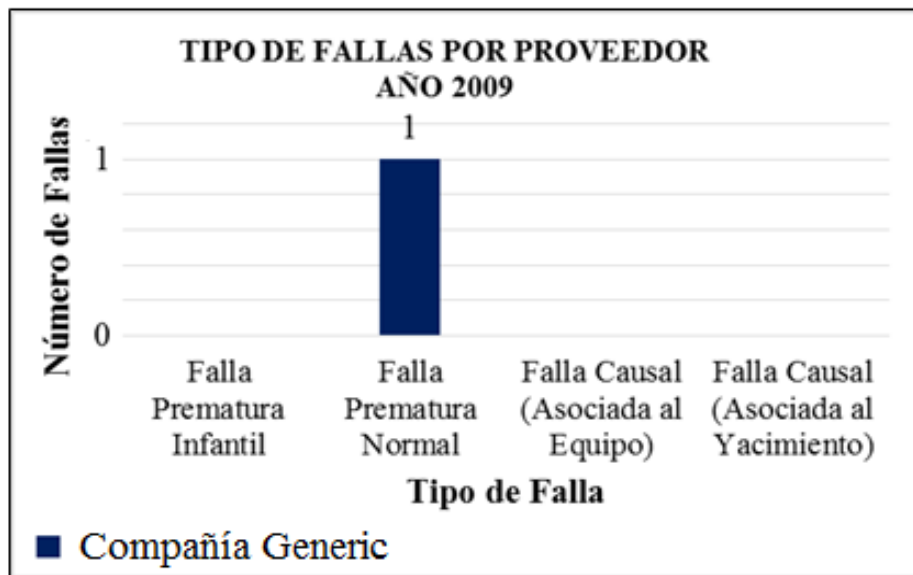
En la gráfica 13, observamos que el MTBF es significativamente mayor que el tiempo de operación promedio, cabe aclarar que este indicador de confiabilidad no representa el tiempo de operación de los equipos, sino que se basa en la tasa de fallas la cual la asume como constante al momento de realizar el cálculo, por esta razón el indicador varia a través del tiempo y es significativamente mayor que el TOP de los equipos.

En los BCP al 2009 no se reportó ninguna falla, y de las 6 instalaciones el 100% (6 pozos) estaban en funcionamiento, esto favorece el incremento en estos dos indicadores.

En los equipos BES la presencia de una falla y el hecho de que el 66,66% (4 equipos) de los equipos instalados estuvieran en funcionamiento respecto a las 6 instalaciones realizadas al 2009 hace que disminuya el TOP acumulado

### 7.1.1.8. Tasa y tipos de Falla por proveedor en el Año 2009

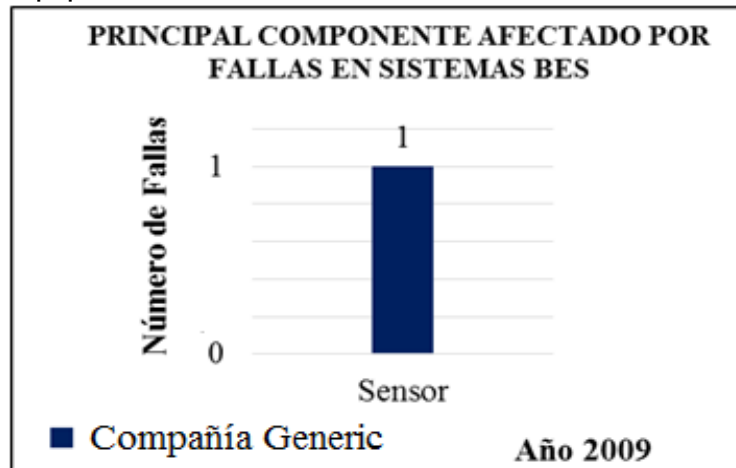
**Gráfico 15.** Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo en el año 2009.



Para el año 2009 el Campo Zeta estaba comenzando su etapa de desarrollo, por lo tanto, se encontraban muy pocos pozos en servicio, algunos de ellos se encontraban en fase de completamiento y otros apenas estaban siendo perforados. Por esta razón a medida que avancemos en el tiempo año por año, vamos a evidenciar mayor cantidad de fallas de diferente tipo que será analizadas en su debido momento y que permitirán tener una mejor idea, de que es lo que en realidad quiere expresar cada gráfico. Así mismo el contenido de cada gráfico ira aumentando en el tiempo (año a año) conforme van entrando en servicio pozos.

### 7.1.1.9. Principal componente afectado en las Fallas por tipo de SLA en el Año 2009

**Gráfico 16.** Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2009.



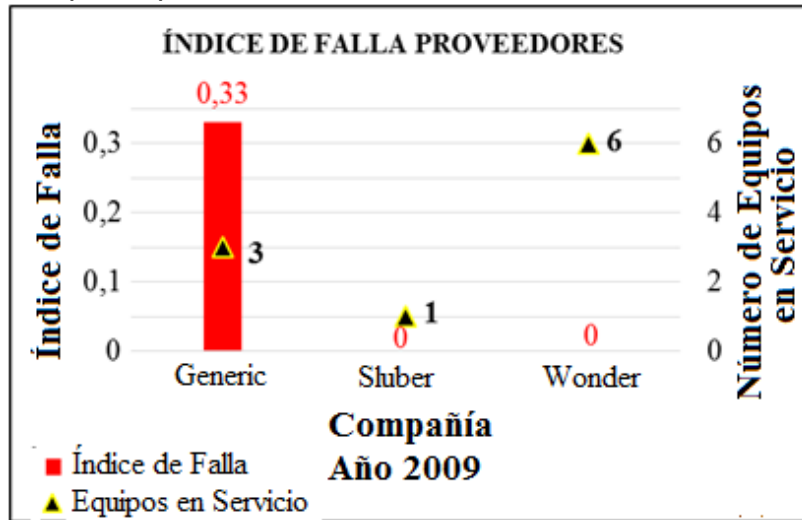
La única falla reportada en este año fue en un equipo de la compañía Generic (gráfico 15), esta falla fue considerada prematura con 55 días de operación, el principal componente afectado fue el sensor encontrándose agua en su interior, por bajo aislamiento.

**7.1.1.10. IF por proveedor en el año 2009.** De acuerdo al gráfico 16, el proveedor que presentó un valor de índice de falla diferente a cero fue Generic, con una falla respecto a 3 equipos en funcionamiento. El único equipo en funcionamiento de la compañía Sluber no presentó ninguna falla. Los 6 equipos en funcionamiento de la compañía Wonder también presentaron un buen comportamiento en el campo con un índice de falla de cero.

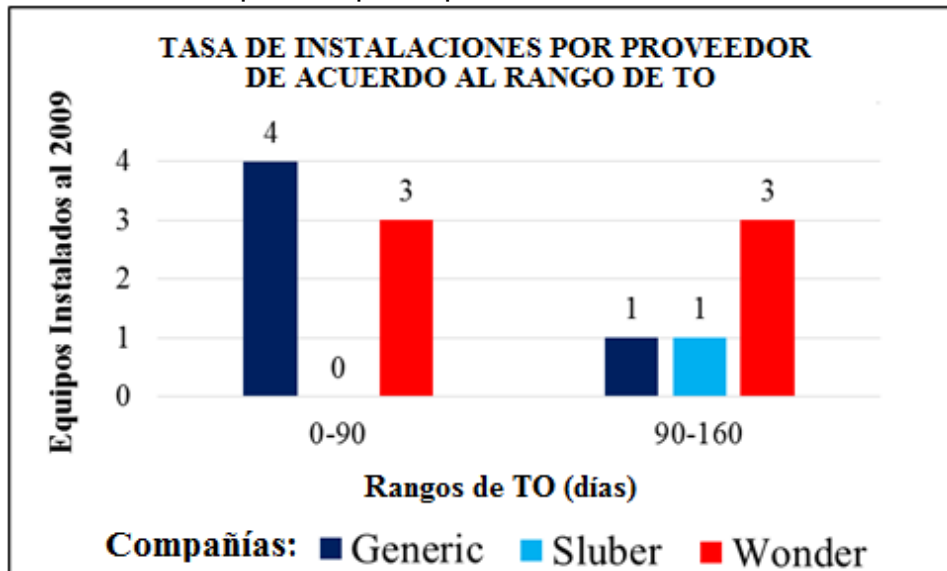
**7.1.1.11. Tasa de instalaciones acumuladas por proveedor de acuerdo al rango de TO alcanzados al año 2009.** En el año 2009, el 41,66% del total de equipos instalados pertenecen a la compañía Generic, de estos el 80% aun no sobrepasa los 90 días de funcionamiento mientras que el 20% restante aun no llegan al año de operación (gráfico 17).

De la compañía Sluber, sólo hay un equipo en funcionamiento, el cual ya superó los 90 días de operación.

**Gráfico 17.** Índice de falla y número de equipos operando en Campo Zeta de acuerdo a la compañía proveedora en el año 2009



**Gráfico 18.** Número de equipos instalados en Campo Zeta de acuerdo a los TO alcanzados al año 2009 por compañía proveedora.

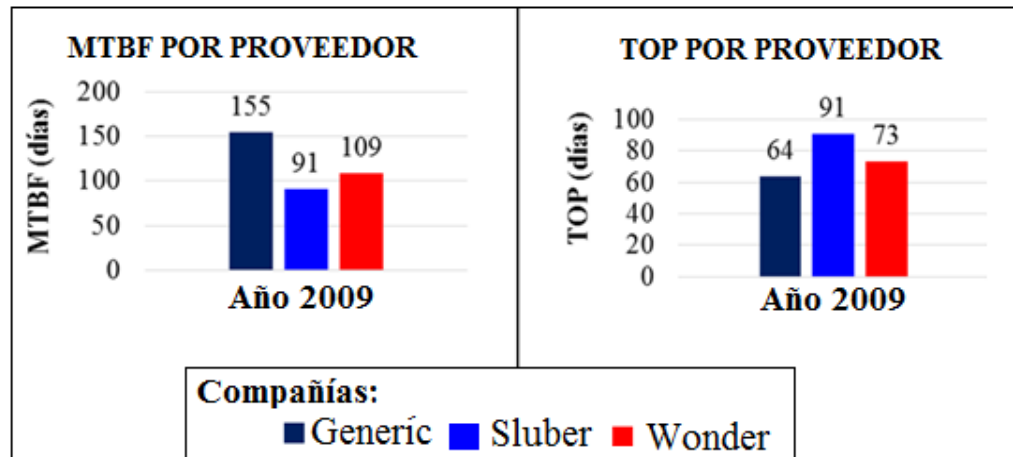


El 50% del total de los equipos instalados pertenecen al sistema BES. El otro 50% al sistema BCP de la compañía Wonder, el 50% de estos equipos no sobrepasan los 90 días de operación y el otro 50% que lo sobrepasó, aun no supera los 160 días de estar funcionando (gráfico 17).



### 7.1.1.12. MTBF y TOP al año 2009 por proveedor.

**Gráfico 19.** MTBF y TOP en Campo Zeta por compañía proveedora, año 2009.



Al analizar el MTBF y TOP por proveedor, observamos en el gráfico 18, que al 2009 por ser el año en el que se reportan las primeras instalaciones de pozos productores en campo Zeta, se tienen valores bajos de estos indicadores y aun no son representativos.

En la compañía Generíc de 5 equipos instalados, al 2009 3 estaban en funcionamiento, esto influye en que su valor de TOP sea menor que las demás compañías, ya que de Sluber la instalación que se realizó, estuvo en funcionamiento, al igual que los 6 equipos instalados de la compañía Wonder.

### 7.1.2. Campo Zeta año 2010.

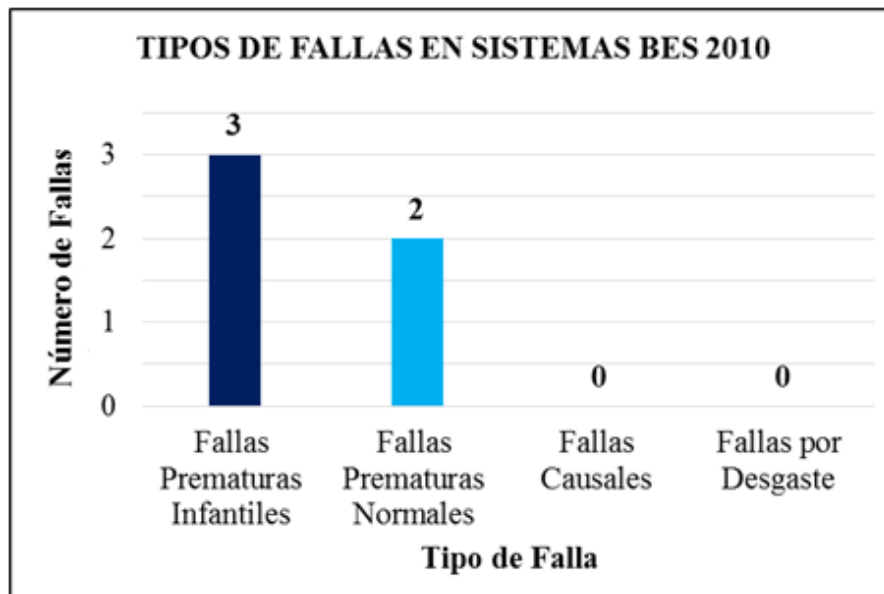
**7.1.2.1. Tasa y Causa de las Extracciones Realizadas en el Año 2010.** En el año 2010 de 23 intervenciones realizadas a los pozos 5 fueron a causa de fallas en el equipo de fondo (gráfico 19), para un porcentaje de fallas de aproximadamente el 22%, en este año se realizaron también 4 intervenciones por rediseños de equipo, 9 por extracciones de la memoria gauge, 4 intervenciones por trabajos realizados a los pozos y una extracción por abandono de pozo. Para este año las extracciones por razones diferentes a fallas siguen siendo significativamente altas.

**Gráfico 20.** Causa principal de las Extracciones en Campo Zeta realizadas en el año 2010.



**7.1.2.2. Tasa y tipos de Fallas por SLA en el año 2010.**

**Gráfico 21.** Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2010.

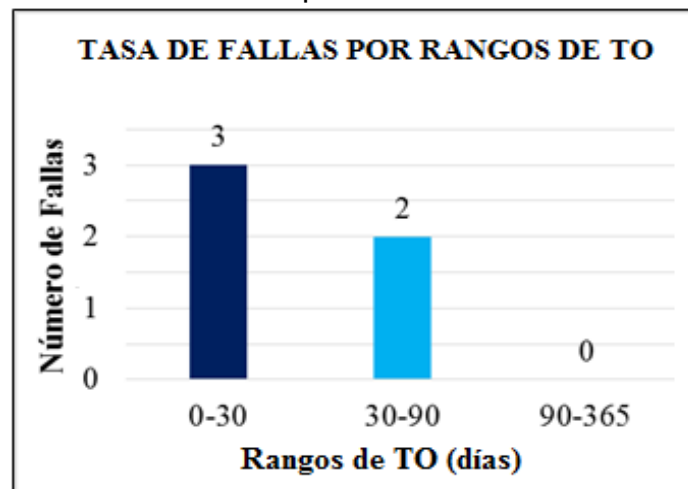


El 100% de las fallas reportadas en el año 2010 acontecieron en pozos con sistema de levantamiento BES, del total de 5 fallas, el 40% se clasificaron como fallas

prematuras (2 fallas) y el 60% fueron fallas prematuras infantiles (3 fallas), como lo muestra el gráfico 20, estas fallas serán explicadas más adelante.

### 7.1.2.3. Tasa de Fallas totales en el año 2010 por rangos de TO.

**Gráfico 22.** Número de fallas en Campo Zeta de acuerdo a los TO en el año 2010.



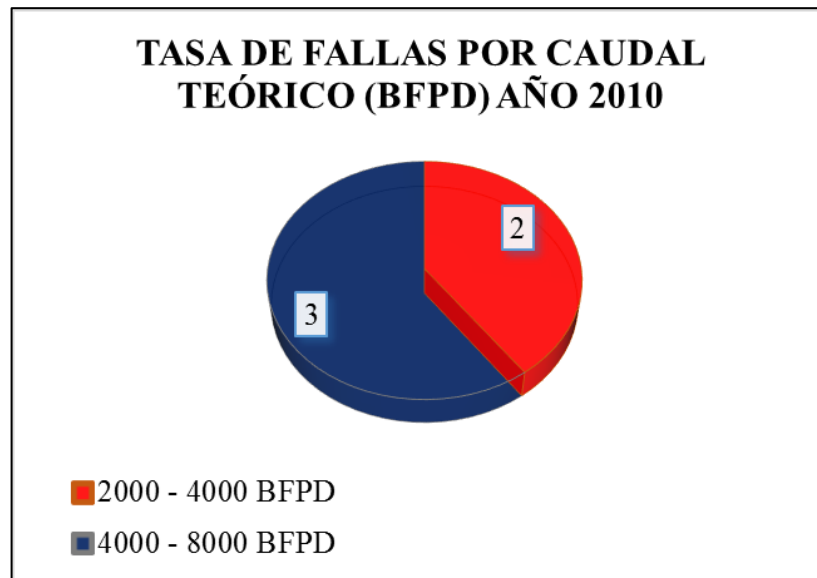
En el año 2010 el periodo de fallas prematuras (0-90 días), fue crítico, pues en este lapso de tiempo fue donde se presentaron el 100% de las fallas reportadas, tal y como lo muestra el gráfico 21, en este año se tenían 42 equipos en funcionamiento, 30 del sistema BES y 12 del sistema BCP el cual no reportó ninguna falla (ver gráfico 23).

**7.1.2.4. Tasa de Fallas totales por Caudal teórico en el año 2010.** El 100% de las fallas ocurridas en el año 2010 se dieron en pozos con SLA tipo BES, el 60% en pozos con caudales entre los 4000 y 8000 BFPD, el 40% con caudales menores a los 2000 BFPD; como se aprecia en el gráfico 22. Del mismo 100% de fallas, el 40% de estas afectaron la bomba por arenamiento, el 20% el motor por fase a tierra y el otro 40% el sensor por bajo aislamiento.

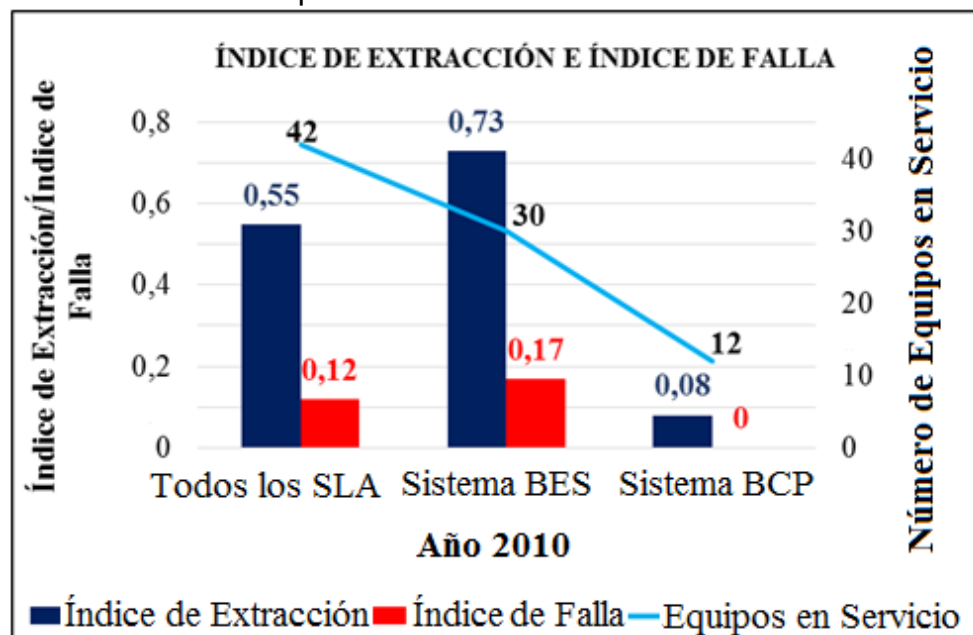
**7.1.2.5. IE e IF por SLA en el año 2010.** En el gráfico 23, se observa como el índice de extracción de todo el campo, al igual que en el año 2009 sigue siendo significativamente mayor al índice de falla, en los equipos del sistema BES el índice de falla disminuyó con respecto al año anterior, paso de 0,25 a 0,17 aunque el número de fallas aumento de 1 a 5, lo que hizo menor el índice de falla fue el aumento en los equipos en servicio, en el 2009 del sistema BES se tenían 4 mientras

que al 2010 ya estaban en funcionamiento 30. En el sistema BCP aunque no se reportaron fallas, el índice de extracción fue de 0,08, esto se debe a que las intervenciones al campo no solo se realizaron por eventos de fallas presentadas en este año, sino también para tratamientos al pozo, rediseños en los equipos de fondo, entre otras (ver gráfico 19).

**Gráfico 23.** Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico en el año 2010.

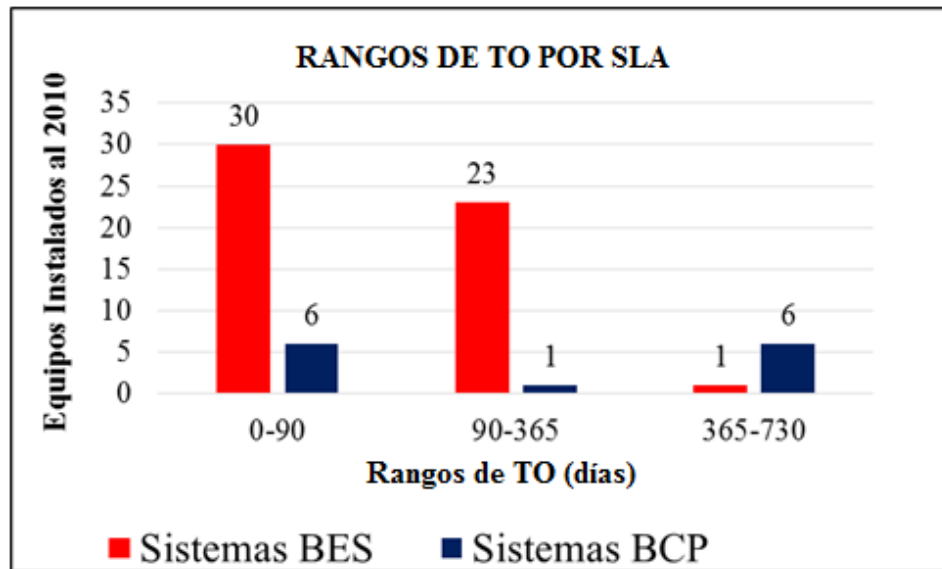


**Gráfico 24.** IE e IF en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2010.



### 7.1.2.6. Tasa de instalaciones acumuladas por SLA agrupadas en rangos de TO, año 2010

**Gráfico 25.** Rango de TO por tipo de SLA Campo Zeta año 2010



Al 31 de diciembre del año 2010, se habían realizado un total de 67 instalaciones, 54 de equipos BES y 13 de equipos con sistema BCP, como se observa en el gráfico 24; el 52% de los equipos no sobrepasa los 90 días de operación, solo el 10,4% de los equipos alcanzaron el año de funcionamiento con 6 del sistema BCP y solo 1 del sistema BES.

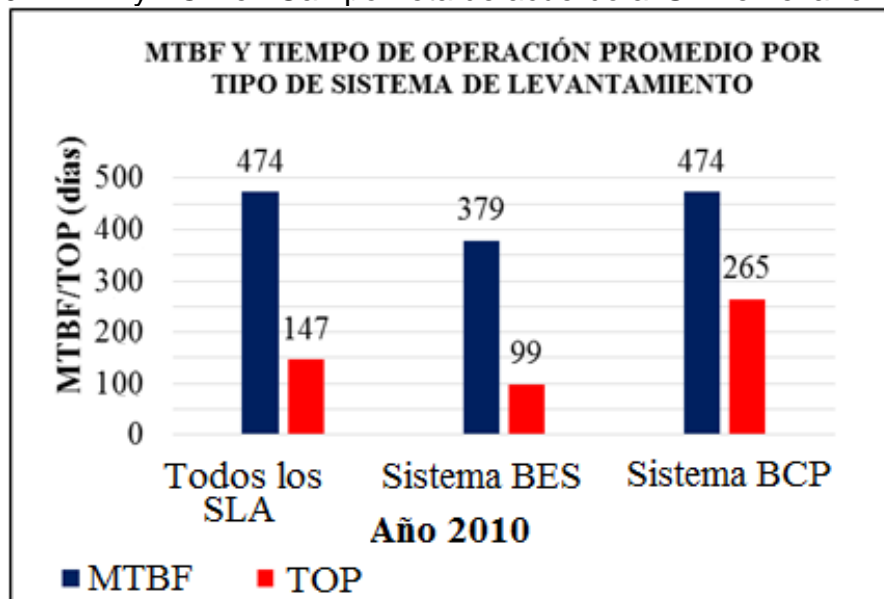
**7.1.2.7. MTBF y TOP acumulado al año 2010 por SLA.** En la gráfica observamos que tanto el MTBF como el tiempo de operación promedio acumulados tuvieron un incremento favorable para ambos sistemas de levantamiento, el TOP aumento más en los equipos del sistema BCP que en los BES.

En los BCP al 2010 no se reportó ninguna falla, y de las 13 instalaciones el 92,3% (12 pozos) estaban en funcionamiento, esto favorece el incremento en estos dos indicadores.

En los equipos BES la presencia de fallas y el bajo porcentaje de equipos corriendo 55,55% (30 equipos) respecto a las 54 instalaciones realizadas al 2010 hace que disminuya el tiempo de operación promedio acumulado.

El MTBF tuvo un aumento más demarcado, cabe aclarar que este indicador de confiabilidad no representa el tiempo de operación de los equipos, sino que se basa en la tasa de fallas, la cual se asume como constante al momento de realizar el cálculo. Por esta razón este indicador varía a través del tiempo y es significativamente mayor que el TOP de los equipos. Debido a la continuidad en el funcionamiento de los equipos del sistema BCP (pocas fallas) este valor es mayor que el del sistema BES.

**Gráfico 26.** MTBF y TOP en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2010.

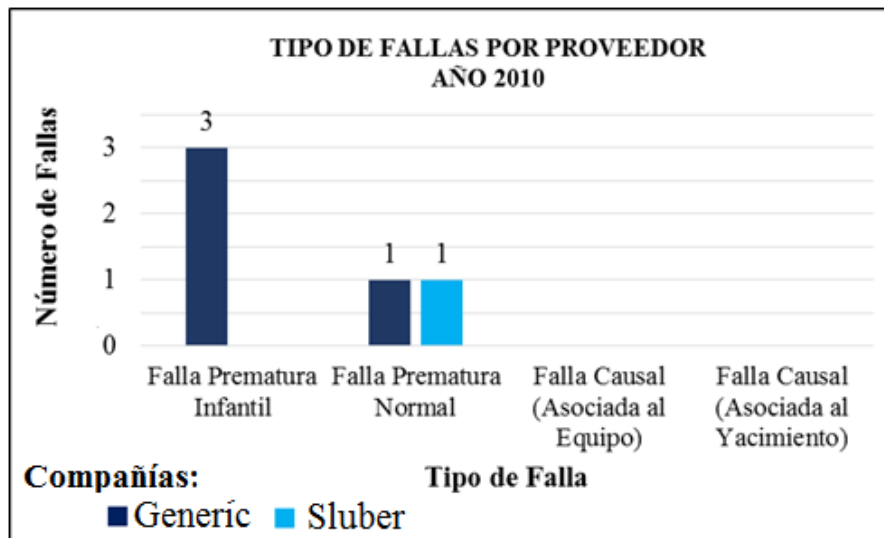


**7.1.2.8. Tasa y tipos de Falla por proveedor en el Año 2010.** De los 5 Equipos que fallaron, 4 son de la compañía Generic y solo 1 de la compañía Sluber (ver gráfico 26).

De la compañía Generic, las 4 fallas fueron prematuras, 3 de ellas consideradas fallas infantiles pues ocurrieron el mismo día del servicio a pozo por una mala instalación y 1 a los 43 días de estar operando por arenamiento en el pozo. Los principales componentes afectados por la mala instalación del equipo (fallas infantiles), fueron el motor y el sensor, en una falla se afectó el motor por fase a tierra y dos veces el componente afectado fue el sensor encontrándose agua en su interior, por bajo aislamiento. En la falla prematura se afectó la bomba en general por obstrucción con presencia de sólidos (ver gráfico 27).

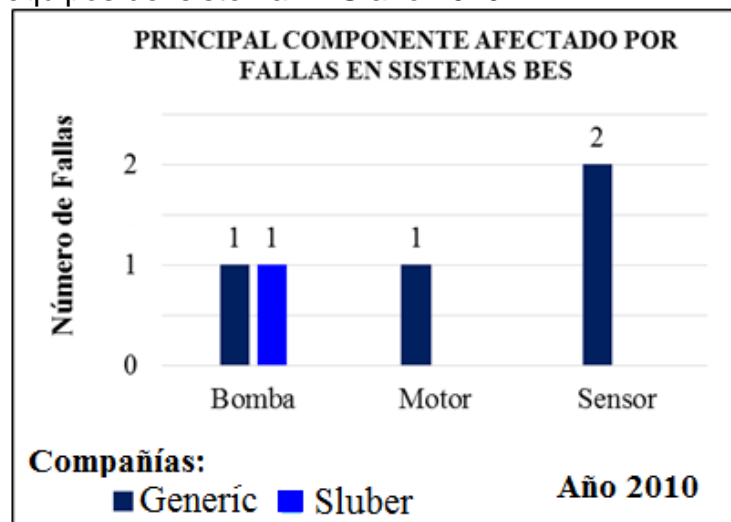
La falla reportada de la compañía Sluber (gráfico 27) ocurrió a los 69 días de iniciar a operar el equipo, esta falla también clasificada como prematura se produjo a causa del arenamiento en el pozo y afectó a la bomba en general por obstrucción.

**Gráfico 27.** Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo en el año 2010.



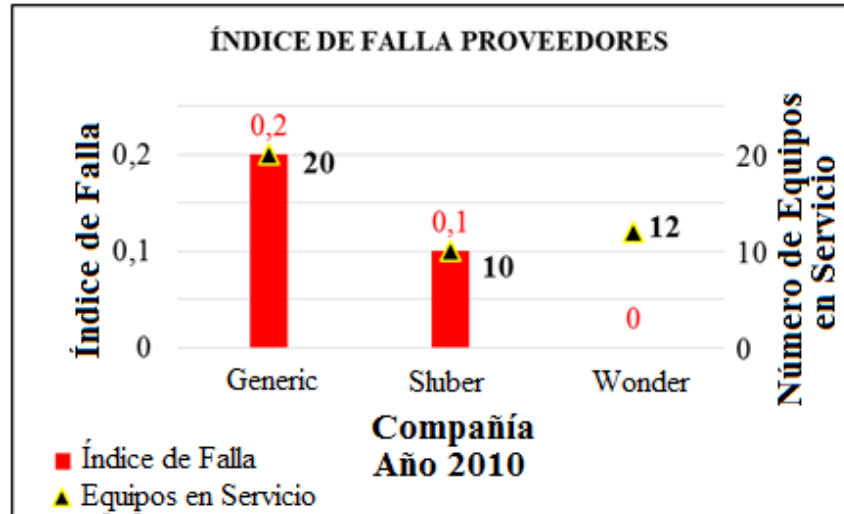
**7.1.2.9. Principal componente afectado en las Fallas por tipo de SLA en el Año 2010.**

**Gráfico 28.** Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2010.



#### 7.1.2.10. IF por proveedor en el año 2010.

**Gráfico 29.** Índice de falla y número de equipos operando en Campo Zeta de acuerdo a la compañía proveedora en el año 2010.



De acuerdo al gráfico 28, el índice de falla para la compañía Generic fue favorable, pues disminuyó de 0,33 en el 2009 (ver este mismo gráfico en el año 2009, gráfico 16) a 0,2 en el 2010 aunque el número de fallas reportadas aumentará de 1 a 4, esto debido a que en el 2009 solo había 3 equipos en servicio, mientras que al 2010 ya había 20 en operación.

En la compañía Sluber ocurrió lo contrario paso de tener un índice de falla de 0 en el 2009 a un índice de falla de 0,1 en el 2010, sin embargo, no es representativo ya que el número de equipos en servicio el año 2009 fue de 1 mientras que al 2010 ya tenía 10 en funcionamiento.

Los equipos de la compañía Wonder al igual que en año 2009 sigue sin presentar fallas, por lo tanto, su IF es cero y los equipos en funcionamiento pasaron de 6 a 12.

**7.1.2.11. Tasa de instalaciones acumuladas por proveedor de acuerdo al rango de TO alcanzados al año 2010.** Al finalizar el año 2010, el 58% del total de equipos instalados pertenecen a la compañía Generic; de estos el 54% aun no

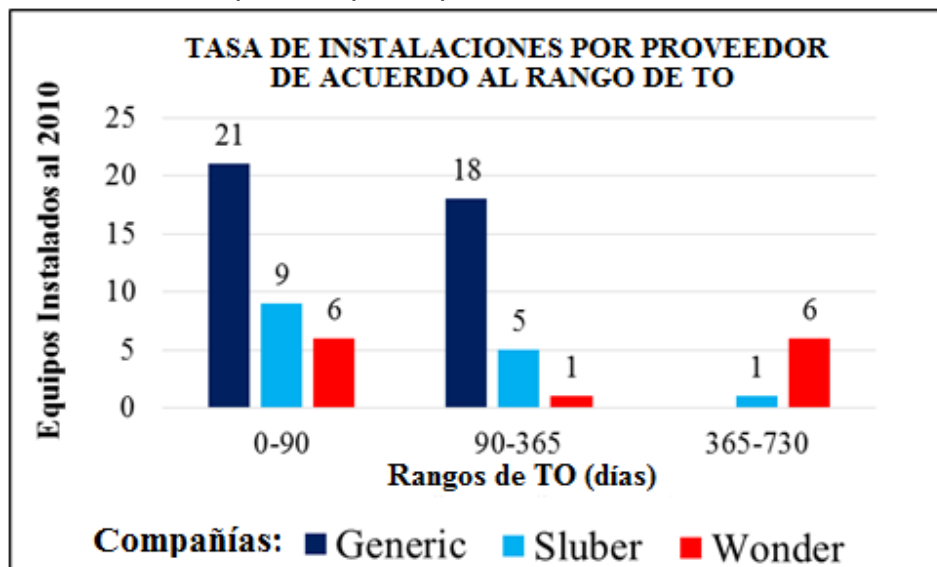


sobrepasa los 90 días de funcionamiento mientras que el 46% restante aun no llegan al año de operación.

El 22,24% del total de los equipos instalados son de la compañía Sluber, de estos el 60% aun no supera los 90 días de operación, solo 1 equipo (6,6%) sobrepaso el año de funcionamiento.

El 19,4% del total de los equipos instalados pertenecen al sistema BCP de la compañía Wonder, el 46,15% no sobrepasan los 90 días de operación e igual porcentaje ya superó el año de estar funcionando.

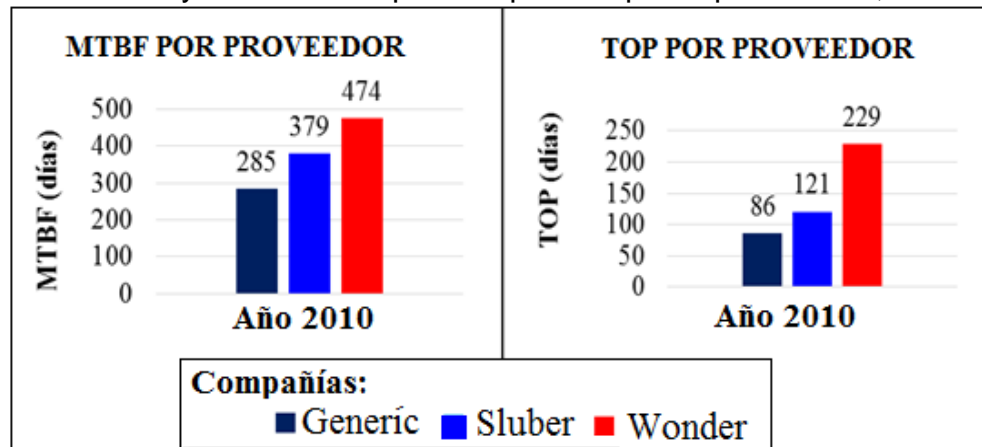
**Gráfico 30.** Número de equipos instalados en Campo Zeta de acuerdo a los TO alcanzados al año 2010 por compañía proveedora.



**7.1.2.12. MTBF y TOP al año 2010 por proveedor.** Al analizar el MTBF y TOP por proveedor, observamos que al 2010 la compañía que mejores indicadores reporta es Wonder, esto es de esperarse, ya que a esta compañía pertenecen todos los equipos BCP instalados hasta ahora en campo Zeta y hasta el momento de este sistema no se han presentado fallas en los equipos de fondo, por lo tanto el MTBF y el TOP tuvieron un buen incremento, además de esto, al no tener un incremento tan grande en el número de instalaciones de equipos nuevos hace que su TOP sea mayor.

El MTBF en este año aumento para todos los proveedores (gráfico 30), ya que las fallas que se presentaron fueron fallas prematuras, que para el análisis de MTBF no son tenidas en cuenta o se censuran. Por ello, aunque los equipos de las compañías Generic y Sluber reportaron fallas su MTBF en este año sigue siendo mayor al tiempo de operación entre sus equipos.

**Gráfico 31.** MTBF y TOP en Campo Zeta por compañía proveedora, año 2010.



### 7.1.3. Campo Zeta año 2011.

#### 7.1.3.1. Tasa y causa de las Extracciones realizadas en el año 2011.

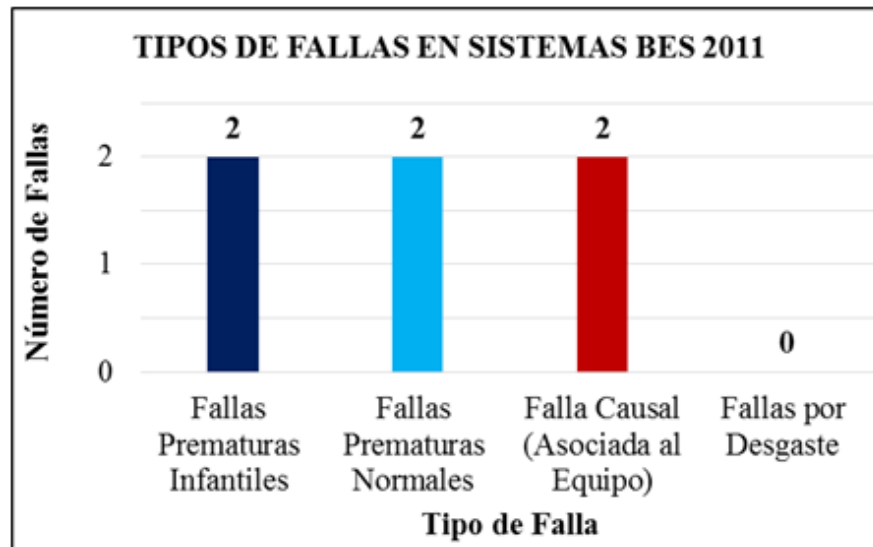
**Gráfico 32.** Causa principal de las Extracciones en Campo Zeta realizadas en el año 2011.



En el año 2011 de 19 intervenciones realizadas a los pozos, 8 fueron por fallas en el equipo que representa un porcentaje de falla de 42,1%, 8 (42.1%) extracciones por rediseño de equipo y 3 (15,8%) por extracción de memoria (ver gráfico 31).

### 7.1.3.2. Tasa y tipos de Fallas por SLA en el año 2011.

**Gráfico 33.** Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2011.

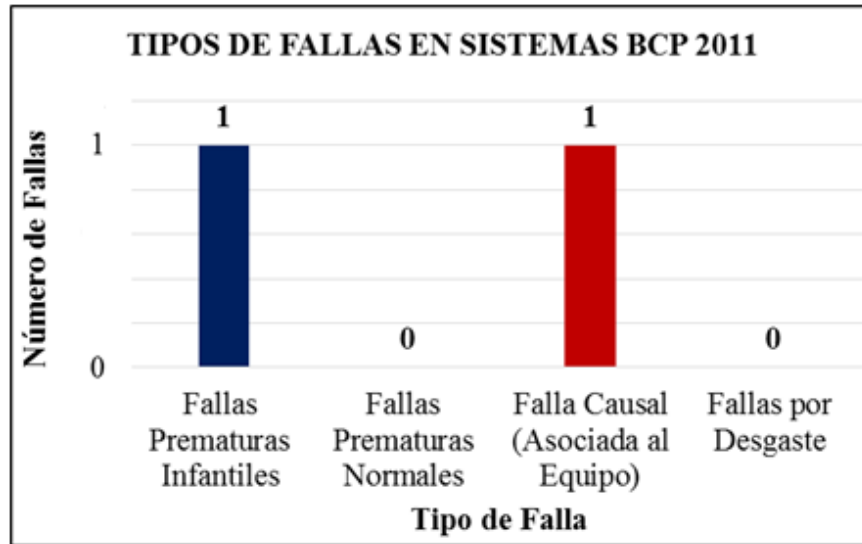


De las 8 fallas que se presentaron en el año 2011, el 75% (6) se presentaron en pozos con sistemas BES (gráfico 32). De estas 6 fallas, 2 corresponden a fallas prematuras infantiles, 2 son fallas prematuras normales y 2 son fallas causales asociadas al equipo.

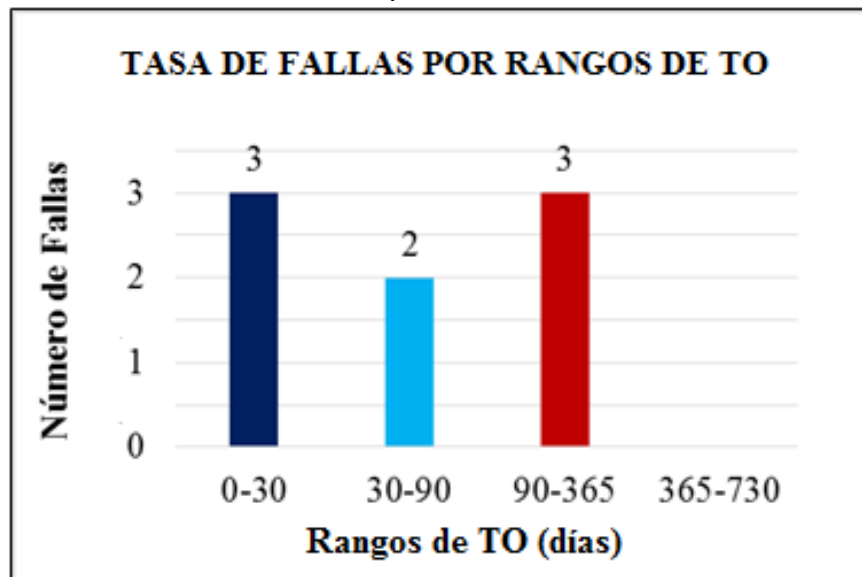
Las dos fallas restantes (25%) corresponden a pozos con sistemas BCP (gráfico 33). Una falla prematura infantil y una falla causal asociada al equipo.

**7.1.3.3. Tasa de Fallas totales en el año 2011 por rangos de TO.** Para el año 2011 el 62,5% (5) de las fallas fueron prematuras pues están en el rango de 0-90 días, que podría considerarse el tiempo crítico para este año, ya que la mayoría de fallas se presentaron en este lapso de tiempo. El 37,5% (3) restante fueron fallas en un tiempo de operación mayor a los 90 días y corresponden a daños directos en el equipo de fondo (gráfico 34).

**Gráfico 34.** Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BCP año 2011.



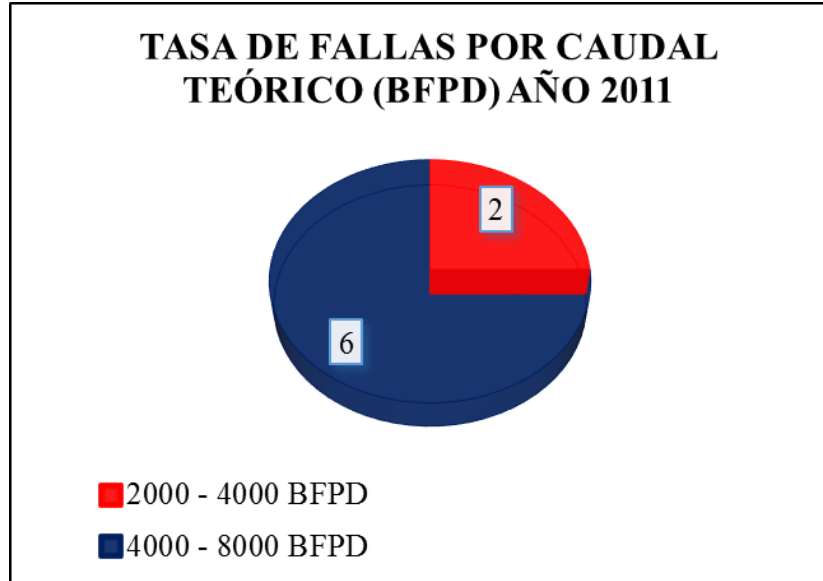
**Gráfico 35.** Número de fallas en Campo Zeta de acuerdo a los TO en el año 2011.



**7.1.3.4. Tasa de Fallas totales por Caudal teórico en el año 2011.** El 75% de las fallas ocurridas en el año 2011 se dieron en pozos con caudales entre los 4000 y 8000 BFPD, todos con SLA tipo BES, el 80% por fallas mecánicas y el 20% por fallas eléctricas. En las fallas mecánicas generalmente se presentaron rupturas, desplazamiento de ejes en la bomba y el motor. En las fallas eléctricas, el motor por fase a tierra (gráfico 35).

El otro 25% de las fallas se presentó en pozos con caudales inferiores a los 2000 BFPD, todos con SLA tipo BCP por desconexión de la varilla de bombeo (gráfico 35).

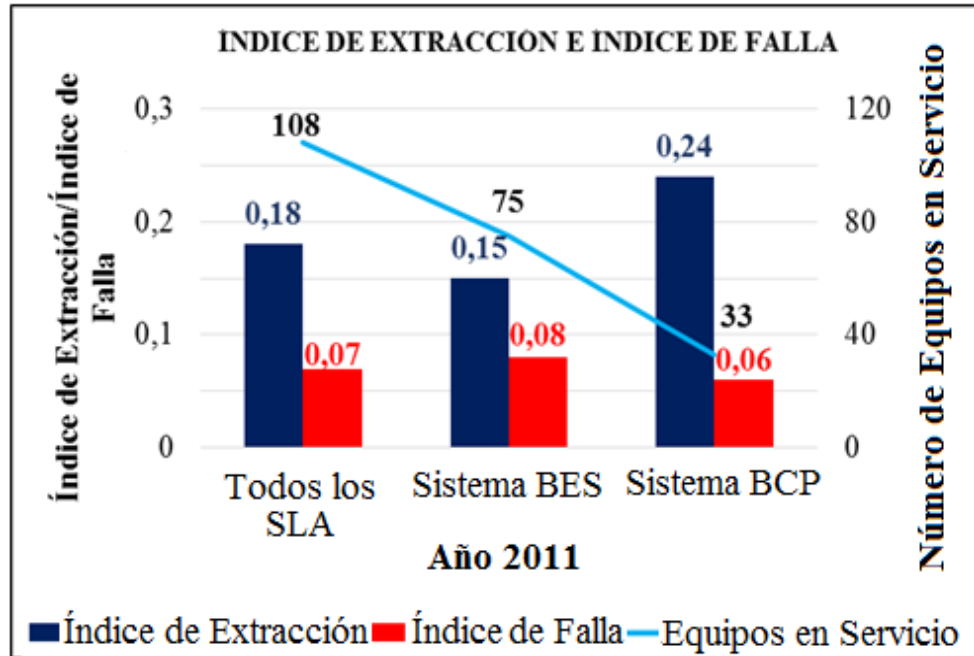
**Gráfico 36.** Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico en el año 2011.



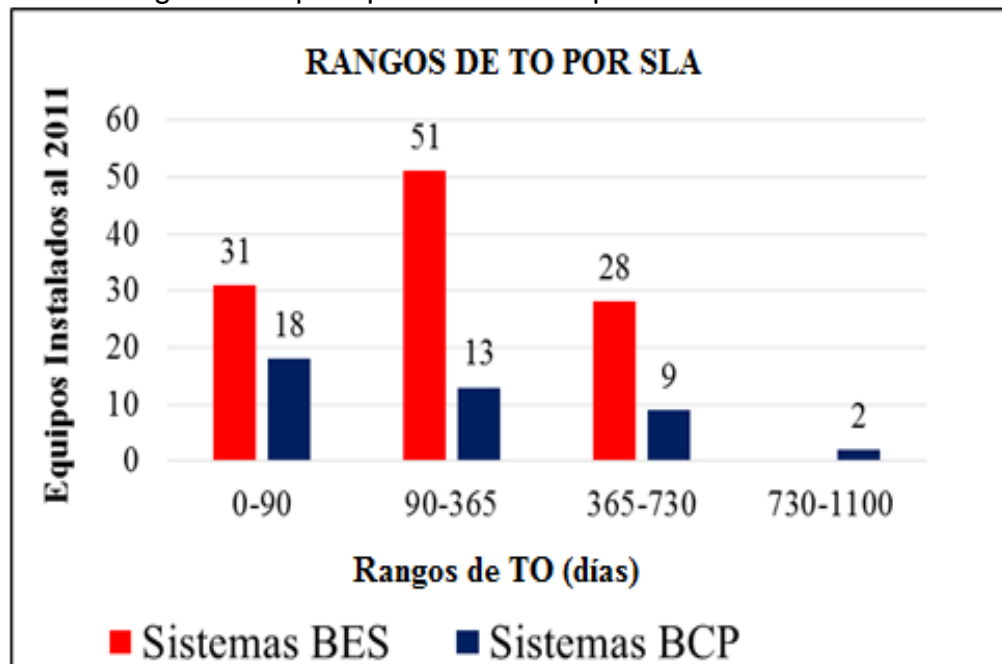
**7.1.3.5. IE e IF por SLA en el año 2011.** En comparación con el año 2010 los índices de falla y de extracción bajaron de manera significativa en el año 2011, la razón principal es que entraron más pozos en operación (108); debido a que el cálculo de estos índices se realiza en relación a las fallas o extracciones y el total de pozos en servicio. De acuerdo a esto, a pesar de que las fallas aumentaron los índices disminuyeron. Es importante resaltar que en este año 2011 se presentaron las primeras fallas en sistemas BCP por lo que en la gráfica 36, ya es posible observar el índice de falla para estos sistemas.

**7.1.3.6. Tasa de instalaciones acumuladas por SLA agrupadas en rangos de TO, año 2011.** Al finalizar el año 2011, se contaba con 152 equipos instalados y funcionando correctamente (gráfico 37). El 72,4% (110) de sistemas BES y el 27,6% (42) de sistemas BCP. El 32,2% (39) de los equipos se encuentra en la etapa prematura de 0-90 días, el 42,1% (64) no supera el año de operación, el 24,3% (37) se encuentra entre uno y dos años de operación y el 1,3% (2) de los equipos ha superados los dos años en operación y este último corresponde únicamente a 2 sistemas BCP.

**Gráfico 37.** IE e IF en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2011.

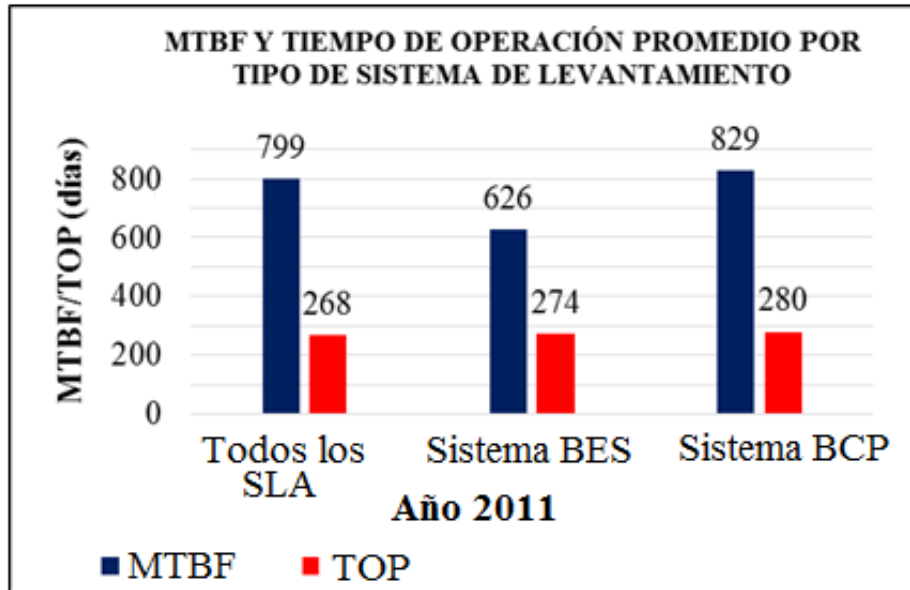


**Gráfico 38.** Rango de TO por tipo de SLA Campo Zeta año 2011.



### 7.1.3.7. MTBF y TOP acumulado al año 2011 por SLA.

**Gráfico 39.** MTBF y TOP en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2011.



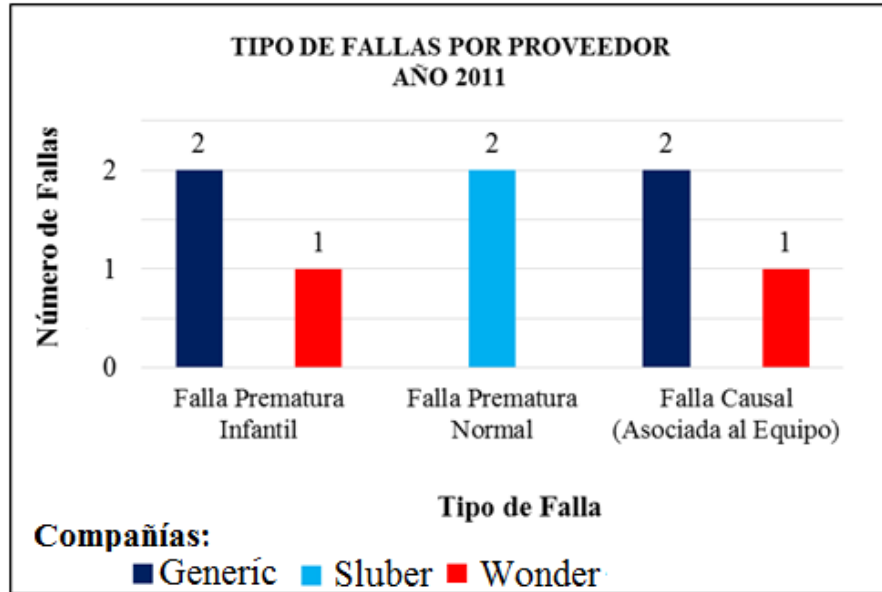
El gráfico 38, permite ver como a medida que aumenta el tiempo de producción del campo, tanto el MTBF como el tiempo de operación promedio acumulado presentan un crecimiento en sus valores. Debido a que los sistemas BCP han presentado menor cantidad de fallas, su MTBF es significativamente más alto que los sistemas BES. Así mismo el tiempo de operación promedio de los sistemas BES aumento en gran cantidad, la razón principal es la instalación de este sistema en más pozos. Si bien el MTBF sigue creciendo de manera considerable con el paso de los años, en los dos sistemas, este valor que se da en días no representa un tiempo de operación esperado para los mismos.

**7.1.3.8. Tasa y tipos de Falla por proveedor en el Año 2011.** De las 8 fallas reportadas, el 75% (6) pertenecen al sistema BES, 4 de la compañía Generic y 2 de la compañía Sluber; el otro 25% (2) de las fallas se reportan a equipos de bombeo por cavidades progresivas de la compañía Wonder (ver gráfico 39).

De la compañía Generic, 2 fallas fueron prematuras ocurriendo el mismo día por una mala instalación, una presentó motor aterrizado y la segunda falla fue por bajo aislamiento en el sensor encontrándose con agua tal y como ocurrió en el 2009 en una instalación realizada por esta misma compañía, de las otras 2 fallas que se reportaron, una ocurrió a los 342 días de operación, el daño se encontró en el eje

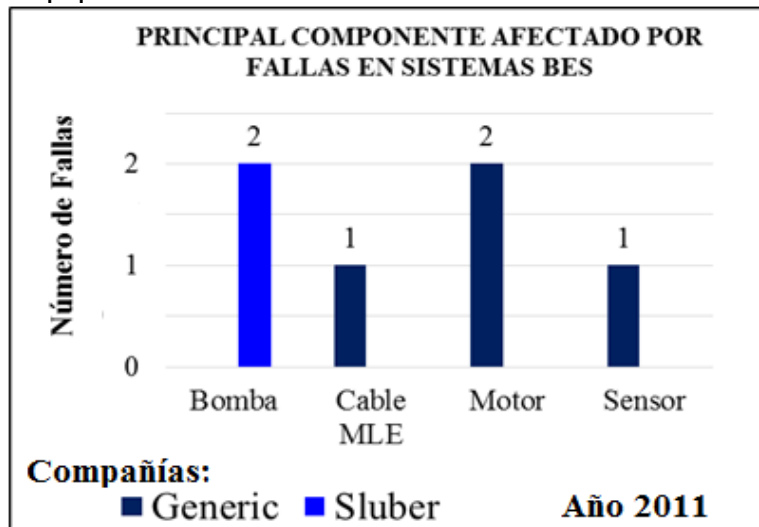
del motor y la última falla se presentó con un tiempo de operación de 253 días por daño en el cable MLE; estas dos últimas fallas fueron asociadas al equipo de fondo.

**Gráfico 40.** Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo en el año 2011.



**7.1.3.9. Principal componente afectado en las Fallas por tipo de SLA en el Año 2011.**

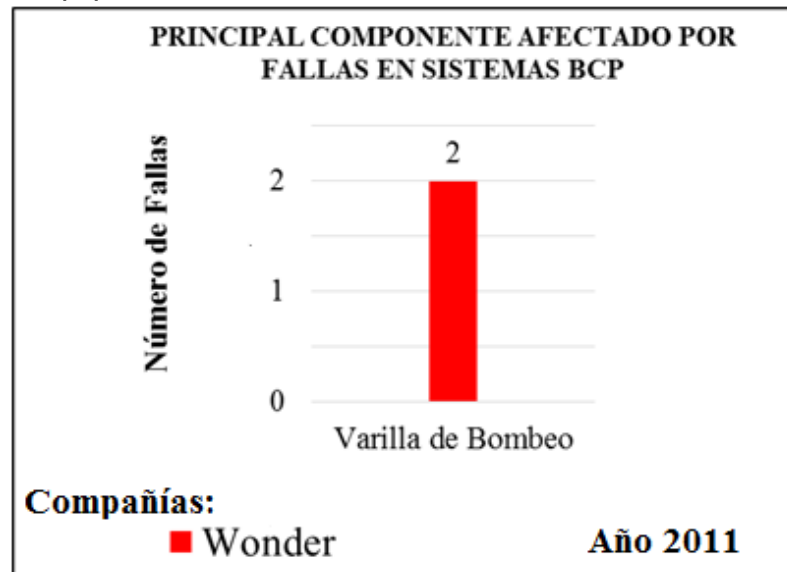
**Gráfico 41.** Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2011.





Las 2 fallas encontradas en equipos de la compañía Sluber ocurrieron a los 64 y 69 días de iniciar la operación, estas fallas clasificadas como prematuras afectaron directamente la bomba, una de ellas con ruptura de eje y la otra presento restricción total del equipo (gráfico 40).

**Gráfico 42.** Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BCP año 2011.



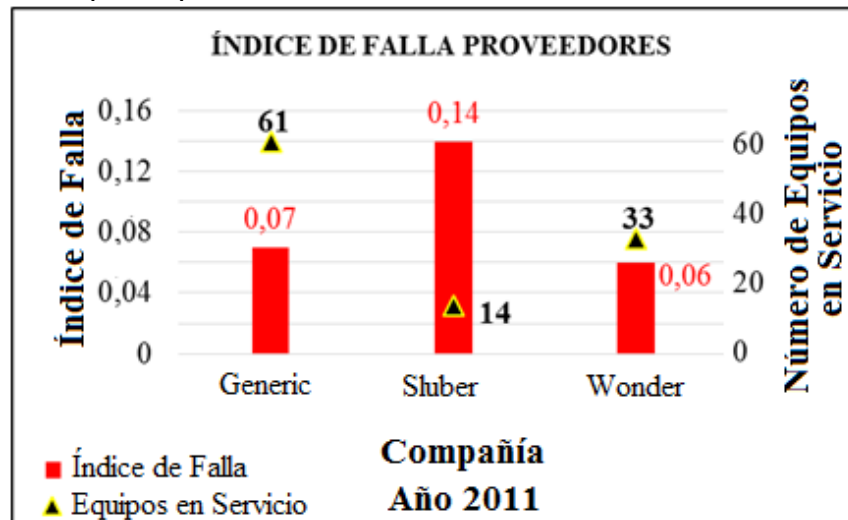
En cuanto a las fallas en los dos equipos BCP reportadas de la compañía Wonder en el gráfico 41, ambas ocurrieron por una desconexión en las varillas de bombeo, una fue falla prematura con 10 días de operación y la otra se considera falla normal con 293 días de operación del equipo.

**7.1.3.10. Índice de Falla por proveedor en el año 2011.** El índice de falla para la compañía Generic fue favorable, pues disminuyó de 0,2 en el 2010 a 0,07 en el 2011, el número de fallas reportadas fue igual al año anterior (4), pero en el 2010 había 20 equipos corriendo, mientras que en el 2011 se aumentaron a 61 equipos de esta compañía en funcionamiento lo que explica porque este índice bajo (gráfico 42).

En la compañía Sluber paso de tener un índice de falla de 0,1 el año anterior a un índice de falla de 0,14 en el 2011, este indicador sin embargo sigue sin ser tan representativo ya que el número de equipos corriendo en el año 2010 fue de 10 mientras que al 2011 ya se tenían 14 en funcionamiento y las 3 fallas reportadas hasta ahora, fueron prematuras de las cuales 1 fue asociada al yacimiento.

De acuerdo al gráfico 42, el índice de falla para la compañía Wonder en el 2011 aumentó levemente, venía de ser cero en el 2009 cuando tenía 6 equipos corriendo, fue de cero en el 2010 cuando de 6 aumento a 12 los equipos en funcionamiento. Se incrementó a 0,06 en el 2011 por las 2 fallas reportadas, sin embargo, este índice es muy bajo debido a que en este año se tenían 33 equipos de esta compañía en funcionamiento.

**Gráfico 43.** Índice de falla y número de equipos operando en Campo Zeta de acuerdo a la compañía proveedora en el año 2011.

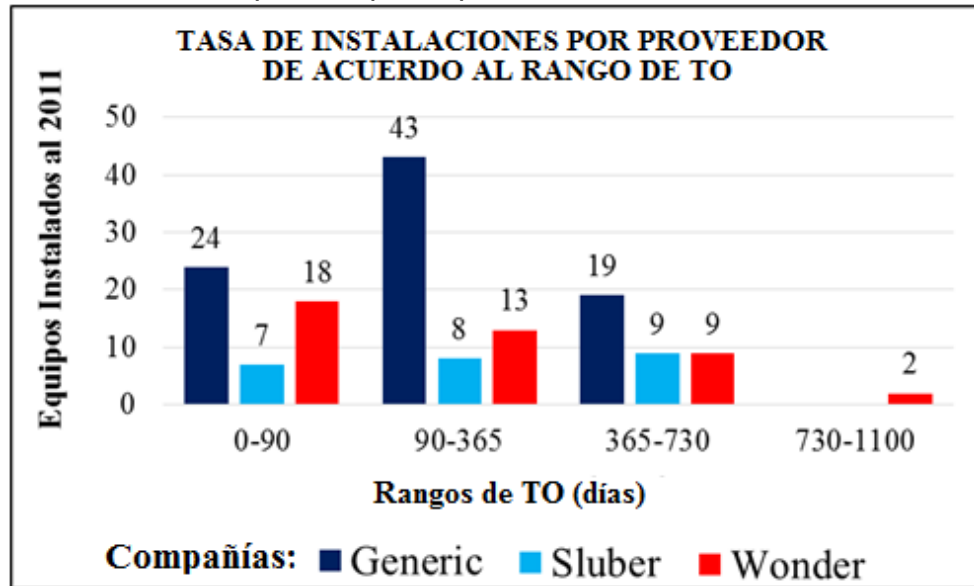


**7.1.3.11. Tasa de instalaciones acumuladas por proveedor de acuerdo al rango de TO alcanzados al año 2011.** Como se observa en el gráfico 43, para el año 2011 el 56,6% de todos los equipos instalados pertenecen a la compañía Generic; de estos el 28% aun no sobrepasa los 90 días de funcionamiento, el 50% se encuentra entre 90 días y un año de operación, entre uno y dos años de operación se encuentra el 22%.

El 15,8% del total de los equipos instalados son de la compañía Sluber; en un rango menor a 90 días se encuentra el 29,2% de estos, 33,3% corresponde a equipos entre 90 días y un año de operación, y el 37,5% a equipos operando entre uno y dos años.

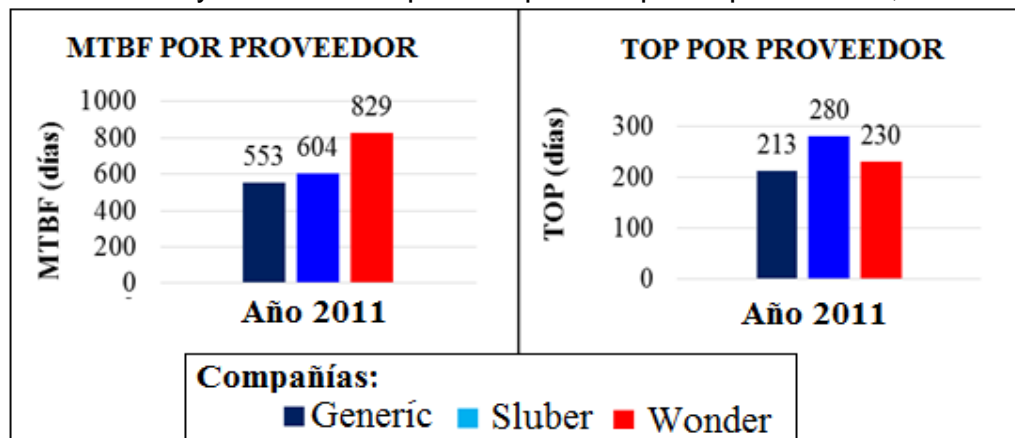
El 27,6% del total de los equipos instalados pertenecen al sistema BCP de la compañía Wonder; el 42,8% no sobrepasan los 90 días de operación, el 31% se encuentran entre 90 días y un año de operación, el 21,4% de equipos entre uno y dos años de funcionamiento, y el 4,8% en un rango mayor a dos años de operación.

**Gráfico 44.** Número de equipos instalados en Campo Zeta de acuerdo a los TO alcanzados al año 2011 por compañía proveedora.



**7.1.3.12. MTBF y TOP al año 2011 por proveedor.**

**Gráfico 45.** MTBF y TOP en Campo Zeta por compañía proveedora, año 2011.



En el año 2011 el MTBF como es de esperarse ha aumentado de manera significativa (gráfica 44). Nuevamente Wonder es quien obtiene el valor más alto para este indicador, debido a que los sistemas BCP son los que hasta el momento han presentado menos fallas; pero así mismo el TOP no aumento (solo creció dos días) porque en este año se instalaron más sistemas BCP de los cuales, 18 hasta el cierre del año 2011 se encuentran en etapa prematura de operación. El tiempo de operación promedio para Generic y Sluber aumento de manera considerable, ya

que, en este año en proporción son menos los equipos corriendo en etapa prematura que los que se encuentran en un tiempo entre uno y dos años de operación.

#### 7.1.4. Campo Zeta Año 2012.

##### 7.1.4.1. Tasa y causa de las Extracciones realizadas en el año 2012.

**Gráfico 46.** Causa principal de las Extracciones en Campo Zeta realizadas en el año 2012.

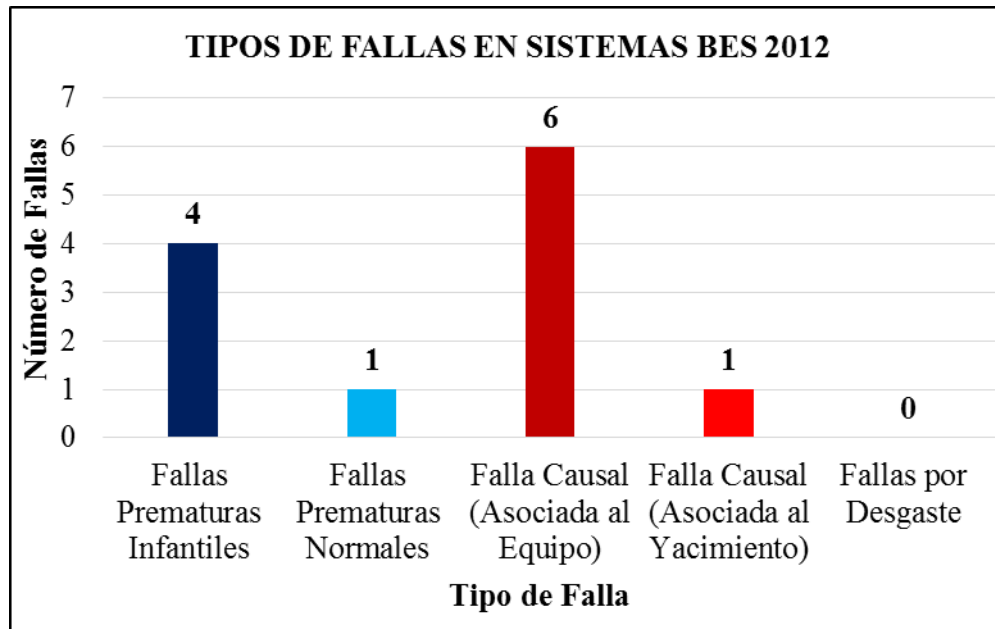


Al finalizar el año 2012 se habían realizado un total de 35 intervenciones a los pozos, de las cuales, el 2,8% (1) fue por abandono de pozo, el 20% (7) de las extracciones por trabajos realizados a los pozos, el 22% (8) por rediseños en el equipo de fondo, el 2,8% (1) por extracción de la memoria que se instaló con el fin de verificar las condiciones del yacimiento y casi la mitad de las extracciones en este año se realizaron por fallas en equipos de fondo, para un porcentaje de fallas del 51,4% (18) del total de las extracciones realizadas en este año (gráfico 45).

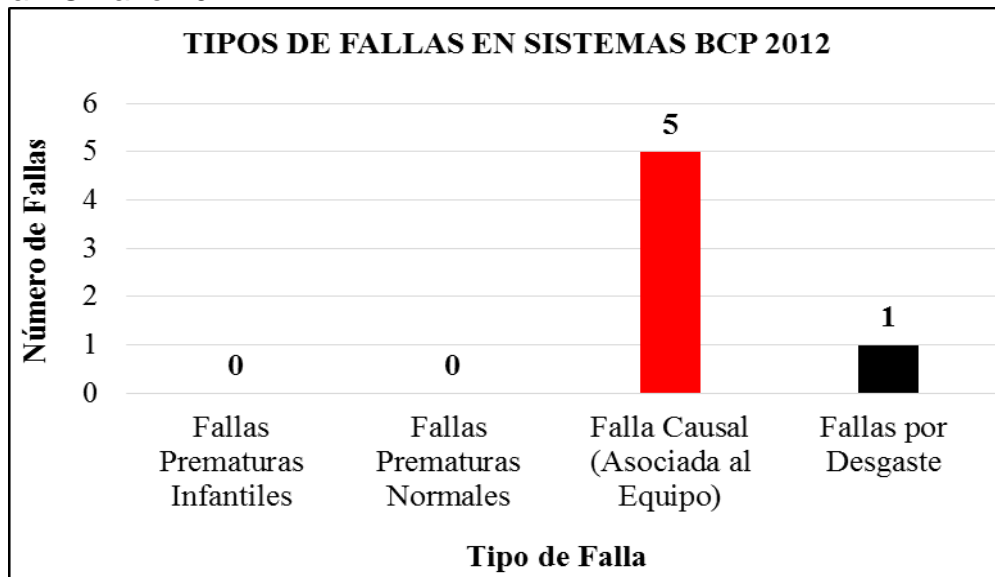
**7.1.4.2. Tasa y tipos de Fallas por SLA en el año 2012.** De un total de 18 fallas reportadas en el 2012, el 66,7% (12 fallas) ocurrieron en pozos con SLA tipo BES (gráfico 46), de las cuales el 33,3% (4) de estas fallas fueron prematuras infantiles por presentarse en un tiempo menor a los 30 días de operación, el 8,3% (1) fue falla

prematura normal, el 50% (6) de las fallas fueron causales asociadas directamente al equipo de fondo y solo el 8,3% (1 falla) fue causal asociada al yacimiento del campo.

**Gráfico 47.** Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2012.



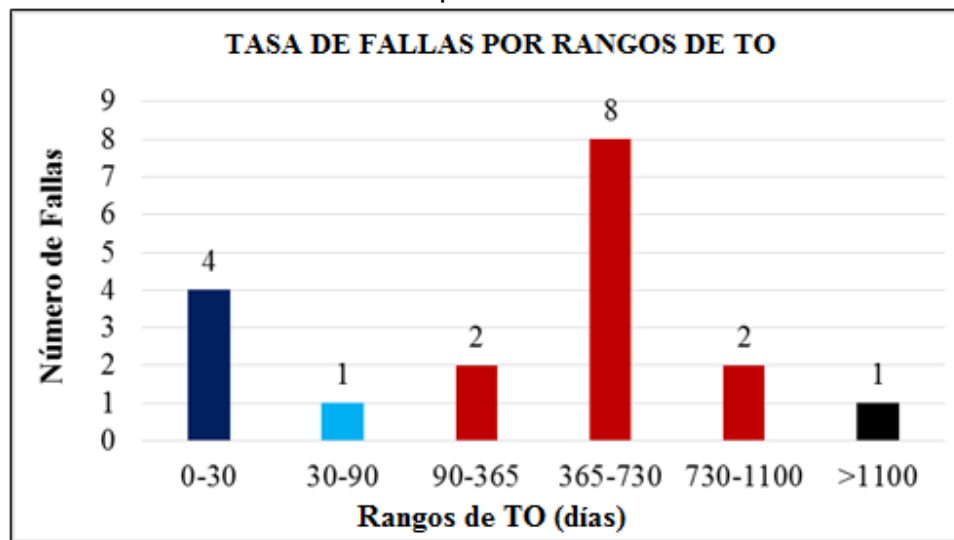
**Gráfico 48.** Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BCP año 2012.



En pozos con sistema BCP, se reportaron un total de 6 fallas en equipos de fondo (gráfico 47), el cual corresponde al 33,3% de las fallas totales presentadas en el año 2012, el 83,3% (5 fallas) fueron de tipo causal asociadas directamente el equipo de fondo y solo el 16,7% se debió a una falla por desgaste operativo, pues el equipo que falló ya tenía más de 1100 días de funcionamiento.

#### 7.1.4.3. Tasa de Fallas totales en el año 2012 por rangos de TO

**Gráfico 49.** Número de fallas en Campo Zeta de acuerdo a los TO en el año 2012.



En este año se observa un tiempo de falla mucho mas equilibrado, se espera que las fallas ocurran en un tiempo prolongado propio del desgaste de los equipos.

Sin embargo el gráfico 48, permite observar que en el tiempo prematuro (0-90 días) se presentó el 27,8% (5) de las fallas, de las cuales 4 fueron fallas prematuras infantiles; el 61,1% (11) de las fallas ocurrieron en un tiempo superior al año de operación, destacando el rango de 365-730 días con el 44,4% del total de las fallas, ya a este año 3 de los equipos que fallaron tenían mas de dos años de funcionamiento e incluso uno de ellos ya sobrepasaba los 1100 días operando.

**7.1.4.4. Tasa de Fallas totales por Caudal teórico en el año 2012.** El 56% de las fallas ocurridas en el año 2012 se dieron en pozos con caudales entre los 4000 y 8000 BFPD, el 33% en pozos con caudales entre los 2000 y 4000 BFPD y el 11%

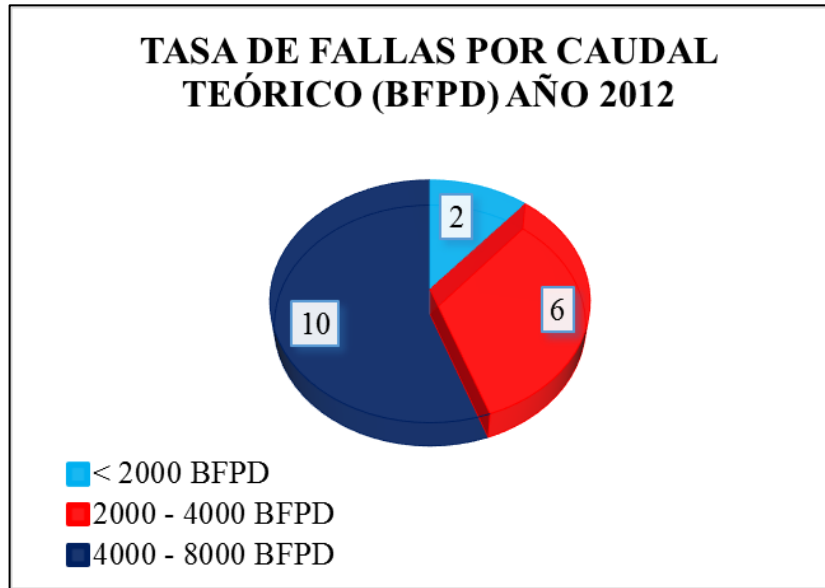
con caudales menores a los 2000 BFPD, el 67% en equipos BES y el 33% en pozos con equipos BCP.

En los pozos de menor caudal (< 2000 BFPD), una falla fue mecánica afectando el estator de un equipo BCP por desgarre de elastómero y otra eléctrica en un equipo BES por motor aterrizado.

En pozos con caudales entre los 2000 y 4000 BFPD, el 66% se dio por desconexión de varilla de bombeo, el 17% por desgarre de elastómero en sistemas BCP y en sistemas BES el otro 17% por falla en el sensor debido al bajo aislamiento.

En pozos con caudales entre los 4000 y 8000 BFPD, el 50% fueron fallas mecánicas generalmente por desgaste en las etapas de la bomba y rupturas de eje en bomba y sello, el 40% por fallas eléctricas en el cable de potencia y motor por fase a tierra, el 20% fue una falla mixta, mecánicamente se golpea el cable MLE ocasionando una falla eléctrica.

**Gráfico 50.** Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico en el año 2012.

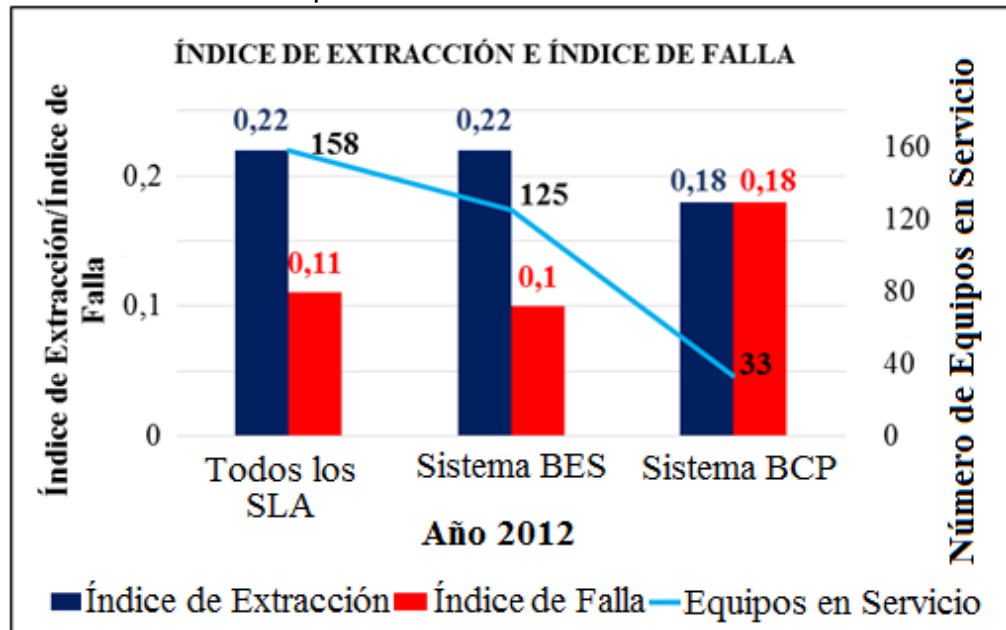


**7.1.4.5. IE e IF por SLA en el año 2012.** En el año 2012 los índices de falla y de extracción aumentaron considerablemente. Debido a que se realizaron varias extracciones ajenas a fallas en los equipos de fondo y las fallas reportadas en este año tuvieron un incremento, comparado con el año inmediatamente anterior, se

pasó de 8 a 18 fallas y el número de equipos en funcionamiento también aumento de 108 a 158 (gráfico 50).

En los sistemas BCP el IE y el IF son iguales, este sería el comportamiento en el que cada extracción corresponde a una falla presentada en pozo.

**Gráfico 51.** IE e IF en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2012.



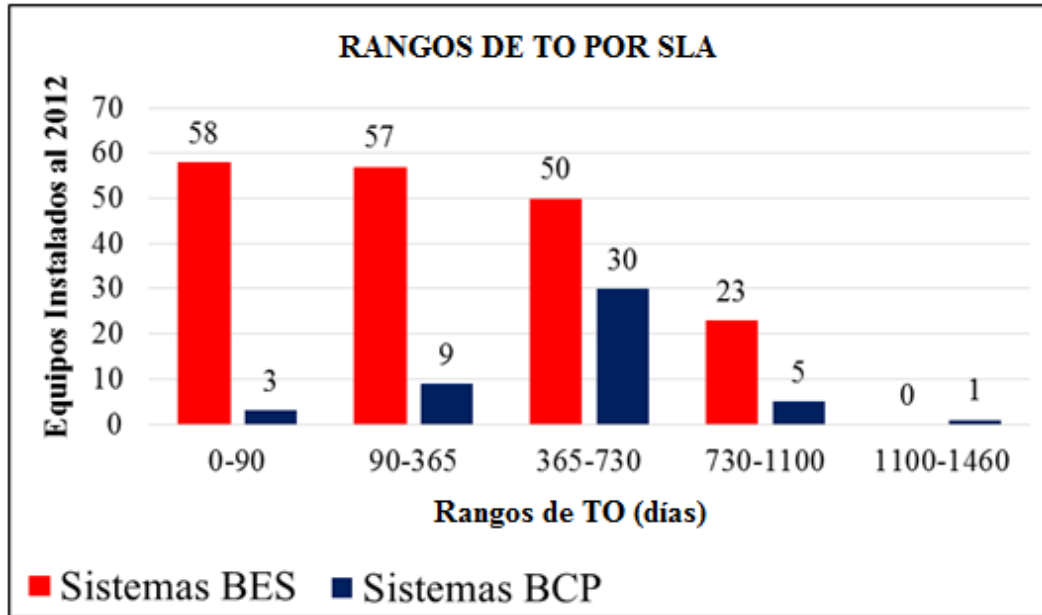
**7.1.4.6. Tasa de instalaciones acumuladas por SLA agrupadas en rangos de TO, año 2012.** Terminado el año 2012 se habían instalado 236 equipos en fondo, de los cuales 48 (20,3%) corresponden a sistemas BCP y 188 (79,7%) a sistemas BES.

En este año el 25,8% (61) de los equipos instalados aun no sobrepasaba el periodo prematuro (0-90 días), entre 90-365 días se encuentra el 28% (66) de los sistemas de levantamiento, el 33,9% (80) de los sistemas se encuentra entre uno y dos años, de dos a tres años el 11,8% (28) de los sistemas y solo un equipo (0,42%) del sistema BCP superaba los tres años de funcionamiento (gráfico 51).

Sin embargo, en este año ya se hace evidente la diferencia entre el gran número de instalaciones de sistemas BES y las instalaciones de sistemas BCP en el campo.



**Gráfico 52.** Rango de TO por tipo de SLA Campo Zeta año 2012.



**7.1.4.7. MTBF y TOP acumulado al año 2012 por SLA.**

**Gráfico 53.** MTBF y TOP en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2012.

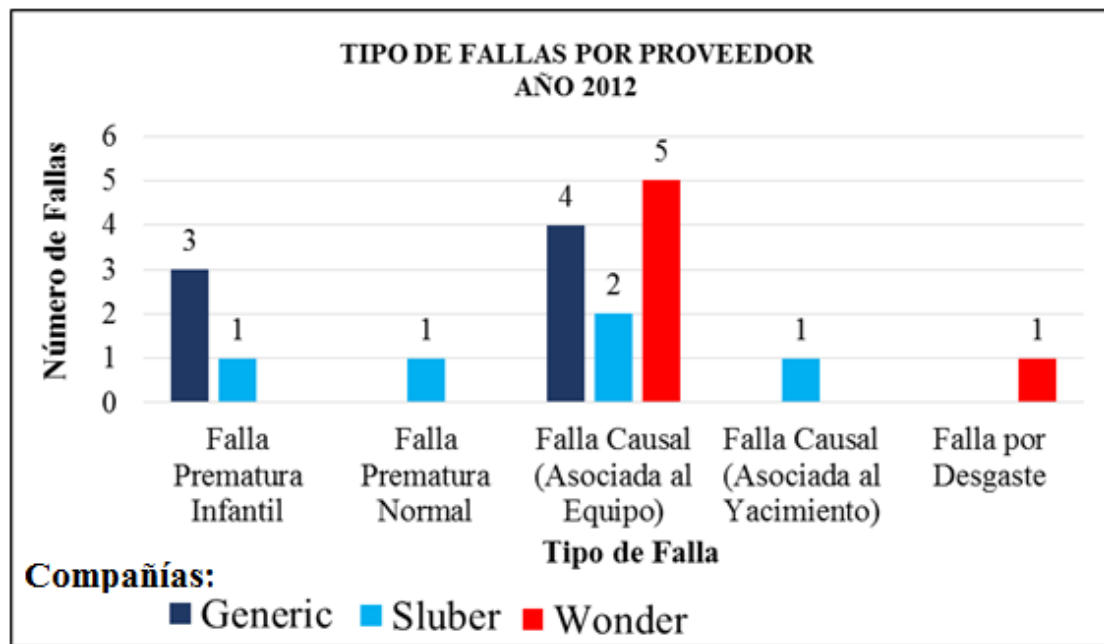


El TOP de los sistemas BCP es más alto que los sistemas BES y de un año a otro aumento de manera considerable (gráfico 52), como resultado de las pocas fallas

que se han presentado en los sistemas BCP. Así mismo el MTBF es significativamente más alto para los sistemas BCP y concuerda con las gráficas de los años anteriores, donde se puede observar que los equipos del sistema BCP históricamente han funcionado sin fallas por más días.

#### 7.1.4.8. Tasa y tipos de Falla por proveedor en el Año 2012.

**Gráfico 54.** Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo en el año 2012.



#### 7.1.4.9. Principal componente afectado en las Fallas por tipo de SLA en el Año 2012.

De las 12 fallas ocurridas en los equipos con sistema BES (gráfico 53), el 58% (7 fallas) se reportan en equipos que pertenecen a la compañía Generic y el 42% (5) de la compañía Sluber.

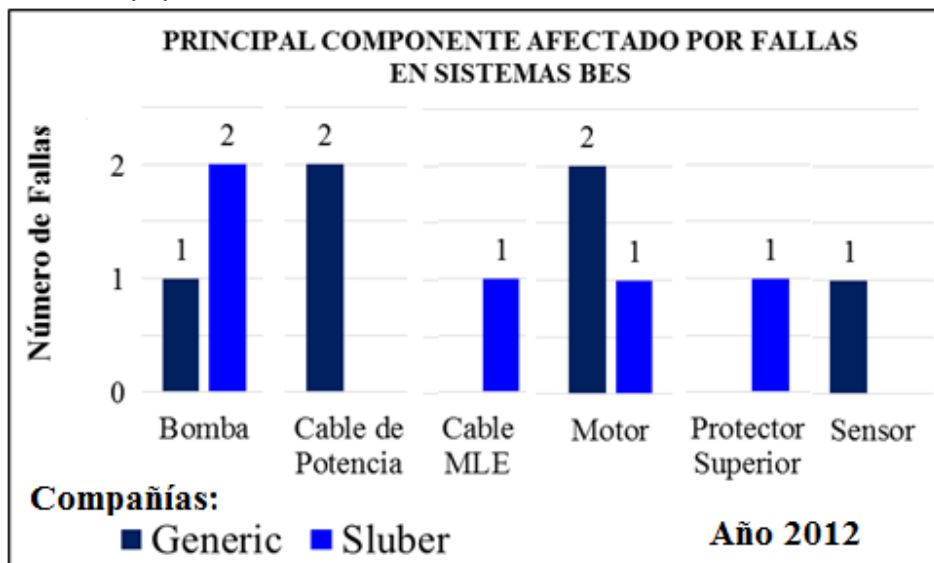
De la compañía Generic 3 fallas fueron prematuras, una se presentó a los 4 días de operación, por pérdida de la herramienta Y-Tool (pescado) en fondo de pozo, al tratar de recuperar esta herramienta se desencadenó en el mismo pozo (Q IV) otra falla eléctrica por motor aterrizado a los 5 días de operación, y la tercer falla prematura fue por bajo aislamiento en el sensor encontrándose con agua el mismo

día de la instalación, tal y como ocurrió en el 2009 y en el 2010 en dos instalaciones realizadas por esta misma compañía. De las otras 4 fallas que se reportaron y que fueron asociadas al equipo de fondo, una ocurrió a los 422 días de operación por daño en las etapas de la bomba, otra a los 555 días por motor aterrizado y las otras 2 fallas por daño en el cable de potencia a los 503 y 576 días de operación (gráfico 54).

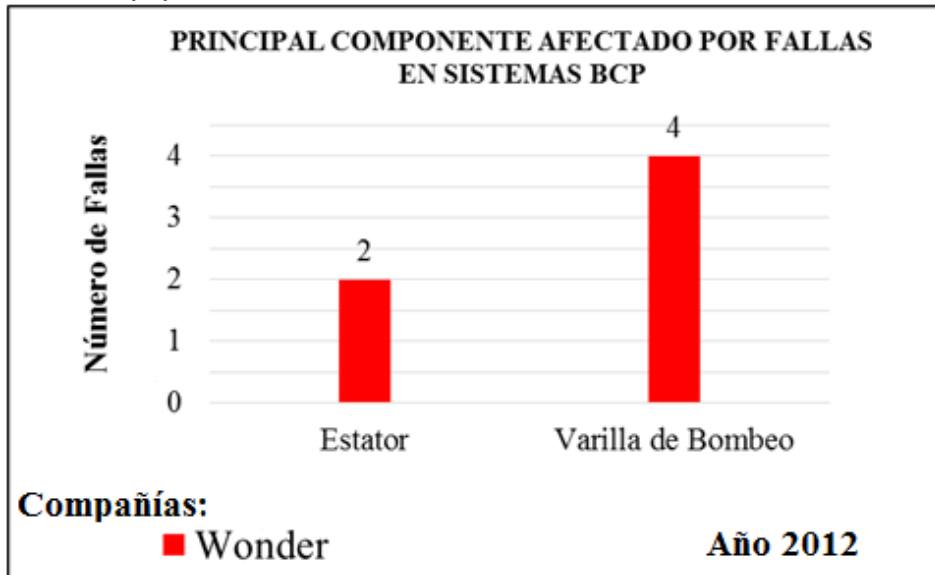
De las 5 fallas presentadas en equipos de la compañía Sluber, una fue durante la instalación del equipo, el cable MLE presento daño mecánico por arrastre debido a la desviación del pozo ZT-164, se dañó la coraza del cable afectando la capa de plomo dando lugar a una falla a tierra. Otras 2 fallas prematuras ocurrieron en el pozo ZT-194, una a los 96 días de operación donde se encontró que el eje de la bomba estaba partido y la otra en el mismo pozo a la siguiente instalación con 36 días de operación evidenciando ruptura en el eje del protector superior, ambos equipos en su instalación estaban nuevos, lo que evidenciaría que algún factor podría estar haciendo restricción en el pozo posiblemente presencia de sólidos.

En agosto tuvo lugar una falla causando ruptura en el eje de la bomba en el ZT-66 a causa de una obstrucción por arenas de la formación decantadas en el fondo del pozo, esta falla ocurrió a los 640 días de operar el equipo, la última falla en equipos de la compañía Sluber se reportó en septiembre por motor aterrizado con 981 días de operación.

**Gráfico 55.** Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2012.



**Gráfico 56.** Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BCP año 2012.



De las 6 fallas en sistemas BCP el 100% se reportan a equipos de la compañía Wonder (gráfico 55). Dos ocurrieron en el estator de la bomba por desgarramiento del elastómero; una ocurrió a los 1158 días de operación del equipo, por lo cual esta falla se atribuye al periodo de desgaste y se encontraba por fuera de garantía del proveedor, la segunda falla ocurrió a los 972 días de operación, la cual aún se atribuye al equipo de fondo por tener un tiempo menor a 1100 días y no tener ninguna afectación del yacimiento.

Las otras 4 fallas, también asociadas al equipo, se dieron por desconexión de la varilla de bombeo, a los 112, 622, 505 y 593 días de operación, las dos últimas ocurrieron en el mismo pozo ZT-39 una en el mes de mayo la cual se solucionó y la otra en el mes de septiembre, después de estas fallas al ZT-39 se le realizó cambio de sistema de levantamiento de BCP a BES.

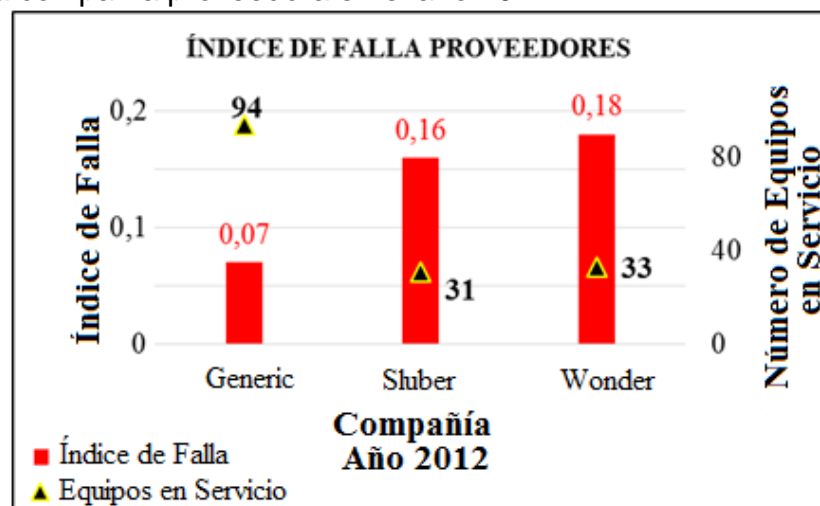
**7.1.4.10. Índice de Falla por proveedor en el año 2012.** En 2012 el IF para la compañía Generic se mantuvo estable en 0,07 con respecto al año 2011, aunque el número de fallas aumentará de 2 a 5, los equipos en funcionamiento de esta compañía también aumentaron de 61 en el 2011 a 94 en el año 2012.

En la compañía Sluber al igual que en los años anteriores el IF aumentó, de 0,14 en 2011 a 0,16 en el 2012 y el número de equipos en funcionamiento paso de 14 a 31, aun así, se tiene en cuenta que, de las 5 fallas reportadas, 2 fueron fallas

prematuras, 1 falla causal asociada al yacimiento y solo 2 fueron fallas causales asociadas directamente al equipo de fondo.

El IF para la compañía Wonder en 2012, tuvo un aumento significativo, pasó de presentar 2 fallas en el 2011 a reportar 6 en el año 2012 con 33 equipos corriendo en ambos años, del total de las fallas, 5 fueron causales asociadas al equipo por desconexión de varilla de bombeo, y desgarrar del elastómero generalmente. Solamente una fue falla por desgaste operativo en el estator, pues el equipo ya tenía 1158 días de estar funcionando en el campo (gráfico 56).

**Gráfico 57.** Índice de falla y número de equipos operando en Campo Zeta de acuerdo a la compañía proveedora en el año 2012.



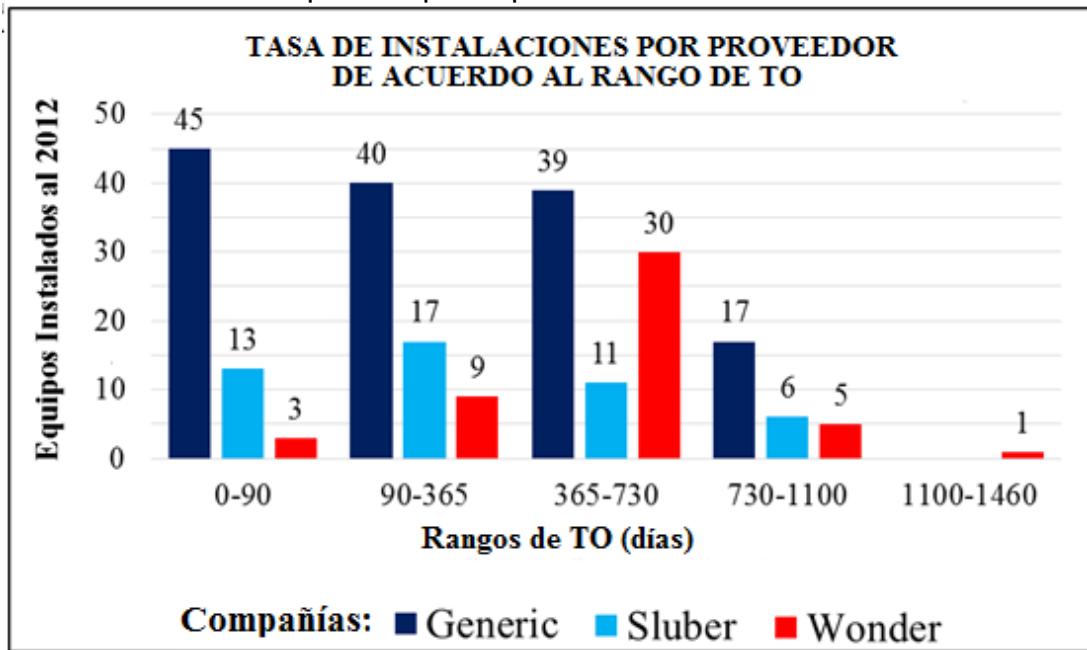
**7.1.4.11. Tasa de instalaciones acumuladas por proveedor de acuerdo al rango de TO alcanzados al año 2012.** Finalizado el año 2012 el 59,7% de equipos instalados pertenecen a la compañía Generic. De estos, el 31,9% de los equipos están en un rango menor a 90 días, entre 90 días y un año se encuentra el 28,4% de los sistemas, 27,6% se encuentra entre uno y dos años, el 12,1% restante de los equipos tiene un tiempo de operación mayor a dos años.

El 19,9% de los equipos instalados al 2012 son de la compañía Sluber. De los cuales el 27,7% no supera los 90 días de operación, 36,1% se encuentra entre 90 días y un año de operación, el 23,4% está entre un año y dos años de funcionamiento, y 18,8% sobrepasó los dos años de funcionamiento.

El 20,4% del total de los equipos instalados pertenecen al sistema BCP de la compañía Wonder. De esta compañía, entre 0 y 90 días se encuentra el 6,3% de

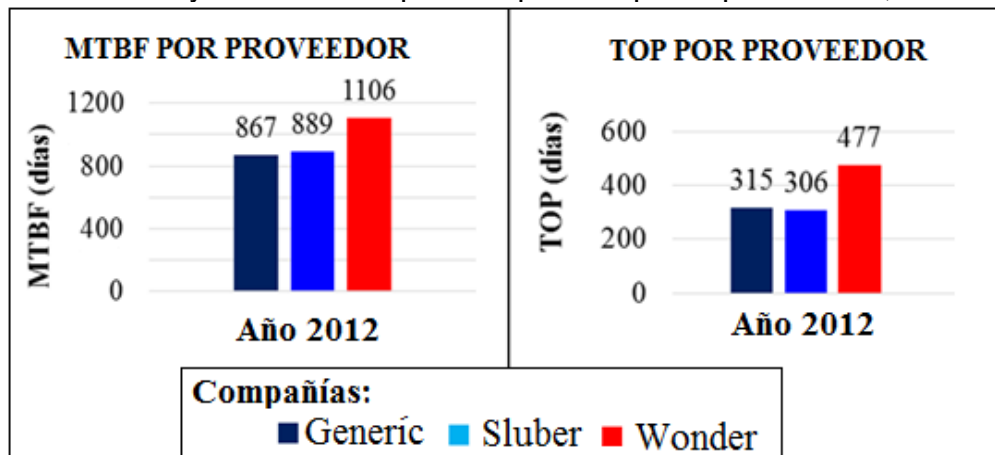
los equipos, el 18,7% en un tiempo mayor a 90 días y menor a un año, 62,5% de los sistemas está en un rango de 1 a 2 años, el 10,4% de equipos se encuentra entre 2 y 3 años de operación, y el 2,1% sobrepasa los tres años de funcionamiento (gráfico 57)

**Gráfico 58.** Número de equipos instalados en Campo Zeta de acuerdo a los TO alcanzados al año 2012 por compañía proveedora.



7.1.4.12. MTBF y TOP al año 2012 por proveedor.

**Gráfico 59.** MTBF y TOP en Campo Zeta por compañía proveedora, año 2012.



En el año 2012 el MTBF continúa incrementando (gráfico58), teniendo así el comportamiento esperado; comparado con los años anteriores su aumento es más lento con el paso del tiempo, la razón principal es que se han presentado más fallas en todos los sistemas y que la mayoría de las fallas son causales directas del equipo.

El tiempo de operación promedio para Generic y Sluber aumentó, pero no de manera significativa, porque se siguen realizando instalaciones que hacen disminuir el tiempo promedio. Contrario a esto, el TOP de Wonder si incrementó de forma considerable porque se realizaron pocas instalaciones y la mayoría de sus equipos se encuentran en una etapa de operación mayor a un año.

### 7.1.5. Campo Zeta Año 2013

#### 7.1.5.1. Tasa y causa de las Extracciones realizadas en el año 2013.

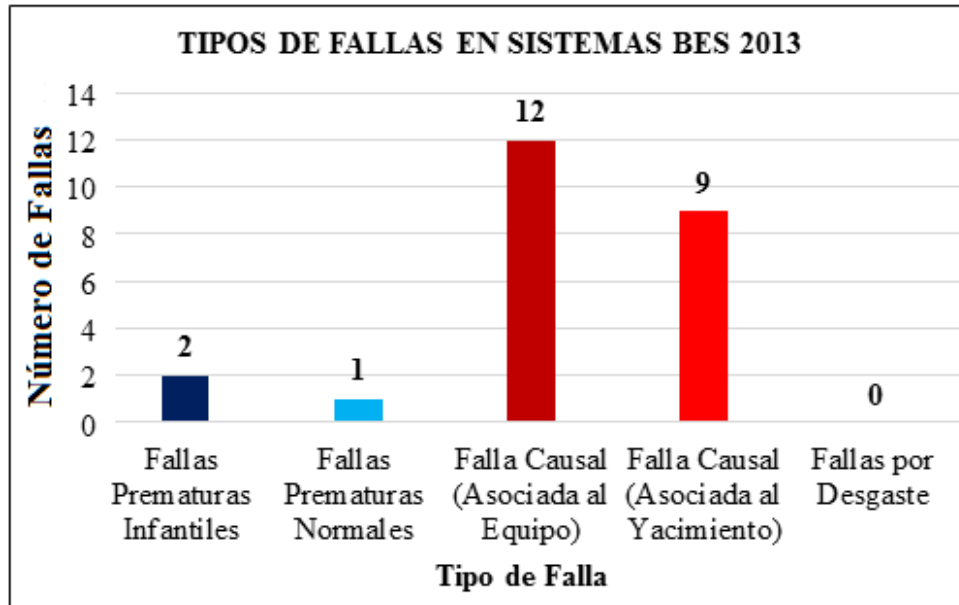
**Gráfico 60.** Causa principal de las Extracciones en Campo Zeta realizadas en el año 2013.



En el año 2013 se realizaron 9 (17,6%) extracciones por rediseño de equipo, 11 (21,6%) intervenciones por trabajos en el pozo, 2 (4%) extracciones por tubería rota y 29 (56,8%) por fallas en el equipo para un porcentaje de falla de 56,8% (gráfico 59).

### 7.1.5.2. Tasa y tipos de Fallas por SLA en el año 2013.

**Gráfico 61.** Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2013.



De las 29 fallas reportadas en el año 2013, el 82,7% (24) ocurrieron en pozos con SLA tipo BES. Distribuidas en tipos de falla así: 2 fallas prematuras infantiles, 1 falla prematura normal, 12 fallas causales asociadas al equipo y 9 fallas causales asociadas al yacimiento (gráfico 60).

Las 5 fallas restantes 17,3%, corresponden a pozos con equipos de levantamiento BCP. 40% fallas prematuras normales y 60% fallas causales asociadas al equipo (gráfico 61).

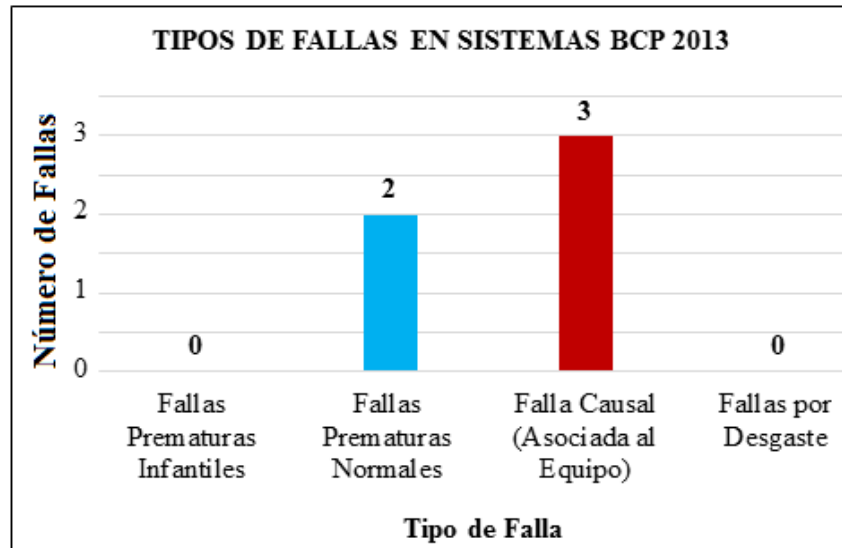
**7.1.5.3. Tasa de Fallas totales en el año 2013 por rangos de TO.** En el año 2013, el periodo de fallas prematuras (0-90 días) represento el 6,9% del total de fallas, en el tiempo de operación de 30-90 días ocurrieron el 10,3% de las fallas, el tiempo de operación critico fue de 90-365 días con el 44,8% de las fallas totales, para el tiempo de operación de 356-730 días se presentó el 24,1% de las fallas y para el tiempo de operación de 730-1100 días el 14% de las fallas totales (gráfico 62).

**7.1.5.4. Tasa de Fallas totales por Caudal teórico en el año 2013.** El 13% de las fallas ocurridas en el año 2013 se dieron en pozos con caudales menores a los 2000 BFPD, el 23% en pozos con caudales entre los 2000 y 4000 BFPD, el 58% con

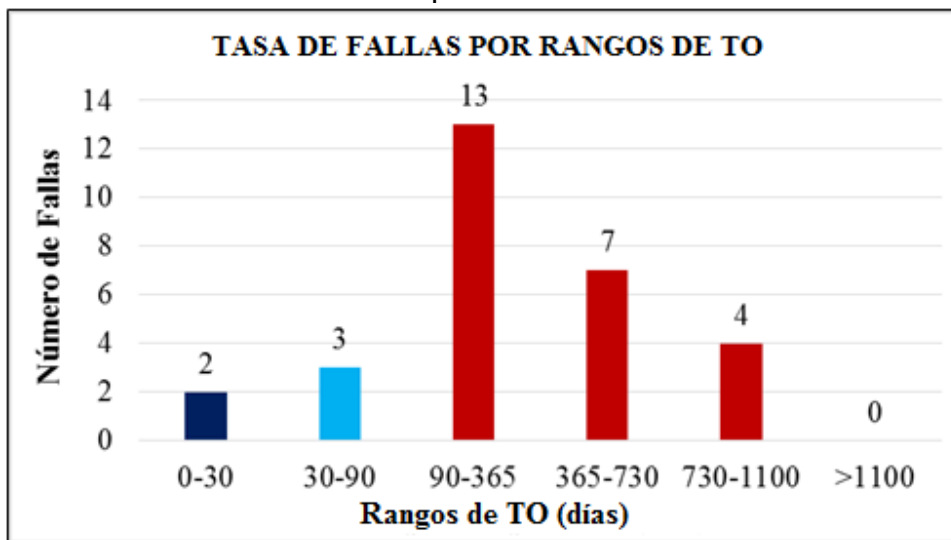


caudales entre los 4000 y 8000 BFPD y el 6% con caudales mayores a los 8000 BFPD.

**Gráfico 62.** Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BCP año 2013.



**Gráfico 63.** Número de fallas en Campo Zeta de acuerdo a los TO en el año 2013.



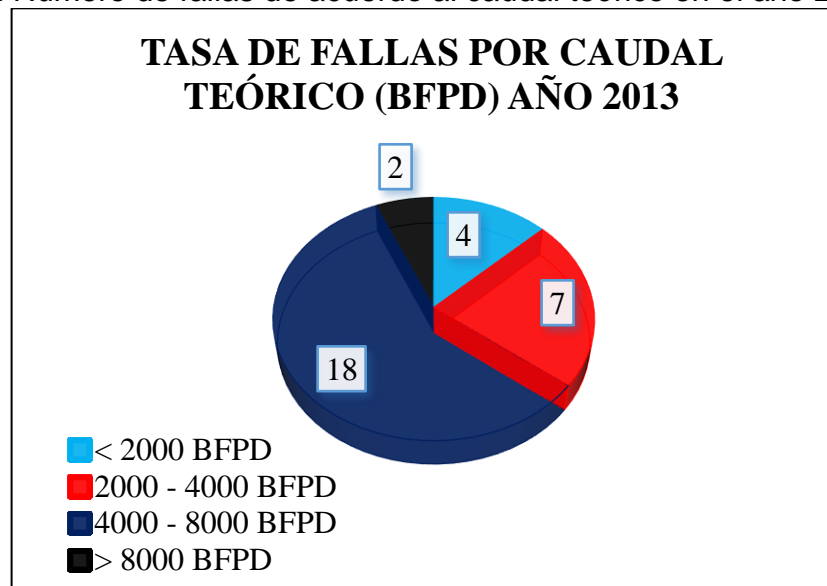
En los pozos de menor caudal (< 2000 BFPD), el 50% de las fallas fue en equipos BCP por desgarre de elastómero, el 25% falla por ruptura de eje en un equipo BES, y el otro 25% corresponde a una parada por tubería rota.

En pozos con caudales entre los 2000 y 4000 BFPD, el 57% de las fallas fue en pozos con sistemas BES (gráfica 63), afectando principalmente el motor por fase a tierra, aunque se tuvo también una falla por arenamiento y otra mixta por daño mecánico en el cable MLE ocasionando falla eléctrica.

En pozos con caudales entre los 4000 y 8000 BFPD, el 44,4% fueron fallas mecánicas generalmente por presencia de arenamiento y corrosión en los equipos de fondo, el 33,3% por daños en el cable MLE, y el 17% por motor aterrizado.

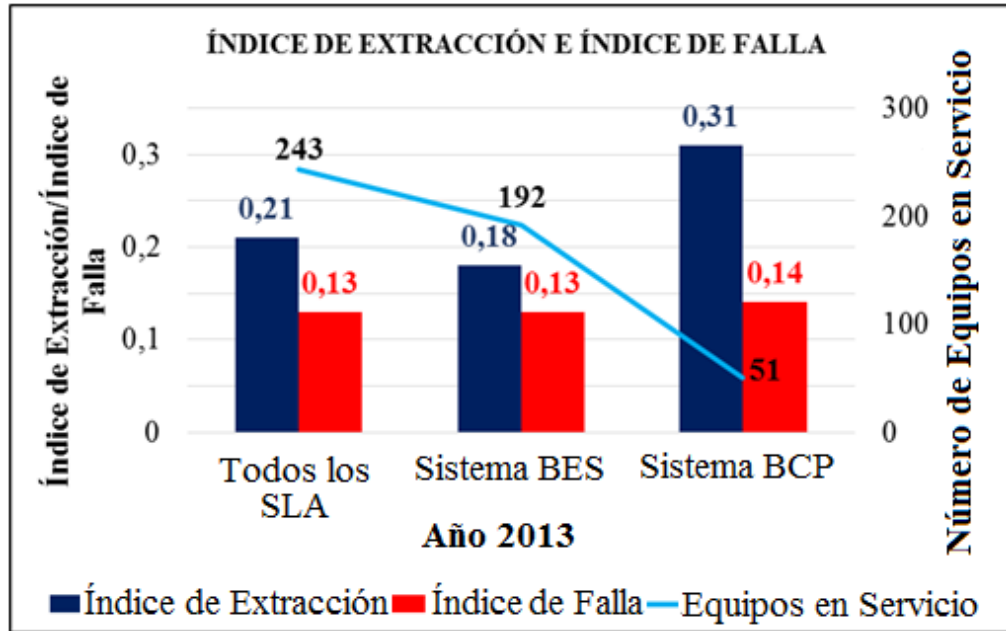
En pozos con caudales mayores a 8000 BFPD, una fue falla eléctrica en equipo BES por motor aterrizado y otra fue falla mecánica en BCP por desgarre de elastómero.

**Gráfico 64.** Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico en el año 2013.



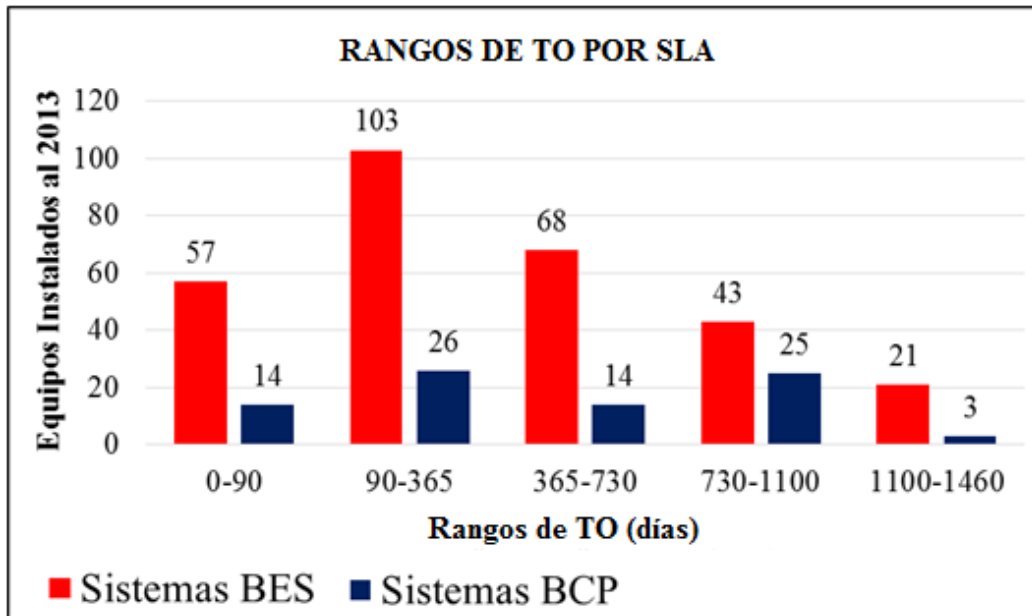
**7.1.5.5. IE e IF por SLA en el año 2013** En el gráfico 63, se observa como en comparación con años anteriores el IE y el IF tienen valores cada vez más aproximados el uno al otro, la razón principal es que las extracciones realizadas son en mayor proporción por fallas de los equipos que por cualquier otra razón. En los equipos del sistema BCP el IF es más alto que en los equipos BES, a pesar de que en general los sistemas BCP fallen menos. El IE es más alto para estos sistemas, porque en este año se realizaron más extracciones por razones diferentes a una falla.

**Gráfico 65.** IE e IF en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2013.



**7.1.5.6. Tasa de instalaciones acumuladas por SLA agrupadas en rangos de TO, año 2013**

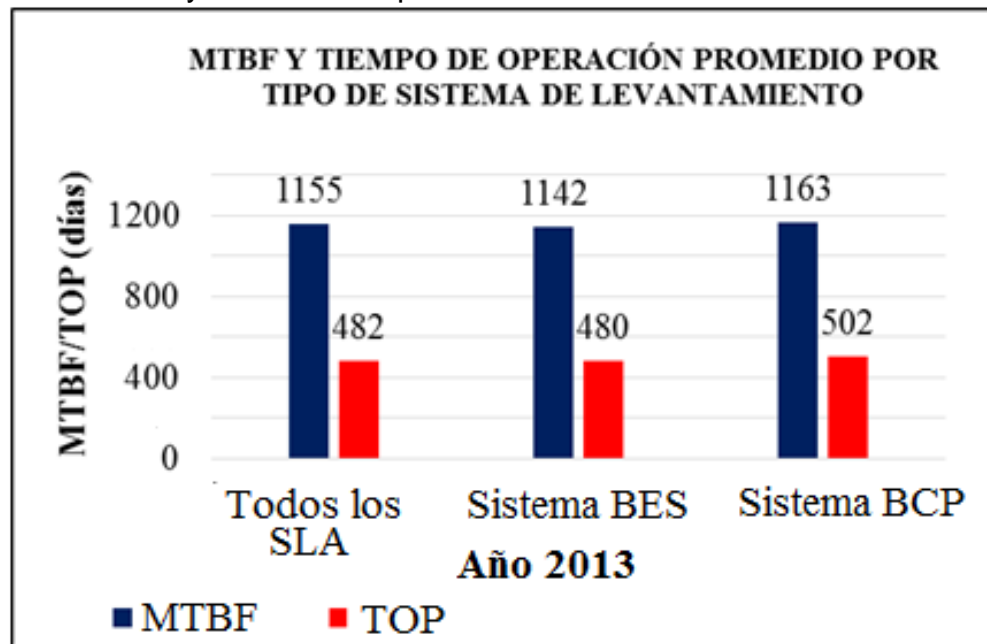
**Gráfico 66.** Rango de TO por tipo de SLA Campo Zeta año 2013.



Al 31 de diciembre del año 2013, en total se contabilizaron 374 SLA instalados (gráfica 65), 292 (78,1%) BES y 82 (21,9%) BCP. De los cuales el 19% (71) se encuentra en un rango de 0 a 90 días, el 34,5% (129) de equipos esta entre 90 a 365 días, en un rango de uno a dos años se encuentra el 21,9% (82) de sistemas y el 24,6% (92) de equipos está en una etapa mayor a los dos años.

#### 7.1.5.7. MTBF y TOP acumulado al año 2013 por SLA.

**Gráfico 67.** MTBF y TOP en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2013.

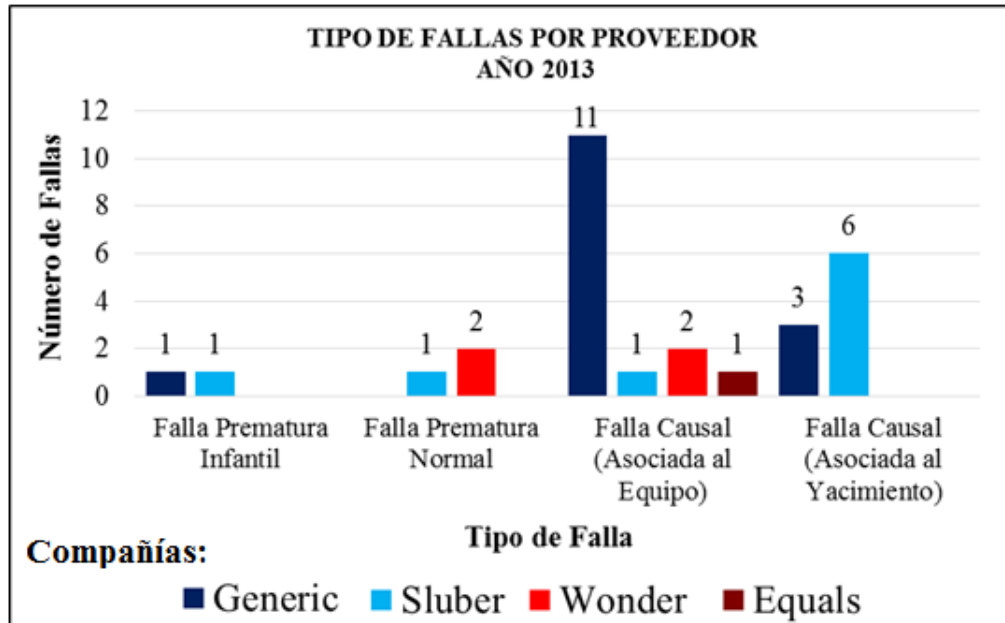


Se puede observar en el gráfico 66, que el MTBF y el TOP, continuando con la tendencia observada en las gráficas de los años anteriores, aumentan; pero ambos valores no aumentan en la misma proporción acostumbrada año tras año, ya que si comparamos el año 2013 con el año 2012 tenemos un aumento mayor al 100% en la cantidad de fallas ocurridas en el mismo lapso de tiempo.

El año 2013 se reportaron la mayor cantidad de fallas en los dos sistemas de levantamiento utilizados en campo Zeta hasta el 31 de diciembre. Con gran cantidad de equipos sin funcionamiento el tiempo de operación promedio se vio seriamente afectado.

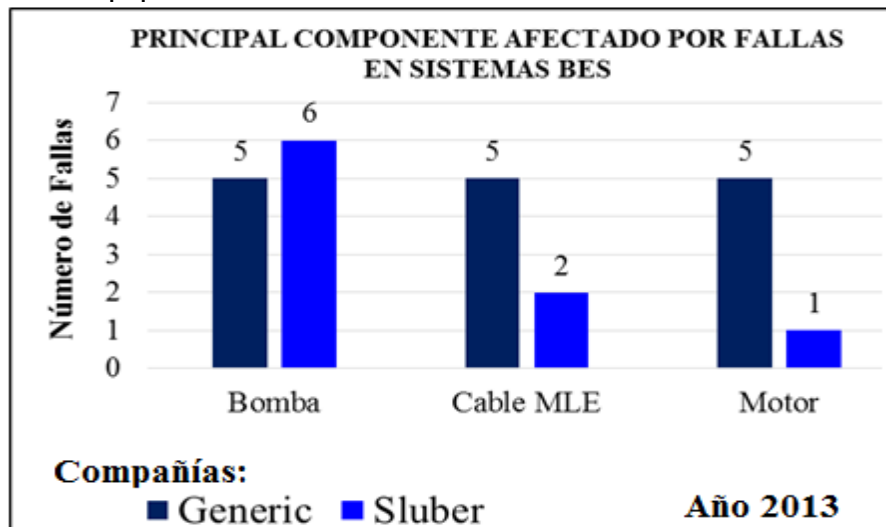
**7.1.5.8. Tasa y tipos de Falla por proveedor en el Año 2013.**

**Gráfico 68.** Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo en el año 2013.



**7.1.5.9. Principal componente afectado en las Fallas por tipo de SLA en el Año 2013.**

**Gráfico 69.** Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2013.



En equipos de sistema BES se presentaron 24 fallas que corresponden al 82,7% del las fallas totales (gráfica 67).

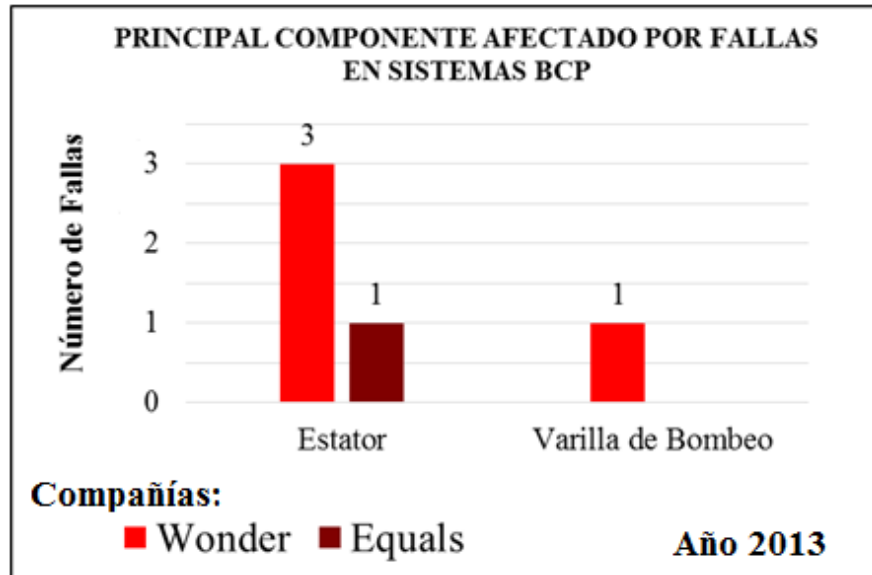
En el gráfico 68, el 62,5% (15 fallas) ocurrieron en equipos de la compañía Generic; una falla prematura infantil por motor aterrizado, debido a una mala instalacion del equipo a 1 dia de funcionamiento; 4 fallas asociadas al equipo por motor aterrizado a los 610, 705, 731 y 762 dias de operación respectivamente; 3 fallas asociadas al yacimiento por restriccion de la bomba por arenamiento a 179, 344 y 582 dias de funcionamiento del equipo; 1 falla causal asociada al equipo por rutura en el eje de la bomba posiblemente por la decantacion de solidos a 141 dias de operación; 5 fallas asociadas al equipo por daño en el cable MLE perdiendo su aislamiento a 263, 302, 399, 722 y 929 dias de funcinamiento continuo; y 1 falla asociada al equipo a los 114 dias por mal acople del coupling.

El 37,5% (9 fallas) del total de fallas en sistemas BES se presentaron en equipos de la compañía Sluber. 1 falla prematura infantil por motor aterrizado a los 17 dias de instalacion; 1 falla prematura normal por daño en el cable MLE a los 54 dias y 1 falla causal asociada al equipo tambien por daño en el cable MLE a los 289 dias de operación; 2 fallas por bomba con restriccion por arenamiento asociadas al yacimiento a 136 y 326 dias de instalacion del equipo; 2 fallas por daño en las etapas de la bomba por corrosion, asociadas al yacimiento a 297 y 738 dias de operación; 2 fallas causales asociadas al yacimiento, una por daño en el Intake de la bomba por arenamiento a los 266 dias y otra por daño en la descarga de la bomba por arenamiento a los 312 dias de operación.

Los sistemas BCP presentan (gráfico 69) el 17,3% (5 fallas) del total de fallas en equipos para el año 2013. La compañía Wonder presento 4 fallas (80%). 2 fallas prematuras normales, una por desgarrre del elastomero a los 58 dias de operación y otra por equipo en malas condiciones asociada a problemas del yacimiento a 33 dias de la instalacion; 1 falla causal por daño en el estator, asociada al equipo por desgarrre del elastomero a 580 dias de operación y 1 falla causal por desconexion de las varillas, asociada al equipo luego de 461 dias de funcionamiento.

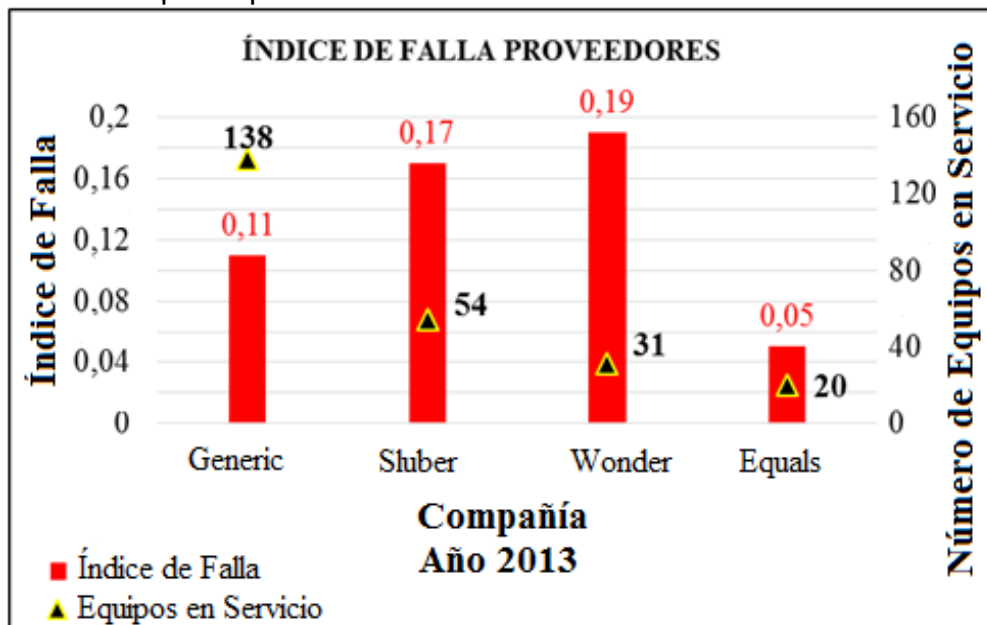
El 20% restante (1 falla) corresponde a un equipo de la compañía Equals, con una falla causal asociada al equipo por daño en el estator presentado desgarrre en el elastómero a 219 días de operación.

**Gráfico 70.** Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BCP año 2013.



7.1.5.10. IF por proveedor en el año 2013.

**Gráfico 71.** Índice de falla y número de equipos operando en Campo Zeta de acuerdo a la compañía proveedora en el año 2013.



En el año 2013 se presenta la primera falla en equipos de la compañía Equals de 20 sistemas instalados para un índice de falla de 0,05

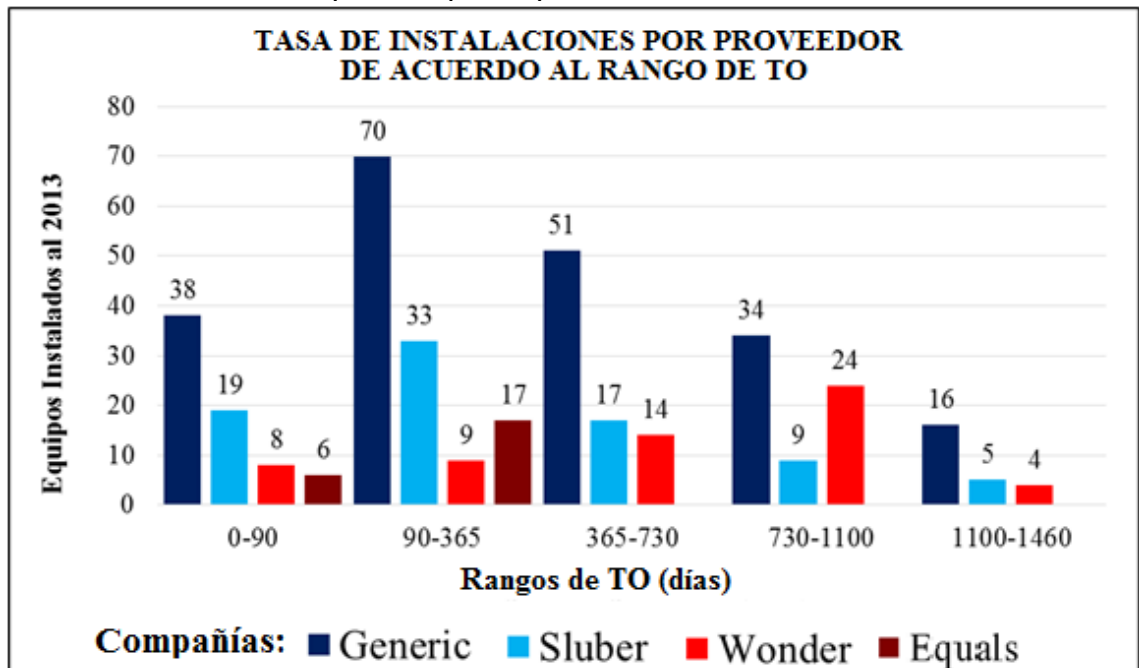
El año 2013 el índice de falla para la compañía Generic aumento, paso de 0,07 en 2012 a 0,11 en 2013 hecho que concuerda con el aumento considerable de fallas para este año que fue mucho mayor en proporción al aumento de sistemas corriendo que aumento a 134 equipos (gráfico 70).

En la compañía Sluber al igual que en los años anteriores el índice de falla aumentó, de 0,16 en 2012 a 0,17 en el 2013 y el número de equipos en funcionamiento paso de 31 a 54, de esta forma se observa un aumento considerable en las fallas para esta operadora.

Para la compañía Wonder en 2013 el índice de falla aumento hasta 0,19 a pesar de que se presentaron el mismo número de fallas, es importante resaltar que en este año el número de equipos corriendo disminuyo hasta 31.

**7.1.5.11. Tasa de instalaciones acumuladas por proveedor de acuerdo al rango de TO alcanzados al año 2013.**

**Gráfico 72.** Número de equipos instalados en Campo Zeta de acuerdo a los TO alcanzados al año 2013 por compañía proveedora.





Al terminar el año 2013 el 55,9% de todos los equipos instalados corresponden a la compañía Generic (gráfico 71). El 18,2% se encuentran en un rango de 0 a 90 días, en el rango entre 90 días y un año de instalación está el 33,5%, el 24,4% se encuentra en un tiempo entre uno a dos años de operación, el 24% restante de los equipos tiene un tiempo de operación mayor a dos años.

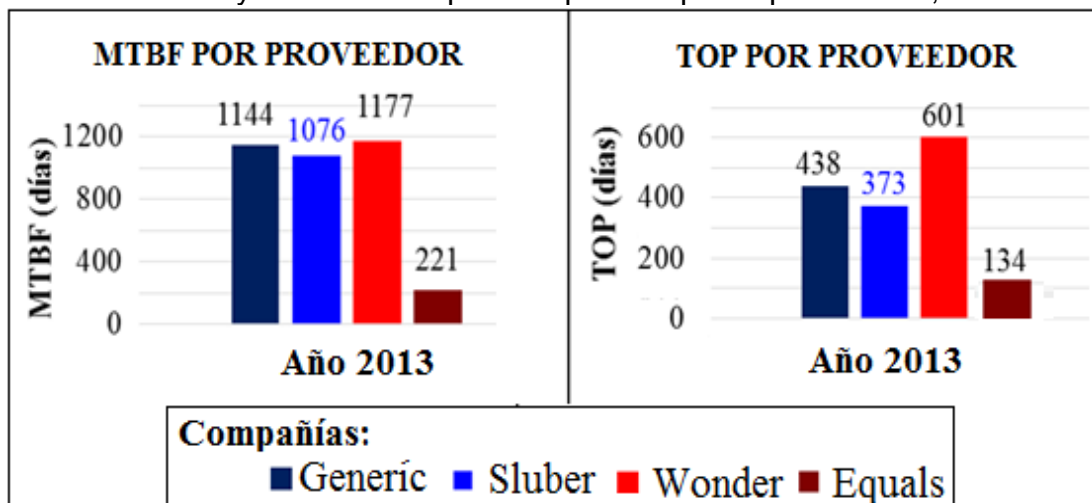
Por su parte la compañía Sluber cuenta con el 22,2% de todas las instalaciones. De estas el 22,9% no supera los 90 días de operación, el 39,7% se encuentra entre 90 días y un año de operación, en un rango mayor a un año y menor a dos años está el 20,5% de los equipos y el 16,9% sobrepasa los dos años de funcionamiento.

El 15,7% del total de los equipos instalados pertenecen a la compañía Wonder. De esta compañía, entre 0 y 90 días se encuentra el 13,5% de los equipos, en un tiempo mayor a 90 días y menor a un año el 15,3%, el 23,7% de los sistemas está en un rango de 1 a 2 años, entre 2 y 3 años de operación se encuentra el 40,7%, y el 6,7% sobrepasa los tres años de funcionamiento.

En el año 2013 el 6,2% de equipos instalados son de la compañía Equals, de los cuales el 26% están en un rango de 0 a 90 días y el 74% entre 90 días a un año de operación.

#### 7.1.5.12. MTBF y TOP al año 2013 por proveedor.

**Gráfico 73.** MTBF y TOP en Campo Zeta por compañía proveedora, año 2013.



Para el año 2013 el MTBF sigue teniendo un incremento constante (gráfico 72), como aparece un nuevo proveedor se puede observar en él, el comportamiento que tuvieron inicialmente las otras operadoras. En comparación entre MTBF y TOP se puede evidenciar que son valores muy alejados, pero que se tiene una relación entre ellos, la compañía Wonder tiene el tiempo de operación promedio más alto y también el MTBF más alto, aunque este último solo aumento 71 días.

### 7.1.6. Campo Zeta Año 2014

#### 7.1.6.1. Tasa y causa de las Extracciones realizadas en el año 2014.

**Gráfico 74.** Causa principal de las Extracciones en Campo Zeta realizadas en el año 2014.

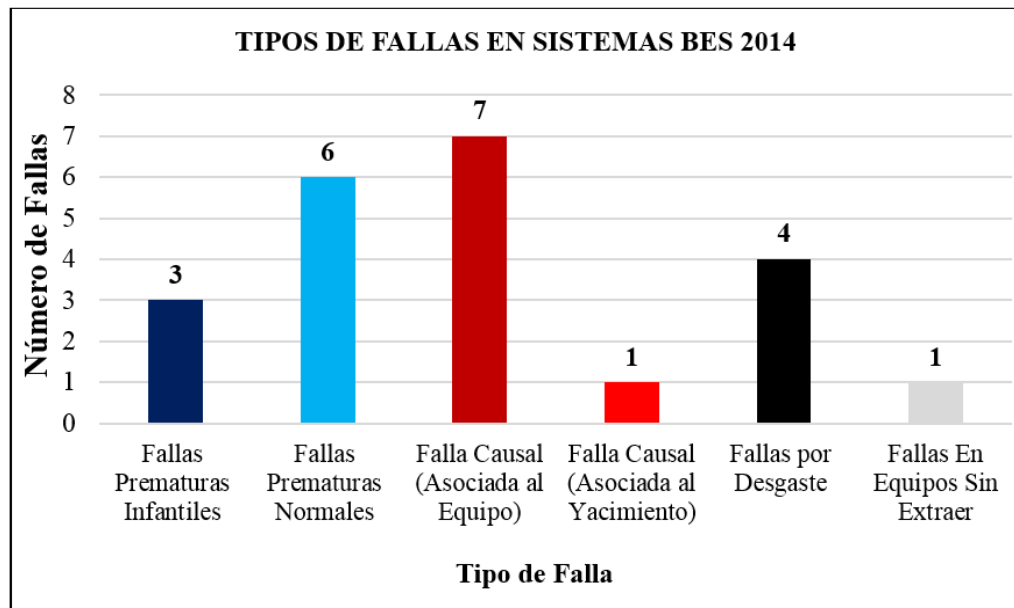


En el año 2014 se realizaron 16 extracciones por rediseño de equipo, 8 intervenciones por trabajos en el pozo, 1 extracción por tubería rota, 1 extracción para abandono de pozo y 36 por fallas en el equipo de fondo para un porcentaje de falla de 57,1% respecto al número de extracciones. En este año también se presentó 1 falla sin embargo a la fecha de este estudio no se le había realizado la extracción del equipo de fondo (gráfico 73).

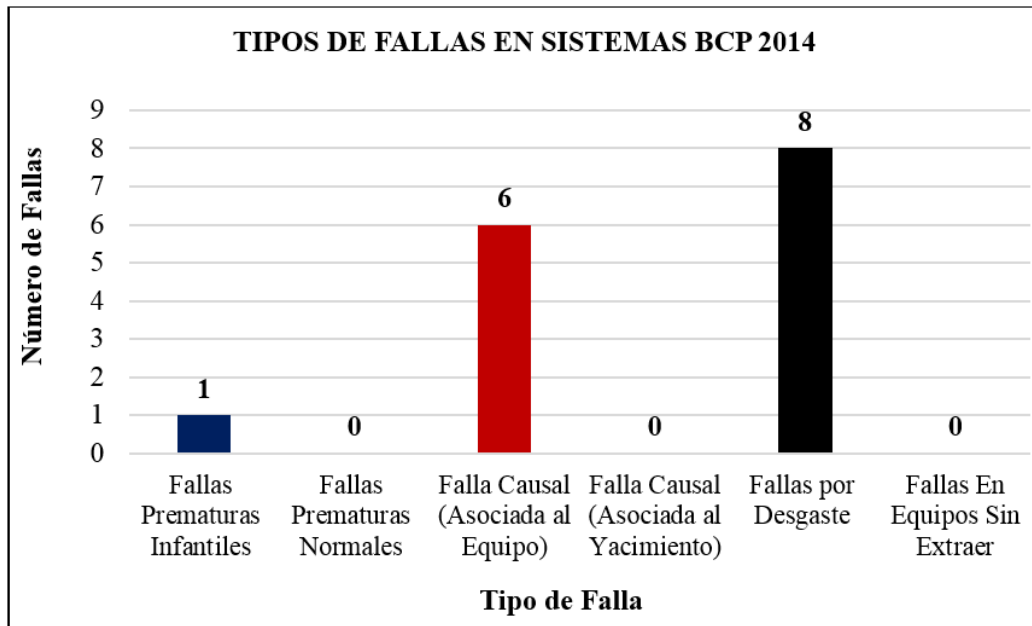
**7.1.6.2. Tasa y tipos de Fallas por SLA en el año 2014.** De las 36 fallas reportadas, el 58,3 % (21) ocurrieron en pozos con sistemas de levantamiento BES. Distribuidas en tipos de falla así: 3 fallas prematuras infantiles, 6 falla prematura

normal, 7 fallas causales asociadas al equipo, 1 falla causal asociada al yacimiento, 4 fallas por desgaste (en equipos con tiempos de operación mayor a los 1100 días) y 1 falla en un equipo que aún se encuentra en fondo del pozo (gráfica 74).

**Gráfico 75.** Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2014.



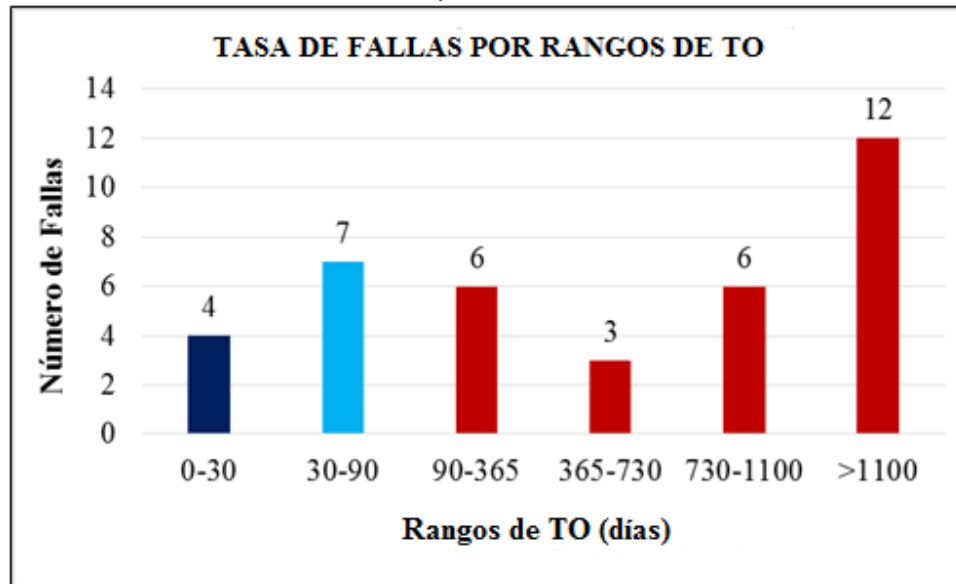
**Gráfico 76.** Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BCP año 2014.



De las 15 fallas restantes el 41,7% de las fallas totales, corresponden a pozos con equipos de levantamiento BCP. 53,33% (8) fallas por desgaste operativo, el 40% fallas causales asociadas al equipo y 6,67% (1) falla prematura infantil (gráfico 75).

### 7.1.6.3. Tasa de Fallas totales en el año 2014 por rangos de TO

**Gráfico 77.** Número de fallas en Campo Zeta de acuerdo a los TO en el año 2014.



Según el gráfico 76, en el año 2014, el periodo de fallas prematuras (0-90 días) represento el 29% del total de fallas, en el TO de 90 -365 días ocurrieron el 15,8% de las fallas, en el rango de 365-730 días el porcentaje de fallas fue de 7,9%, para el TO de 730-1100 días 15,8% de las fallas totales y el periodo crítico de fallas en este año fue en equipos con TO mayor a los 1100 días fue de 31,6%. Sin embargo, se tuvo también un alto porcentaje de fallas en el periodo de fallas prematuras.

**7.1.6.4. Tasa de Fallas totales por Caudal teórico en el año 2014.** El 20% de las fallas ocurridas en el año 2014 se dieron en pozos con caudales menores a los 2000 BFPD, el 34% en pozos con caudales entre los 2000 y 4000 BFPD, el 39% con caudales entre los 4000 y 8000 BFPD y el 7% con caudales mayores a los 8000 BFPD (gráfico 77).

En los pozos de menor caudal (< 2000 BFPD), el 87,5% fue en pozos con sistemas BCP, el 62,5% por desgarrar de elastómero en el estator y el 25% por desconexión

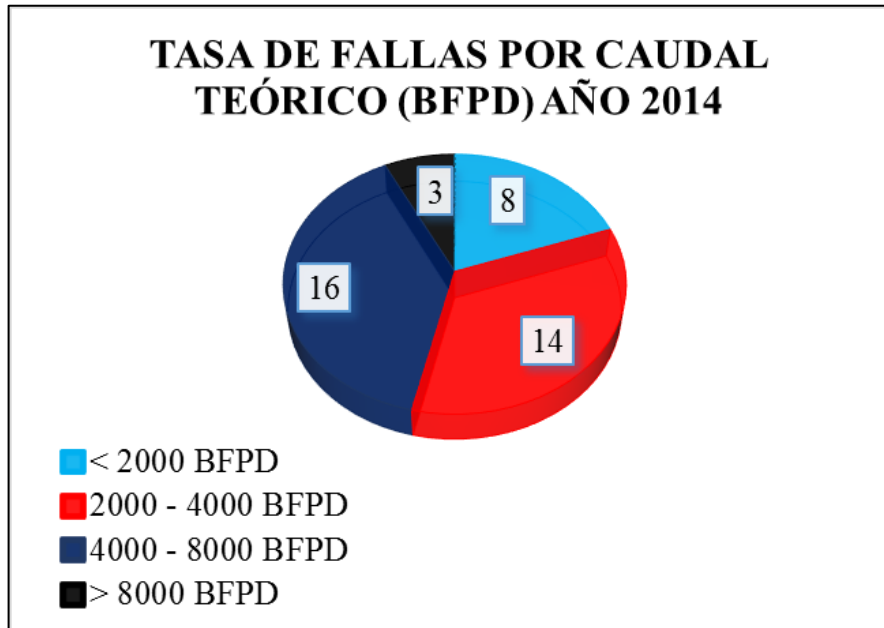
de la varilla de bombeo, el otro 12,5% fueron fallas en pozos con sistemas BES, por daño en el cable MLE.

En pozos con caudales entre los 2000 y 4000 BFPD, el 64% ocurrió en pozos con sistema BCP, donde el 43% fueron fallas en el estator por desgarramiento de elastómero, el 14% por desconexión de varilla de bombeo, el 7% por tubería rota, el otro 36% fue en equipos de BES donde el 14% de las fallas fueron mecánicas por presencia de arena en el pozo, el 8% por falla eléctrica en el cable de potencia y 14% por fallas mixtas en el cable MLE.

En pozos con caudales entre los 4000 y 8000 BFPD, el 100% de las fallas fue en pozos con sistema BES, donde el 31% fueron fallas eléctricas en el motor, el 46% fallas mecánicas por ruptura de ejes en la bomba, intake y sellos, el 15% por fallas en el cable MLE y el 8% por fallas en equipos que aún no se han extraído, por lo tanto son fallas indeterminadas.

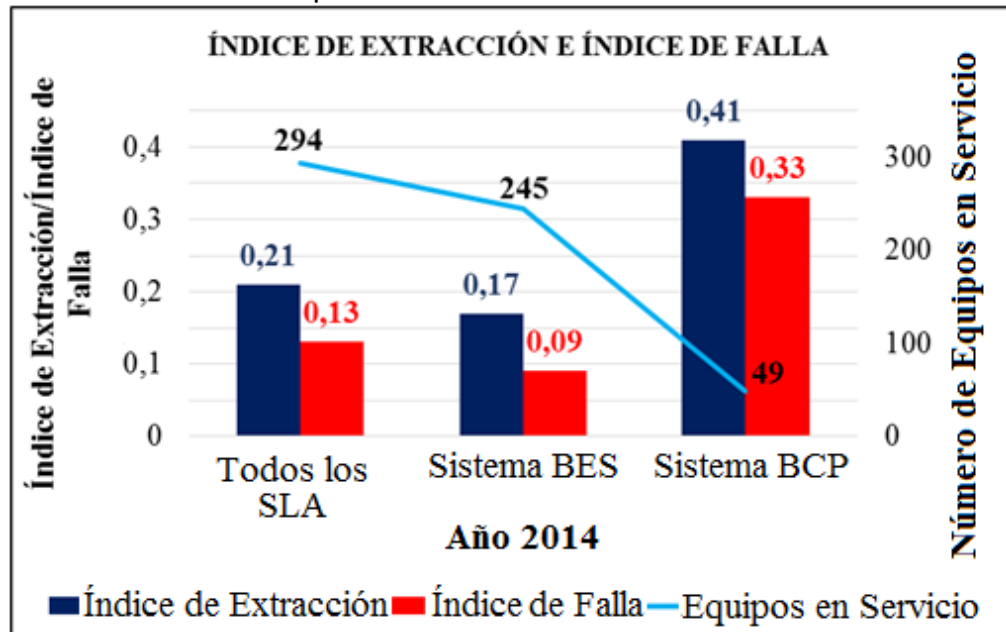
En pozos con caudales mayores a 8000 BFPD, el 100% de las fallas fue en pozos con sistema BES, el 66.66% por daños en el cable MLE y el 33.33% por ruptura de eje del Intake.

**Gráfico 78.** Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico en el año 2014.



### 7.1.6.5. IE e IF por SLA en el año 2014.

**Gráfico 79.** IE e IF en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2014.



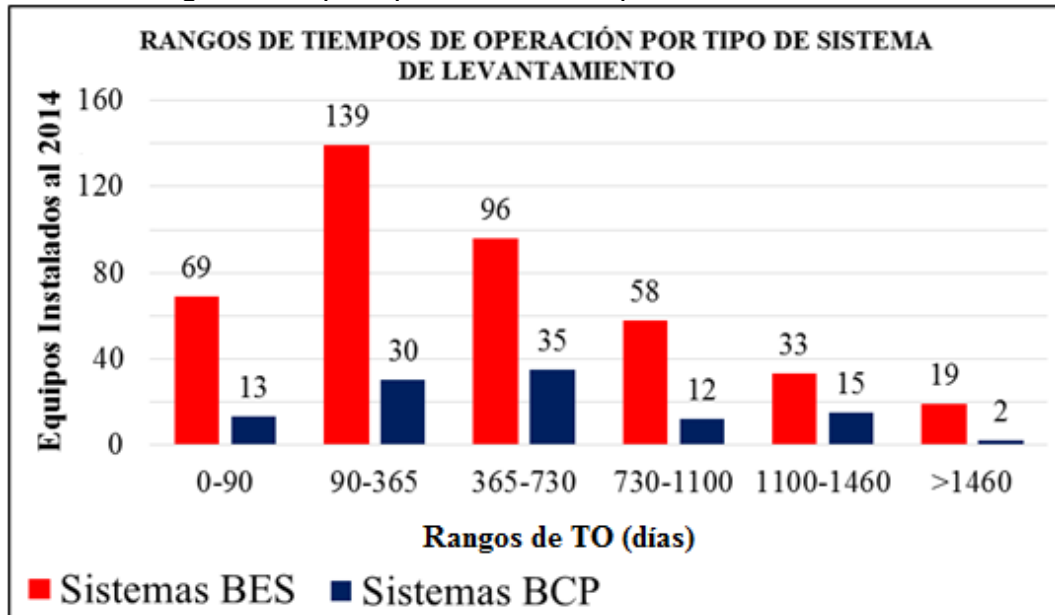
En el gráfico 78, se observa que el valor de IF e IE se mantuvo constante con respecto al año anterior, sin embargo, en el año 2014 el porcentaje de extracciones debido a fallas aumentó de 56,8% a 57,1%, así mismo el número de pozos en servicio también aumento lo que permitió una estabilización de los indicadores en todos los SLA, por esta razón es favorable estudiar cada SLA por separado. Los equipos del sistema BCP los cuales en el año anterior reportaron 5 fallas, en el año 2014 reportaron 15, lo que concuerda con el gráfico donde notamos que el IF en este sistema fue el que tuvo un mayor incremento acercándose al IE, incremento que también se encuentra relacionado al número de equipos en funcionamiento el cual paso de 51 en el 2013 a 49 en el 2014.

En este año en una de las fallas reportadas, el equipo de fondo se encontraba sin extraer como lo muestra el gráfico de extracciones 2014.

En los sistemas BES el número de fallas casi que estuvo constante ya que paso de reportar 22 en el 2013 a 23 en el 2014, no obstante, el IF disminuyo notablemente relacionado a los equipos en funcionamiento que en el 2013 fue de 192 y en el 2014 esta cifra aumentó a 245.

### 7.1.6.6. Tasa de instalaciones acumuladas por SLA agrupadas en rangos de TO, año 2014

**Gráfico 80.** Rango de TO por tipo de SLA Campo Zeta año 2014.



Terminado el año 2014 se habían realizado un total de 491 equipos en fondo, de los cuales 107 (21,8%) corresponden a sistemas BCP y 384 (78,2%) a sistemas BES. En este año el 16,7% (82) de los equipos instalados aun no sobrepasaba el periodo prematuro (0-90 días), entre 90-365 días se encuentra el 34,4% (169) de los SLA, el 26,7% (131) de los sistemas se encuentra entre uno y dos años, de dos a tres años el 14,25% (70) de los sistemas, el 9,7% (48) ya tenían TO entre los tres y cuatro años; y solo el 4% (21) sobrepasaba tiempos mayores a los cuatro años de funcionamiento (gráfico 79).

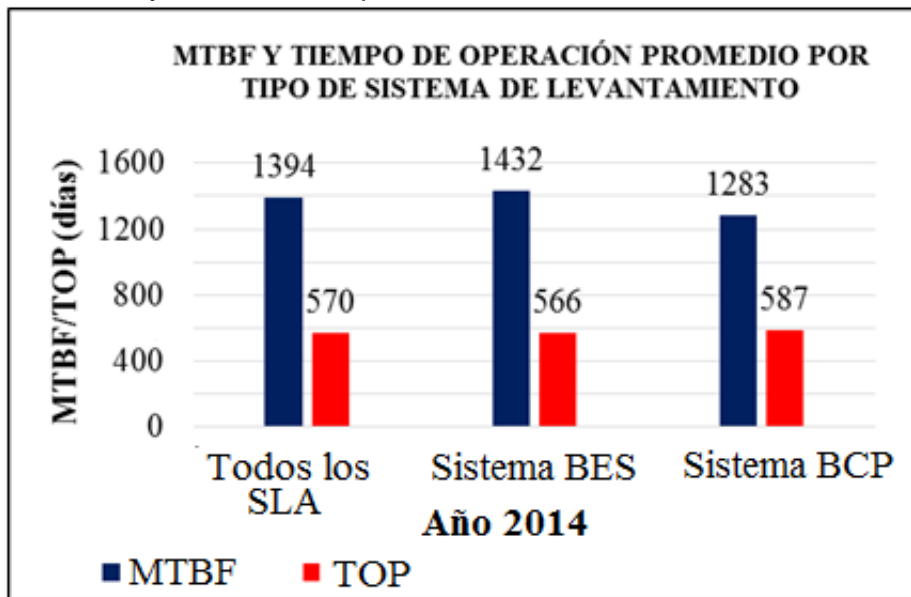
La tendencia de esta grafica nos confirma que el sistema de levantamiento de preferencia en este campo es el de bombeo electrosomergible.

**7.1.6.7. MTBF y TOP acumulado al año 2014 por SLA.** En la gráfica observamos que tanto el MTBF como el TOP acumulados tuvieron nuevamente un incremento favorable para ambos sistemas de levantamiento, el TOP aumentó casi que en igual proporción en los equipos BES que en los del sistema BCP (gráfico 80).

El bajo aumento de estos indicadores en equipos BCP tiene relación generalmente a la cantidad de fallas que fue 3 veces mayor que las reportadas en el 2013.

Los equipos del sistema BES aunque disminuyó un poco el número de fallas con respecto al año anterior, tuvieron un aumento significativo de equipos en funcionamiento, lo que minimizó el impacto sobre el MTBF, no obstante debido a estos nuevos TO hizo que el aumento en el TOP fuera bajo.

**Gráfico 81.** MTBF y TOP en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2014.



**7.1.6.8. Tasa y tipos de Falla por proveedor en el Año 2014.** De las 22 fallas reportadas en los pozos con SLA tipo BES, el 54,5% (12 fallas) ocurrieron en equipos de la compañía Generic, el 41% (9) en equipos de la compañía Sluber y solo el 4,5 % (1) en equipo de la compañía Bortx (gráfico 81).

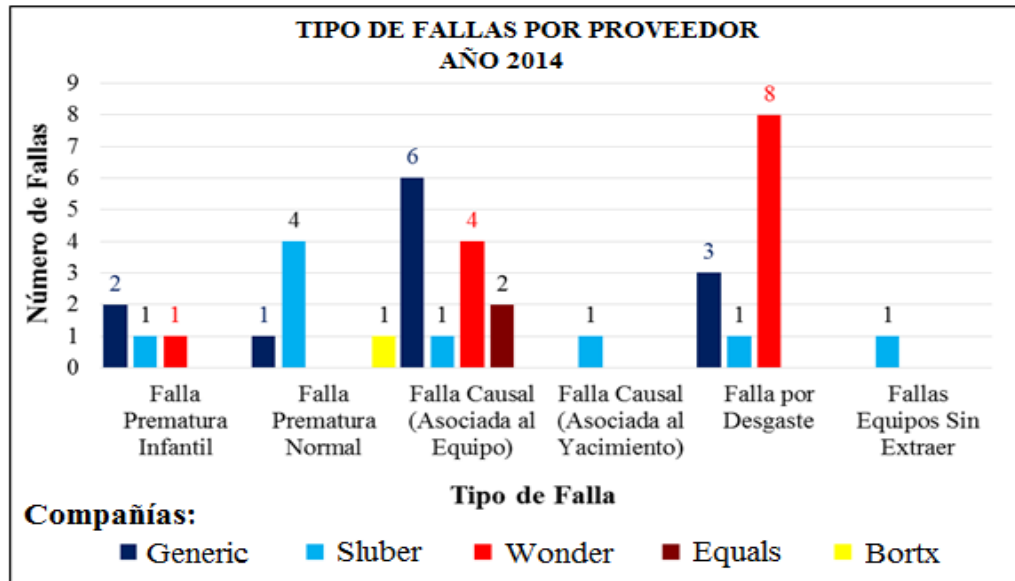
De las 16 fallas reportadas en los pozos con BCP, el 87,5% (14 fallas) se presentaron en equipos de la compañía Wonder y solo el 12,5% en la compañía Equals, esto era de esperarse debido a que los equipos de Wonder llevan mucho más tiempo de operar en este campo.

**7.1.6.9. Principal componente afectado en las Fallas por tipo de SLA en el Año 2014.** De la compañía Generic 2 fallas fueron prematuras infantiles, una sucedió a los 24 días de operación como componente afectado fue la bomba por ruptura en

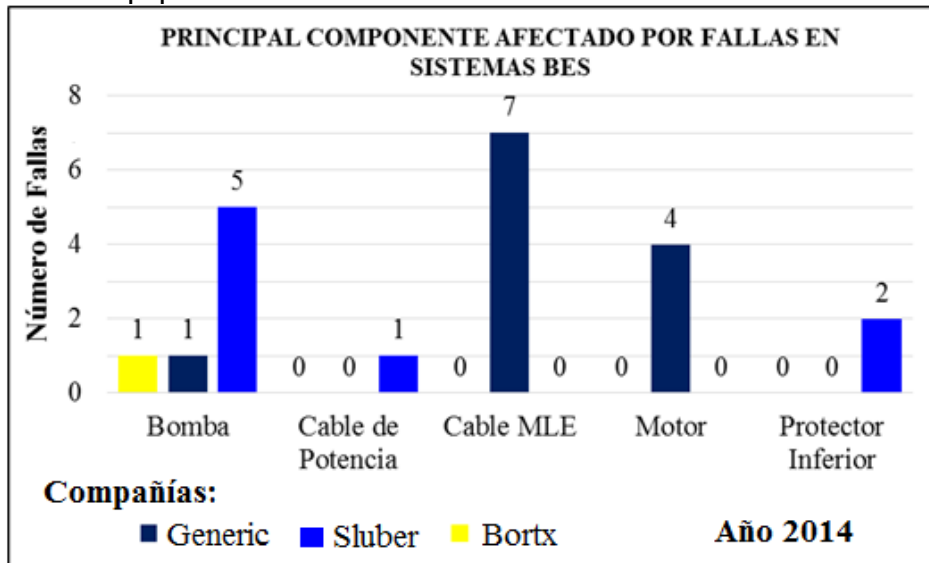


su eje y la segunda fue el mismo día de la instalación afectando el cable MLE por golpes en la bajada de la tubería por la curvatura del pozo. Otra de las fallas reportadas fue de tipo prematuro normal, ocurrida a los 36 días de operación viéndose afectado el cable MLE por abolladura (gráfico 82).

**Gráfico 82.** Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo en el año 2014.



**Gráfico 83.** Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2014.



También se presentaron 6 fallas causales asociadas directamente al equipo, donde 3 afectaron al cable MLE y las otras 3 fueron en el motor por fase a tierra. Por último en equipos de esta misma compañía se presentaron 3 fallas por desgaste operativo, 2 de estas ocurrieron a los 1152 y 1203 días afectando el cable MLE y otra a los 1275 días por motor aterrizado (gráfico 82).

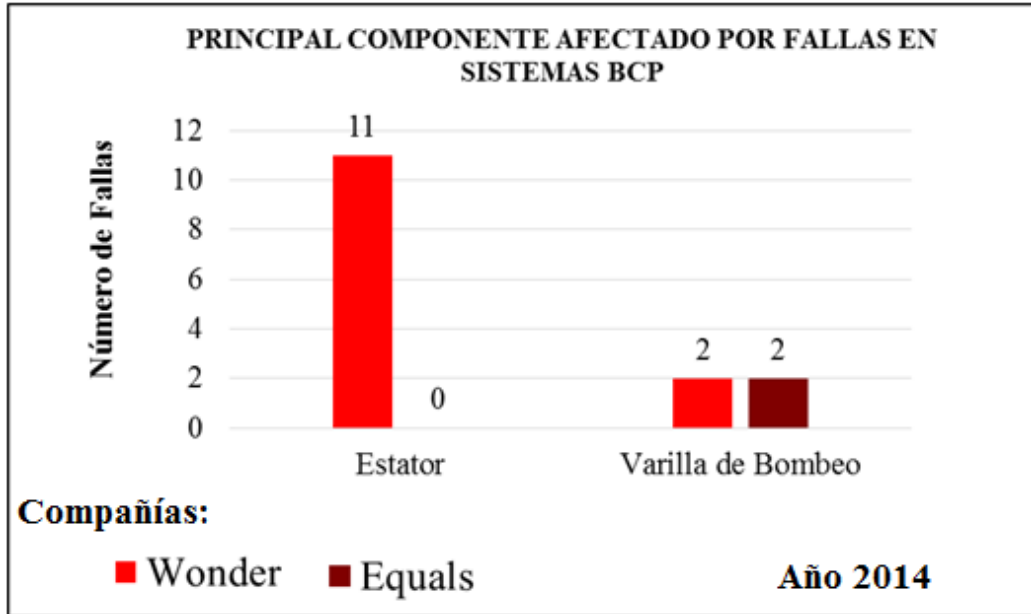
De las 9 fallas presentadas en equipos de la compañía Sluber, una fue de tipo prematura infantil a los 27 días de operación, en este evento la bomba presentaba restricción que fue asociada a la presencia de arena de la formación. Otras 4 fallas fueron de tipo prematuras normales, una de ellas fue por problemas eléctricos afectando el cable de fondo, otra de tipo mecánico por ruptura en los bujes del Intake, y otras dos presentadas en un mismo pozo ZT-046, fueron por problemas mecánicos; ocurridas una en el mes de junio por ruptura en el eje de la bomba y la segunda fue en el mes de septiembre por ruptura en el eje del protector, los equipos instalados eran nuevos. En equipos de esta misma compañía se presentó también una falla causal asociada al equipo con 161 días de operación por ruptura en el eje del sello inferior, otra falla fue causal asociada al yacimiento, ya que la bomba presentó restricción y al extraerla la encontraron con presencia de arena de la formación, otra de las fallas fue por desgaste operativo ocurrida a los 1190 días de operación por ruptura en el eje del Intake, por último de la compañía Sluber hubo una falla en este año que a la fecha de este estudio, el equipo que falló aún se encontraba en fondo sin extraer.

Otra falla ocurrida en pozos con sistemas BES fue en un equipo de la compañía Bortx, esta falla fue de tipo prematura normal ocurrida a los 68 días de funcionamiento, y el componente afectado fue el Intake por ruptura de eje (gráfico 82).

El 29% de las fallas presentadas en los equipos de la compañía Wonder, fueron causales asociadas al equipo 3 afectaron el estator por desgarre del elastómero y solo 1 fue por desconexión de la varilla de bombeo. El 57% fueron fallas por desgaste operativo en pozos con TO mayor a los 1100 días, en 7 de estas fallas se encontró el elastómero desgarrado y solo una fue por desconexión de varilla de bombeo. Solo el 7% fue una falla prematura infantil (18 días de operación) por desgarre de elastómero. Y una última falla presentada en un pozo con equipo de esta compañía fue por tubería rota (gráfico 83).

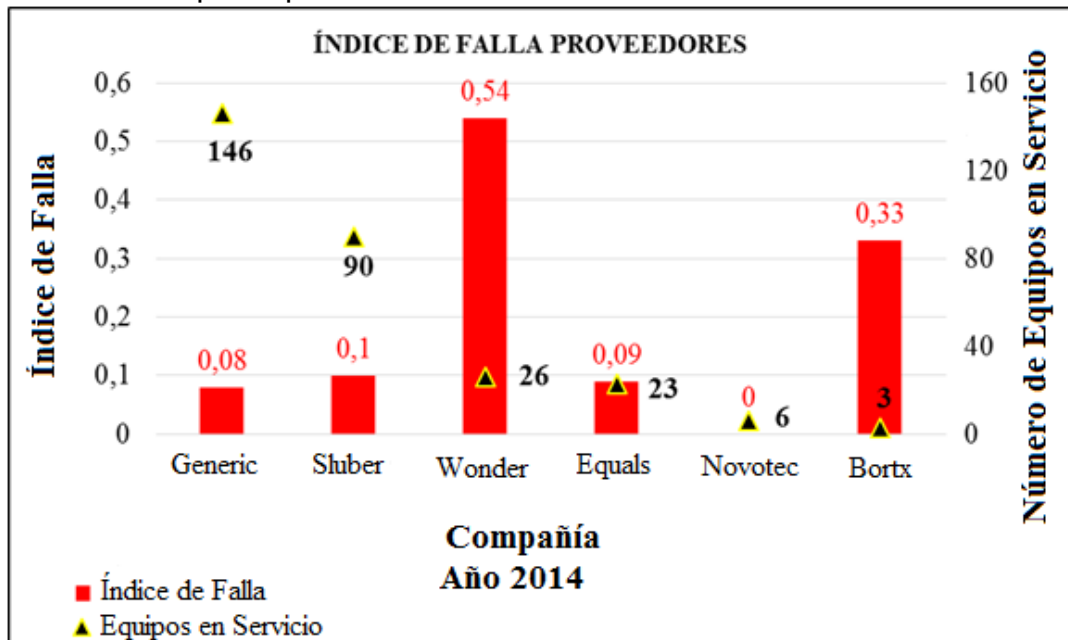
En la compañía Equals se presentaron 2 fallas causales por desconexión en la varilla de bombeo (gráfico 83).

**Gráfico 84.** Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BCP año 2014.



**7.1.6.10. Índice de Falla por proveedor en el año 2014.**

**Gráfico 85.** Índice de falla y número de equipos operando en Campo Zeta de acuerdo a la compañía proveedora en el año 2014.



En el gráfico 84, se representa la variación del IF para el año 2014, en el cual: el IF para la compañía Generic disminuyó de 0,11 a 0,08 con respecto al año anterior, la tasa de fallas también bajó en un 20% (de 15 reportadas en el 2013 a 12 en el 2014), los equipos en funcionamiento aumentaron de 138 a 146 lo que favoreció que este indicador tuviera menor valor.

En la compañía Sluber en este año el IF decreció de 0,17 a 0,1, aunque reportaron igual número de fallas que en el año anterior, los equipos en funcionamiento aumentaron en un 40%.

El IF para la compañía Wonder en 2014, tuvo un aumento de 0,19 a 0,54 lo que es relativamente alto, las fallas en los equipos de esta compañía aumentaron de 4 a 13 y los equipos en funcionamiento a su vez disminuyeron de 31 a 26.

La compañía Equals aumentó su IF de 0,05 a 0,09, las fallas reportadas fueron 2 mientras que el año anterior fue de 1 y los equipos en funcionamiento también aumentaron levemente de 20 en el 2013 a 23 en el 2014.

La compañía Novotec en este año no reportó falla alguna por ello su indicador fue de cero, cabe resaltar que en el año 2014 se empezaron a correr equipos de esta empresa por ende su número de equipos en funcionamiento hasta el 31 de diciembre de 2014 fue solo de 6.

La compañía Bortx al igual que Novotec inició sus instalaciones en el 2014, de sus tres equipos instalados, uno de ellos presentó una falla.

**7.1.6.11. Tasa de instalaciones acumuladas por proveedor de acuerdo al rango de TO alcanzados al año 2014.** En el año 2014 representado en el gráfico 85, el 12% de los equipos de la compañía Generic aun no sobrepasaban el periodo prematuro (0-90 días), el 29% se encontraban operando en el rango entre 90 y 365 días, el 26% entre 365 y 730 días, el 17% de los equipos se encontraban entre los 730 - 1100 días y sólo el 16% estaban operando en tiempos de desgaste útil superando los 1100 días.

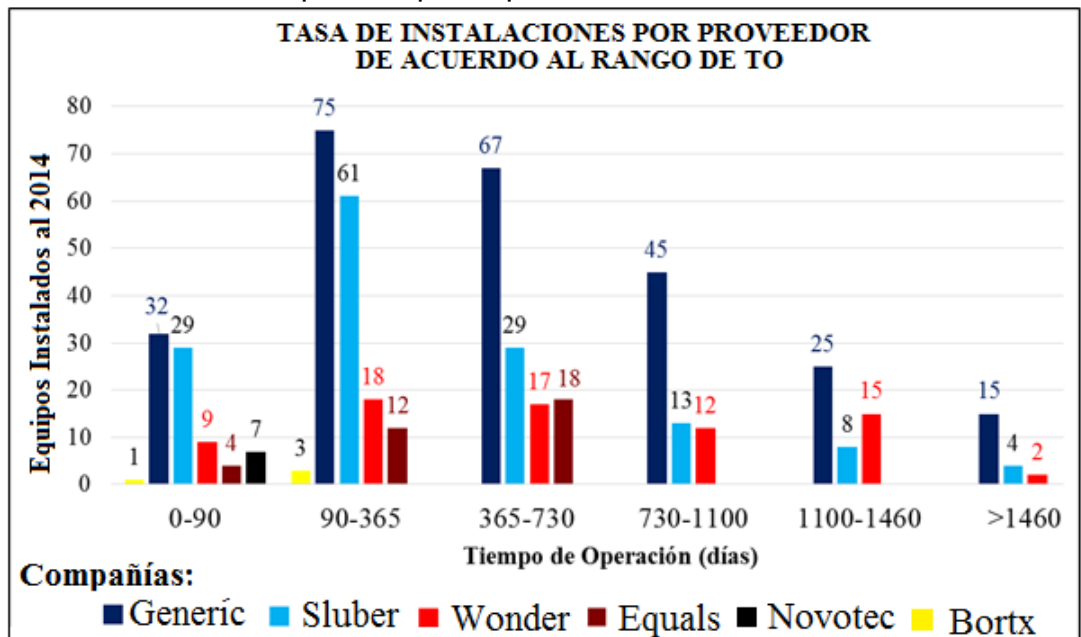
En los equipos de la compañía Sluber el 62% no superaban el año de funcionamiento, un 20% se encontraban entre los 365 y 730 días de funcionamiento, solo un 9% de los equipos tenía TO entre 730 – 1100 días y solo el 9% operaban en el periodo de desgaste con tiempos mayores a los 1100 días.

El 12% de los equipos instalados en fondo por la compañía Wonder al finalizar el año 2014 no alcanzaban mas de 90 días de operación, el 25% operaron con tiempos entre 90 y 365 días, el 23% tenían entre uno y dos años de funcionamiento, el 16% operaban entre los 730 y 1100 días, el 21% de estos equipos tenían TO mayores a los 1100 días pero menores a los 1460 y solo el 3% operaron tiempos mayores a los cinco años.

En la compañía Equals, el 12% de los equipos instalados tenían tiempos de operación menores a los 90 días, el 35% aunque superaban el límite de los 90 días no alcanzaban el año de funcionamiento y el 53% de los equipos operaban tiempos entre uno y dos años. Cabe resaltar que esta compañía inicio instalaciones de sus equipos desde el año 2013.

La compañía Bortx inicio con 4 instalaciones en este mismo año, donde solo el 25% no superaba los 90 días de operación, mientras que el 75% se encontraba funcionando entre 90 y 365 días.

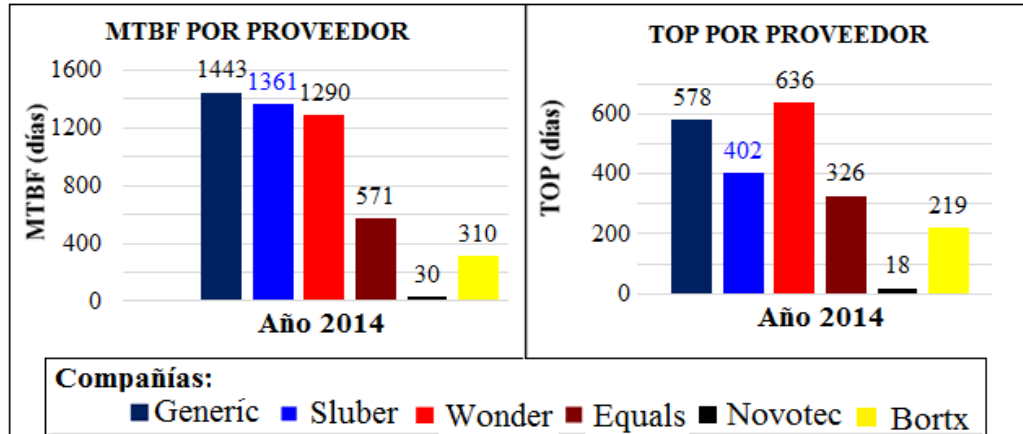
**Gráfico 86.** Número de equipos instalados en Campo Zeta de acuerdo a los TO alcanzados al año 2014 por compañía proveedora.



La compañía Novotec inició instalaciones de equipos en este campo a finales del año 2014, por lo tanto el 100% de estos equipos al finalizar el año aun no sobrepasaban el límite de los 90 días.

### 7.1.6.12. MTBF y TOP al año 2014 por proveedor.

**Gráfico 87.** MTBF y TOP en Campo Zeta por compañía proveedora, año 2014.



En el gráfico 86, la compañía Generic tuvo un mejor comportamiento que en el año anterior, el MTBF aumentó 299 días y el TOP 140 días, esto es coherente ya que el IF de esta compañía también disminuyó.

En la compañía Sluber, el valor de MTBF tuvo un alto incremento de 285 días, este fue mayor que en el año 2013, mientras que el aumento del TOP fue menor con respecto al año anterior, pues sólo aumentó en 29 días. Estos valores son aceptables, ya que el índice de falla en este año fue mucho menor que en el año anterior lo que favorece el aumento de MTBF, por otro lado el 40% de los equipos son nuevos lo que implica bajos incrementos en los tiempos de operación promedio.

En los equipos de la compañía Wonder, el MTBF aumento 113 días, este valor fue mayor que el del año anterior aun cuando el IF fue casi cinco veces mayor, sin embargo, la mayoría de fallas presentadas fueron por desgaste operativo en equipos con altos TO. El TOP solo aumento 35 días, valor mucho menor que los 124 días que aumento en el 2013, pues en este año se realizaron un mayor número de nuevas instalaciones.

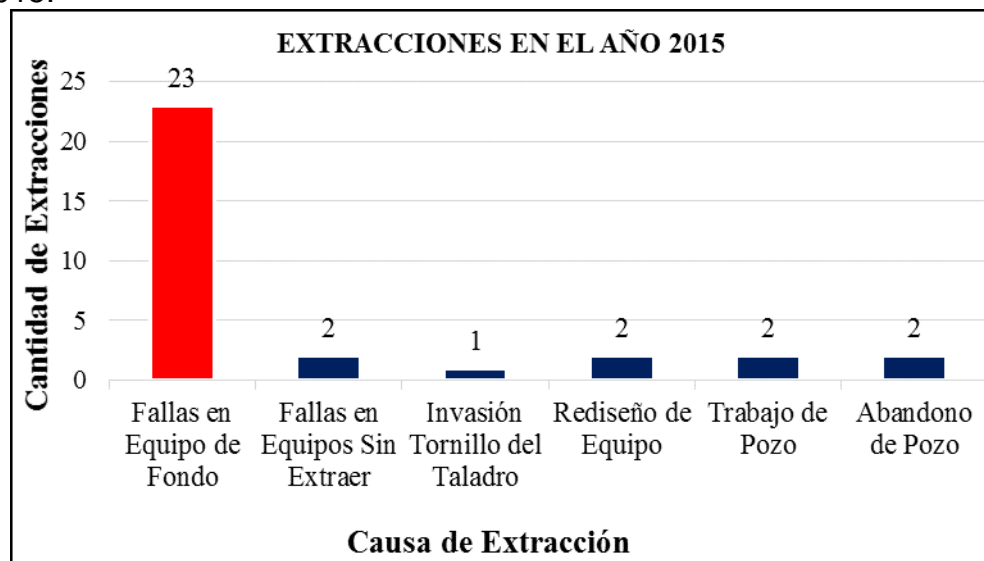
La compañía Equals tuvo un incremento muy alto en el MTBF y su TOP es favorable teniendo en cuenta que las instalaciones de esta compañía empezaron el año anterior.

Las instalaciones de las compañías Novotec y Bortx son de este mismo año sin embargo Bortx tiene mejores índices hasta el momento puesto que las realizó a inicios de año mientras que Novotec a finales.

### 7.1.7. Campo Zeta Año 2015

#### 7.1.7.1. Tasa y causa de las Extracciones realizadas en el año 2015.

**Gráfico 88.** Causa principal de las Extracciones en Campo Zeta realizadas en el año 2015.

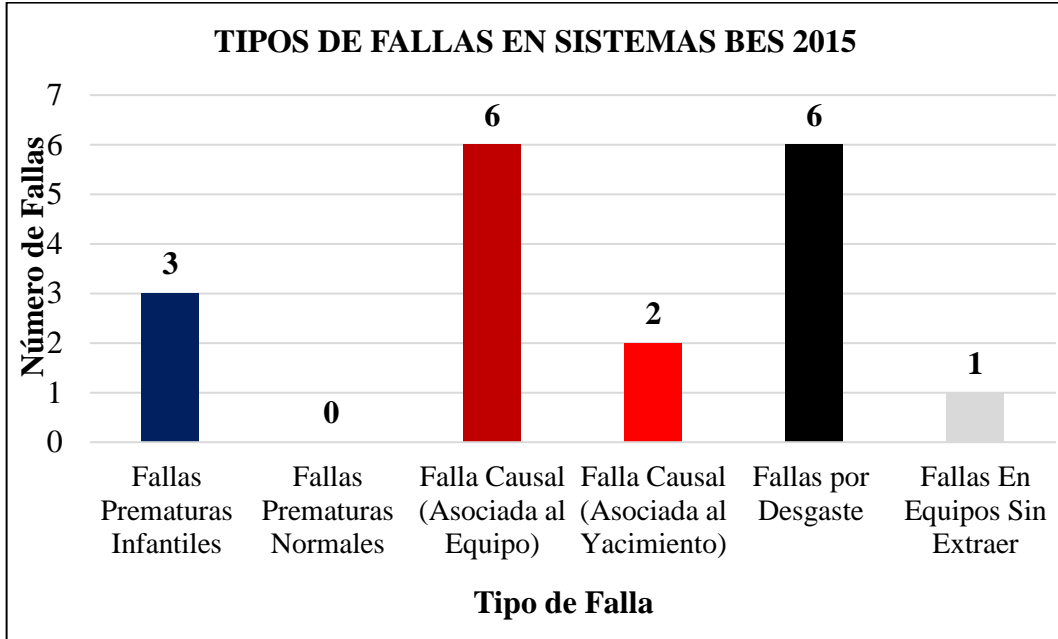


En el año 2015 se realizaron 2 extracciones por rediseño de equipo, 2 intervenciones por trabajos en el pozo, 1 extracción por la caída accidental de un tornillo perteneciente al taladro el cual perforo la coraza del cable MLE, 2 extracciones por abandono de pozo y 23 por fallas en el equipo de fondo para un porcentaje de falla de 83,33% respecto al número de extracciones. En este año también se reportaron 2 fallas sin embargo a la fecha de este estudio no se le habían realizado la extracción de los equipos de fondo (gráfico 87).

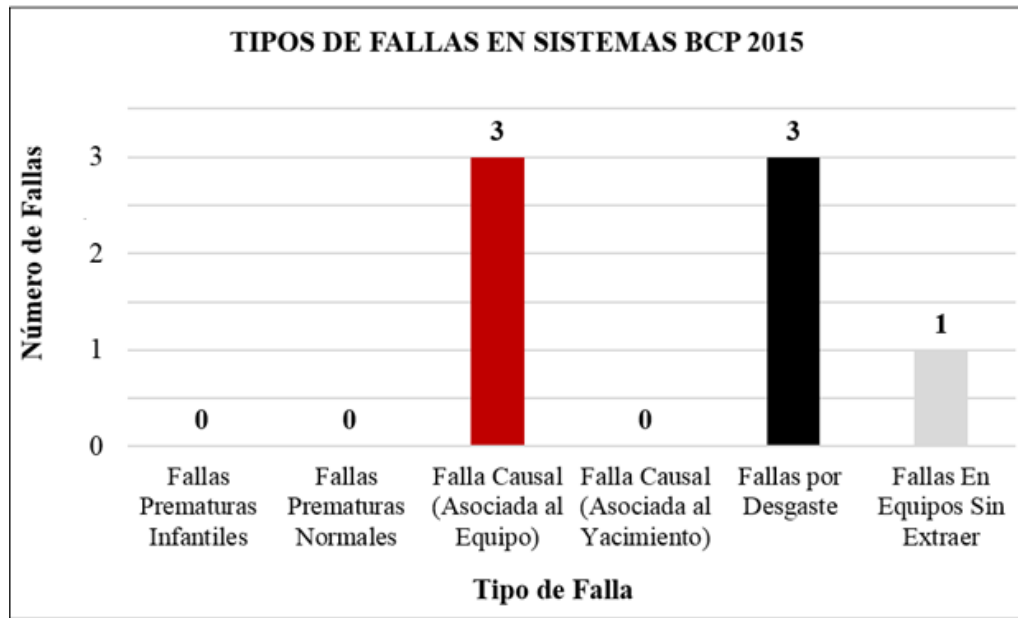
**7.1.7.2. Tasa y tipos de Fallas por SLA en el año 2015.** De las 25 fallas reportadas, el 72 % (18) ocurrieron en pozos con sistemas de levantamiento BES (gráfico 88). Distribuidas en tipos de falla así: 3 fallas prematuras infantiles, 6 fallas causales asociadas al equipo, 2 fallas causales asociadas al yacimiento, 6 fallas por

desgaste (en equipos con tiempos de operación mayor a los 1100 días) y 1 falla en un equipo que aún se encuentra en fondo del pozo.

**Gráfico 89.** Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2015.



**Gráfico 90.** Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BCP año 2015.

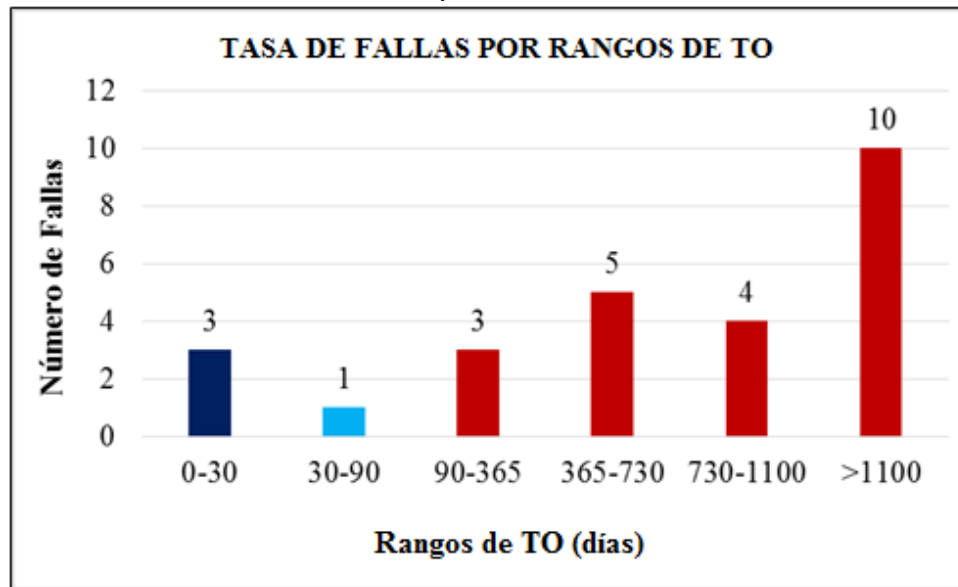




Las 7 fallas restantes 28% del total de las fallas corresponden a pozos con equipos de levantamiento BCP (gráfico 89). El 42,85% (3) fallas por desgaste operativo, el 42,85% (3) fallas causales asociadas al equipo y el 14,3% (1) falla en un equipo que aún se encuentra en fondo del pozo.

### 7.1.7.3. Tasa de Fallas totales en el año 2015 por rangos de TO

**Gráfico 91.** Número de fallas en Campo Zeta de acuerdo a los TO en el año 2015.



En el año 2015 el gráfico 90, muestra que el periodo de fallas prematuras (0-90 días) represento el 15,4% (4) del total de fallas, en el tiempo de operación de 90 -365 días ocurrieron el 11,5% de las fallas, en el rango de 365-730 días el porcentaje de fallas fue de 19,23%, para el TO de 730-1100 días 11,5% de las fallas totales y el periodo crítico de fallas en este año al igual que en el 2014 fue en equipos con tiempos de operación mayor a los 1100 días fue de 38,46%.

**7.1.7.4. Tasa de Fallas totales por Caudal teórico en el año 2015.** El 23% de las fallas ocurridas en el año 2015 se dieron en pozos con caudales menores a los 2000 BFPD, el 12% en pozos con caudales entre los 2000 y 4000 BFPD, y el 65% con caudales entre los 4000 y 8000 BFPD, en este año no se reportaron fallas en los pozos con caudales mayores a los 8000 BFPD (gráfico 91).

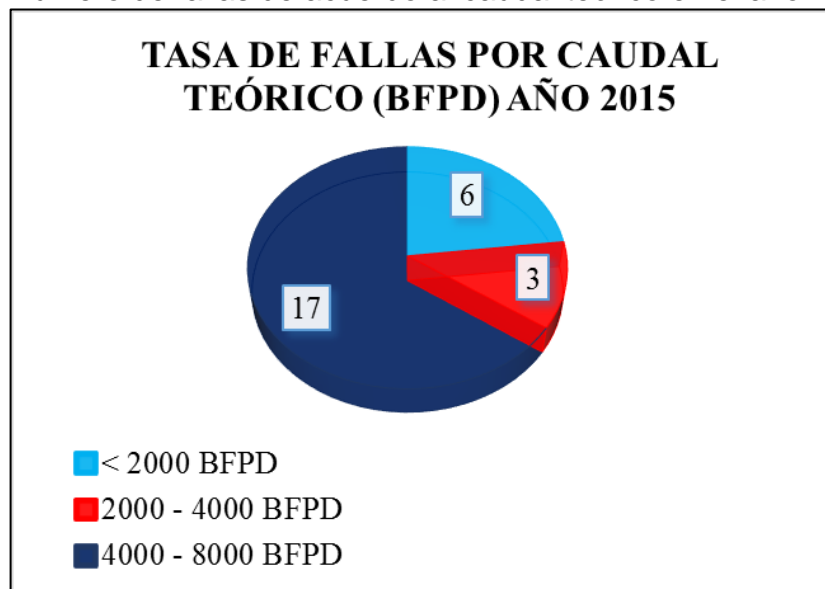
En los pozos de menor caudal (< 2000 BFPD), el 100% de las fallas fueron en pozos con sistema BCP, donde el 83% fueron por desgarramiento del elastómero y el 17% fue falla en equipo que aún se encuentra sin extraer, por lo tanto, esta falla esta sin determinar.

En pozos con caudales entre los 2000 y 4000 BFPD, el 66,66% fue en pozos con sistemas BES, una falla fue eléctrica por motor aterrizado y la otra fue de tipo mecánico por ruptura del eje de la bomba. El otro 33,33% fue en un pozo con sistema BCP por elastómero desgarrado.

En pozos con caudales entre los 4000 y 8000 BFPD, el 100% de las fallas fue en pozos con sistema BES, donde el 18% fueron por arenamiento y corrosión afectando la bomba y el cable de potencia principalmente, el 24 % por daños en el cable MLE, el 35,3% por fallas eléctricas afectando generalmente al motor seguido del cable de potencia, el 12% a fallas mecánicas por daño en las etapas de la bomba y ruptura de eje del sello, el 6% fue falla en equipo aun sin extraer y el otro 6% fue por una falla ocasionada en el cable MLE por la caída accidental de un tornillo perteneciente al taladro.

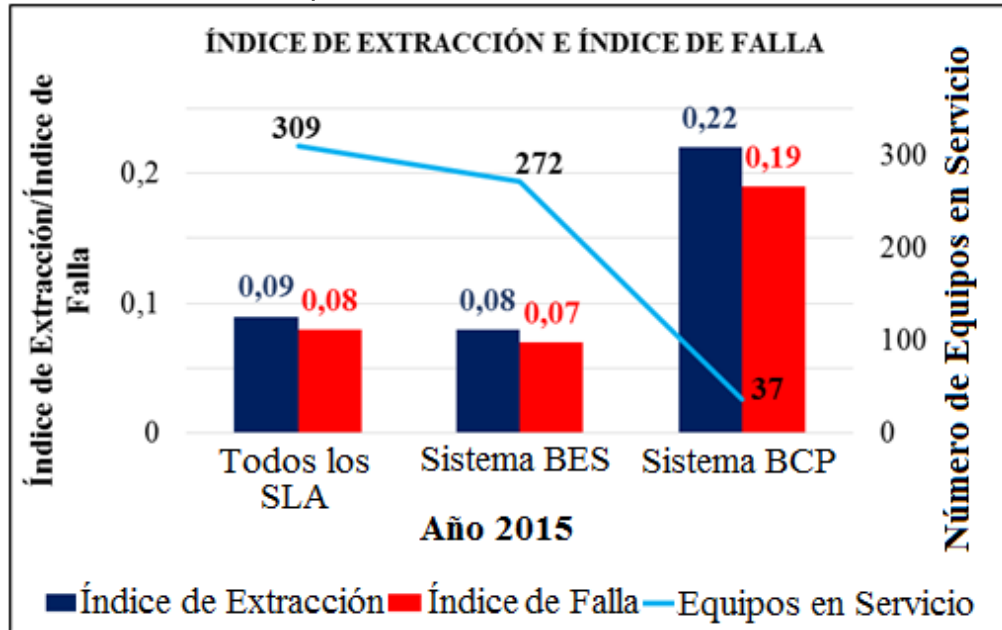
En pozos con caudales mayores a 8000 BFPD no se reportaron fallas.

**Gráfico 92.** Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico en el año 2015.



### 7.1.7.5. IE e IF por SLA en el año 2015

**Gráfico 93.** IE e IF en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2015.



En el gráfico 92, se observa que el valor de estos indicadores disminuyó con respecto al año anterior, el número de fallas reportadas en ambos sistemas disminuyeron, sin embargo en el año 2014 el porcentaje de extracciones debido a fallas aumentó de 57,1% a 83,3%, ya que en el 2015 los altos costos en intervenciones y los bajos precios del barril de petróleo en el mercado, conllevó a que las extracciones se limitaran más a los eventos de fallas que a otras causales en el pozo, e incluso en este año en 2 de las fallas presentadas los equipos aún se encontraban en fondo sin extraer.

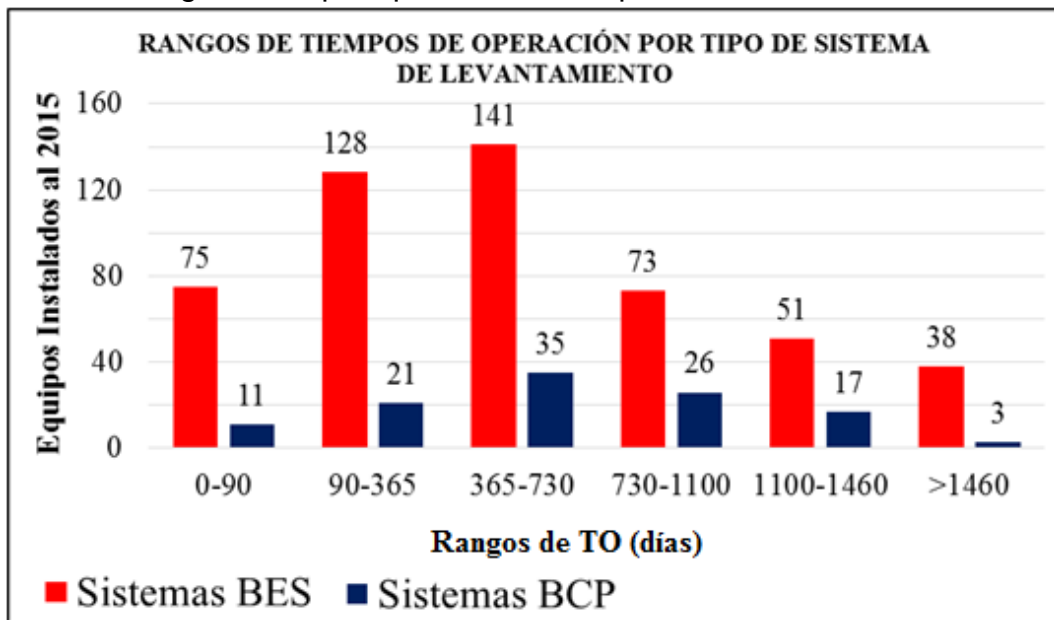
El número de equipos del sistema BCP siguieron disminuyendo de 49 a 37, mientras que los del sistema BES tuvieron mayor preferencia en el campo aumentando de 245 a 272.

**7.1.7.6. Tasa de instalaciones acumuladas por SLA agrupadas en rangos de TO, año 2015.** Al finalizar el año 2015 se habían realizado un total de 619 equipos en fondo, de los cuales solo 113 (18%) corresponden a sistemas BCP y 506 (82%) a sistemas BES.

El 13,9% (86) de los equipos instalados aun no sobrepasaba el periodo prematuro (0-90 días), entre 90-365 días se encuentra el 24% (149) de los sistemas de levantamiento, el 28,4% (176) de los sistemas se encuentra entre uno y dos años, de dos a tres años el 16% (99) de los sistemas, el 11% (68) ya tenían tiempos de operación entre los tres y cuatro años; y solo el 6,6% (41) sobrepasaba tiempos mayores a los cuatro años de funcionamiento (gráfico 93).

Las instalaciones realizadas confirman, que el sistema de levantamiento de preferencia en este campos sigue siendo el de bombeo electrosumergible.

**Gráfico 94.** Rango de TO por tipo de SLA Campo Zeta año 2015.



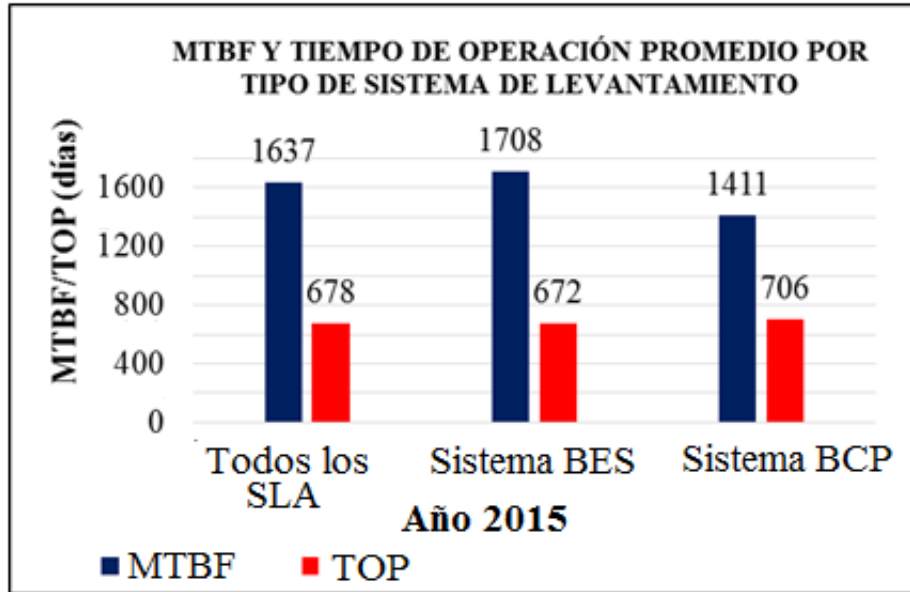
**7.1.7.7. MTBF y TOP acumulado al año 2015 por SLA.** En el gráfico 94 al igual que en los años anteriores observamos que tanto el MTBF como el TOP acumulados aumentaron para ambos sistemas de levantamiento, el TOP nuevamente tuvo casi que la misma tasa de aumento en los equipos BES que en los del sistema BCP.

El comportamiento del MTBF en los equipos BES ha tenido una buena evolución en este campo ya que, si comparamos el histórico, hasta el año 2013 este valor fue mayor en los equipos del sistema BCP.

Los equipos del sistema BES disminuyeron de 21 a 18 el número de fallas con respecto al año anterior y tuvieron un incremento en cuanto al número de equipos

en servicio, lo que minimizó el impacto sobre el MTBF, no obstante, debido a estos nuevos tiempos de operación, hizo que el aumento en el TOP fuera poco.

**Gráfico 95.** MTBF y TOP en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2015.



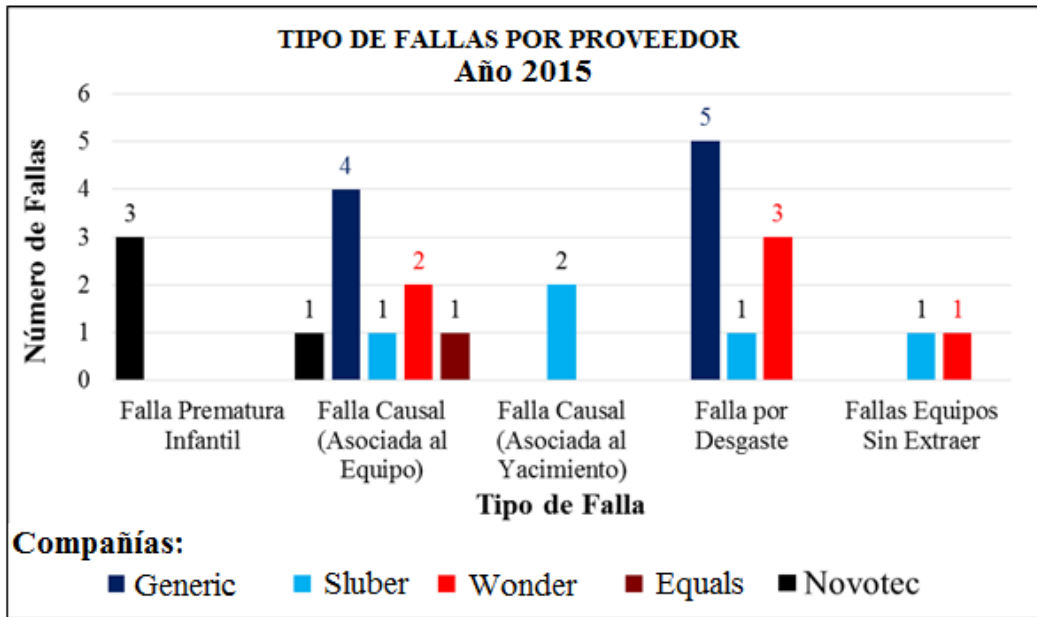
**7.1.7.8. Tasa y tipos de Falla por proveedor en el Año 2015.** De las 19 fallas reportadas en los pozos con sistema de levantamiento por bombeo electrosumergible, el 52,6% (10 fallas) ocurrieron en equipos de la compañía Generic, el 26,3% (5) en equipos de la compañía Sluber y el 21 % (4) en equipo de la compañía Novotec (gráfico 95).

De las 7 fallas ocurridas en pozos con sistema de bombeo por cavidades progresivas, el 85,7% ocurrieron en equipos de la compañía Wonder y solo el 14,3% en equipos de la compañía Equals.

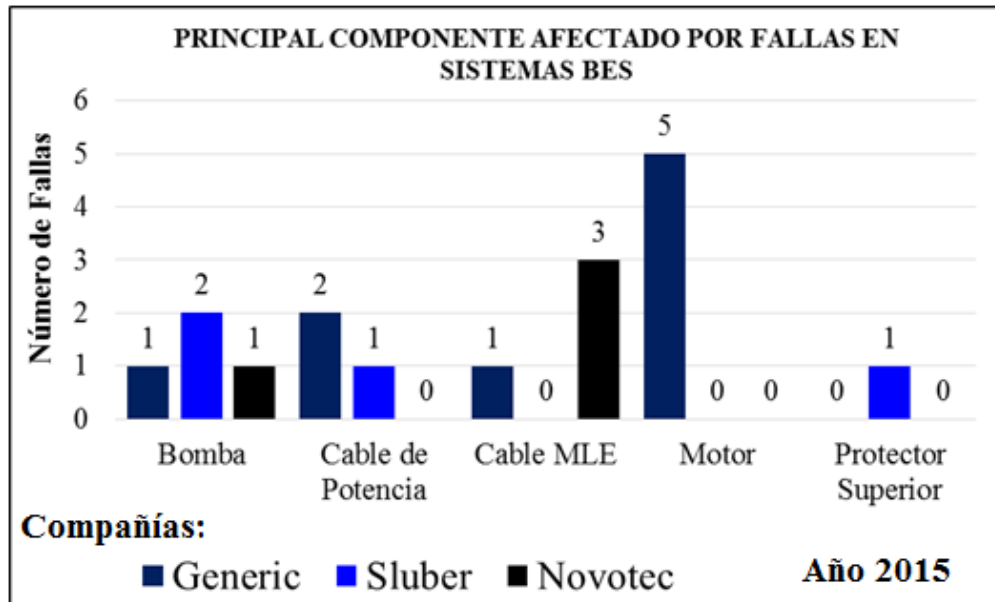
**7.1.7.9. Principal componente afectado en las Fallas por tipo de SLA en el Año 2015.** En la compañía Generic en este año no se reportaron fallas en el periodo de tiempo prematuro (0-90 días), presentó 4 fallas causales asociadas al equipo 3 por problemas electricos; una afectó el cable de potencia, otra afecto el cable MLE y la ultima fue en el motor por fase a tierra, las otra falla causal fue por problemas mecanicos afectando las etapas de la bomba. Otra falla en un equipo de esta misma compañía se dio por un mal manejo del personal encargado ya que por accidente, uno de los tornillos pertenecientes al taladro cayó al pozo incrustandose en la coraza del cable MLE causando daños que terminaron en la extraccion del equipo. Por

ultimo se presentaron en este mismo año cinco fallas por desgaste operativo por problemas electricos, donde 4 fueron por motor aterrizado en una de sus fases y solo 1 fue por daños en el cable de potencia (gráfico 96).

**Gráfico 96.** Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo en el año 2015.



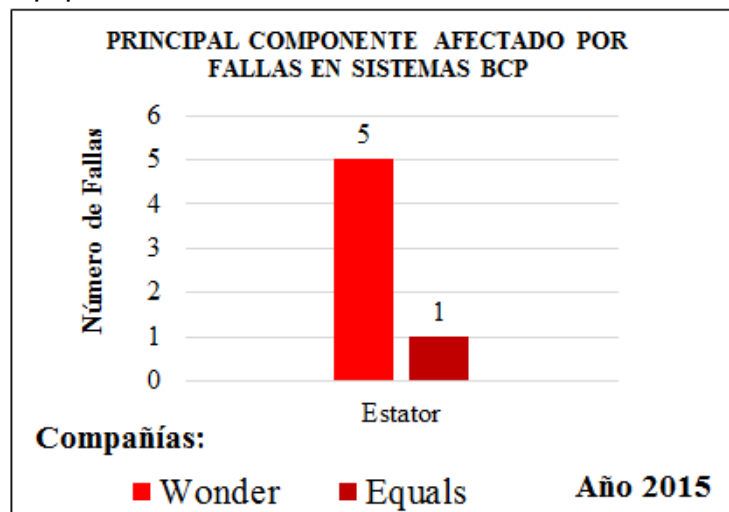
**Gráfico 97.** Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2015.



De las 5 fallas presentadas en equipos de la compañía Sluber, el 40% (2) fueron por problemas con fluidos del yacimiento, una afectó en un equipo la descarga de la bomba y la otra falla fue por daños en el cable de potencia debido a la corrosión, el 20% (1) fue falla causal asociada al equipo afectando la bomba por ruptura en su eje, el 20% (1) fue por desgaste operativo aunque en esta falla tuvo afección por arena del yacimiento causando daños en la entrada de la bomba, el otro 20% (1) fue una falla que aun esta sin determinar ya que el equipo a la fecha de este estudio se encontraba en fondo sin extraer.

Ya en este año se reportaron 4 fallas de la compañía Novotec, cabe resaltar que fue solo a partir del 2014 que en este campo se iniciaron las instalaciones de equipos de esta compañía, el 75% de estas fallas fueron durante la instalación de los equipos, por curvatura del pozo hubo arrastre del cable MLE en la bajada de tubería, 2 fueron en un mismo pozo (ZT-460). El otro 25% de fallas en equipos de esta compañía fue de tipo causal asociada al equipo a los 257 días de funcionamiento, esta falla fue por problemas mecánicos ocasionando ruptura en el eje de la bomba.

**Gráfico 98.** Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BCP año 2015.

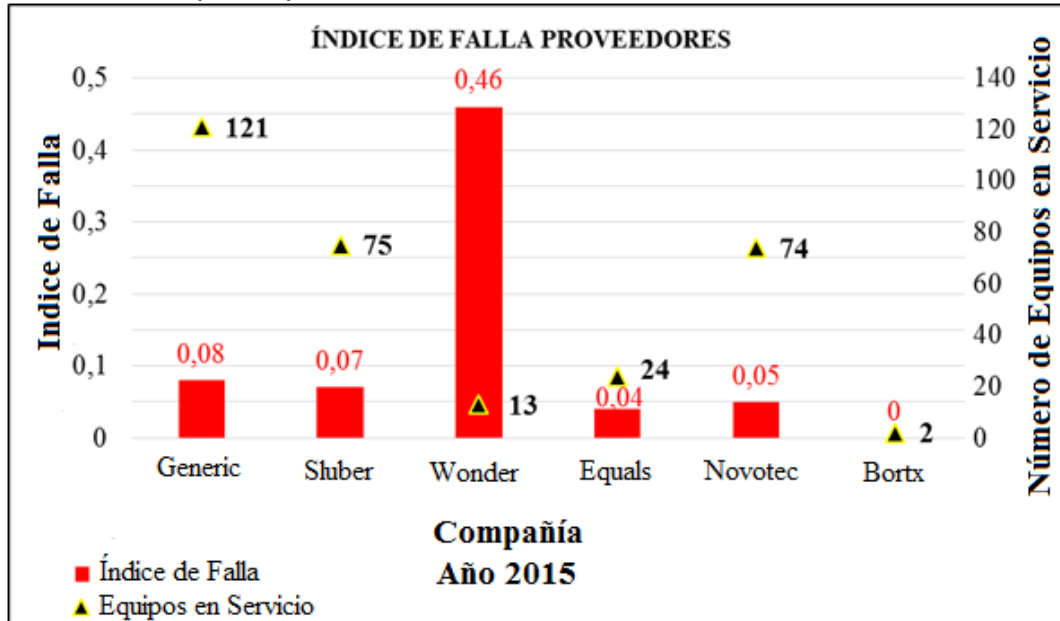


El 43% (3) de las fallas presentadas en equipos de la compañía Wonder fueron de tipo causal asociadas al equipo, el otro 43% (3) fueron por desgaste operativo en equipos con tiempos de operación por encima de los 1100 días, todas estas fallas tuvieron afectaciones sobre el estator por desgarrar de elastómero. Por ultimo solo el 14% (1) fue una falla indeterminada en equipo sin extraer (gráfico 97).

En equipos de la compañía Equals solo se reportó una falla la cual también afecto el estator por desgarre de elastómero.

#### 7.1.7.10. IF por proveedor en el año 2015.

**Gráfico 99.** Índice de falla y número de equipos operando en Campo Zeta de acuerdo a la compañía proveedora en el año 2015.



Al terminar el año 2015 (gráfico 98), el IF en los equipos de la compañía Generic no vario con respecto al año anterior, el número de fallas siguieron disminuyendo con respecto a años anteriores ya que se reportaron 9 fallas en el 2015 respecto a las 12 y 15 reportadas en los años 2014 y 2013 respectivamente, el número de equipos en funcionamiento de esta compañía también disminuyó de 146 a 121 con respecto al año anterior.

En el año 2015 el IF de la compañía Sluber disminuyó de 0,1 a 0,07, las fallas reportadas pasaron de 9 en el 2014 a sólo 5 en el 2015 y los equipos en funcionamiento también disminuyeron de 90 a 75 con respecto al año anterior.

En los equipos de la compañía Wonder, este indicador, aunque disminuyó de 0,54 a 0,46 sigue siendo alto, las fallas reportadas pasaron de 13 en el 2014 a 6 en el 2015 y sus equipos en funcionamiento disminuyeron a la mitad, de 26 pasaron a solo 13. Esto era de esperarse ya que la tendencia a través de los años en este



campo fue a implementar más el sistema de bombeo Electrosumergible que el BCP y las nuevas instalaciones realizadas desde el año 2013 por la compañía Equals.

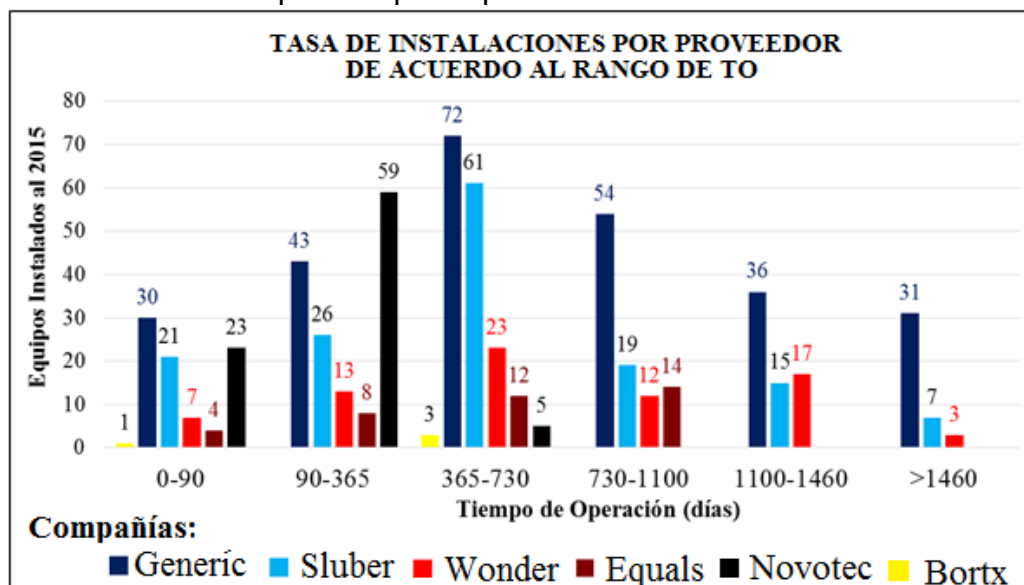
Este indicador para los equipos de la compañía Equals fue positivo, ya que disminuyó de 0,09 a 0,04 aun cuando sus equipos en funcionamiento solo aumentarían de 23 a 24 con respecto al año anterior, en el 2015 solo se reportó una falla.

La compañía Novotec en este año reportó cuatro fallas (tres en el momento de la instalación y una en un rango de tiempo menor a los 90 días de operación), así que este indicador fue de 0,05, aun así, fue un indicador bajo con respecto al aumento en los equipos en funcionamiento que en el año anterior fue de 6 y al 2015 ya esta cifra era de 74.

De la compañía Bortx no se reportan nuevas instalaciones realizadas en campo Zeta, por lo cual al año 2015 se reportaban en la base de datos las mismas tres instalaciones del año anterior, donde uno de ellos falló en el 2014 y los otros dos aún están en funcionamiento.

**7.1.7.11. Tasa de instalaciones acumuladas por proveedor de acuerdo al rango de TO alcanzados al año 2015.**

**Gráfico 100.** Número de equipos instalados en Campo Zeta de acuerdo a los TO alcanzados al año 2015 por compañía proveedora.



Al finalizar el año 2015, el 11% de los equipos instalados por la compañía Generic operaron por debajo del umbral del periodo prematuro, el 16% sobrepasaba este límite, pero no alcanzaban el año de operación, la mayor cantidad de equipos (27%) operaron entre uno y dos años, el 20% entre los 730 y 1100 días, el 26% superaron los 1100 días de funcionamiento de los cuales el 12% funcionó con tiempos mayores a los 1460 días (5 años) (gráfico 99).

El 14% de los equipos instalados de la compañía Sluber operaron en el rango de 0 a 90 días, el 17% de 90 a 365, y al igual que en la compañía Generic, su mayor cantidad de equipos (41%) operaron entre uno y dos años, el 13% entre los 730 y 1100 días, el 15% operó con tiempos mayores a los 1100 días, donde solo el 5% superó los cinco años.

De los equipos de la compañía Wonder, el 9% operaron en el rango de periodo prematuro, el 17% en el rango de 90 a 365 días, al igual que Generic y Sluber esta compañía en el año 2014 también tuvo su mayoría de equipos (31%) operando entre uno y dos años, el 16% de los equipos instalados operaron entre 730 y 1100 días, el 27% operaron tiempos mayores a los 1100 días de los cuales solo el 4% operó más de cinco años.

De la compañía Equals, el 11% de las instalaciones realizadas al 2015 operaron entre los 0 y 90 días, el 21% entre los 90 y 365 días, el 32% de los equipos entre uno y dos años y el mayor porcentaje (37%) por encima de los tres años, estos valores son favorables teniendo en cuenta que las primeras instalaciones de esta compañía se realizaron en el 2013.

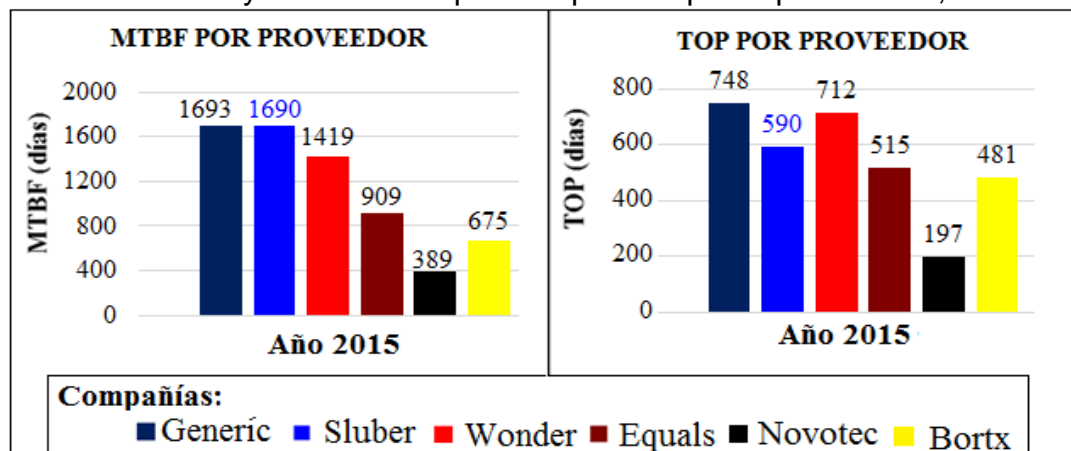
El 26% de las instalaciones de la compañía Novotec operaron entre los 0 y 90 días, el 68% entre 90 y 365 días y el 6% por encima de los dos años, para la compañía Bortx el 25% no superó los 90 días mientras que el otro 75% de los equipos superaba los dos años. Datos muy positivos ya que estas compañías iniciaron instalaciones en campo Zeta a partir del 2014.

**7.1.7.12. MTBF y TOP al año 2015 por proveedor.** En el 2015, la compañía Generic tuvo un buen comportamiento, el MTBF aumentó 250 días y el TOP 170 días, esto es coherente ya que el índice de fallas se mantuvo estable con respecto al año anterior, más del 50% de las fallas fueron por desgaste operativo con altos tiempos de operación y su número de instalaciones aumentó en solo 7 (gráfico 100).

En la compañía Sluber, el valor de MTBF tuvo un alto incremento de 329 días, este fue mayor que en el año 2014, el incremento del TOP fue también mucho mayor con respecto al año anterior (29 días), pues aumentó 188 días. Estos valores son aceptables, ya que el índice de falla en este año fue mucho menor que en el año anterior lo que favorece el valor de MTBF, por otro lado, esta compañía realizó pocas instalaciones (5) lo que favorece el aumento en los tiempos de operación promedio.

En los equipos de la compañía Wonder, el MTBF aumento 129 días, este valor fue mayor que el del año anterior, el índice de fallas fue menor y en su mayoría fueron por desgaste operativo en equipos con altos tiempos de operación. El TOP solo aumento 76 días que es un aumento bajo, aunque mayor a los 35 días que aumento en el 2014 (gráfico 100).

**Gráfico 101.** MTBF y TOP en Campo Zeta por compañía proveedora, año 2015.



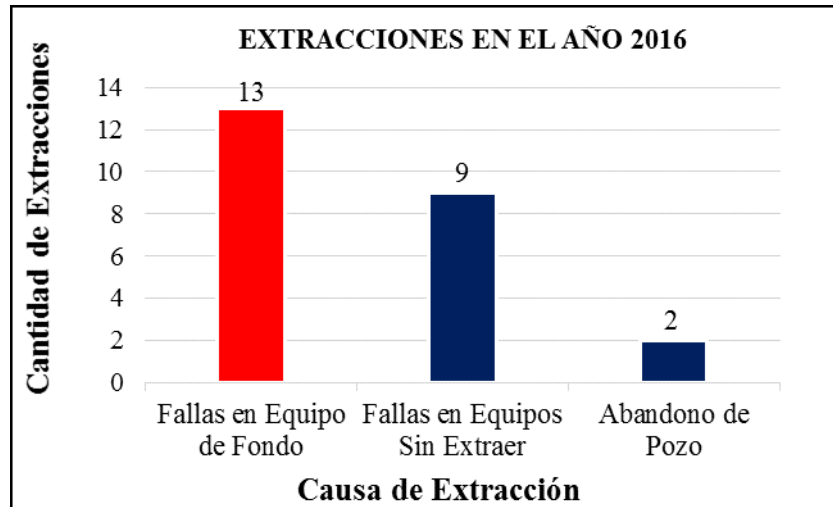
La compañía Equals al igual que el año anterior tuvo un incremento alto en el MTBF y su TOP es favorable, su IF disminuyó y se realizaron pocas instalaciones.

Las instalaciones de las compañías Novotec y Bortx siguen presentando incrementos muy positivos en MTBF y TOP, Novotec tuvo un menor incremento en el TOP debido a que en este año realizó un gran número de instalaciones mientras que Bortx no realizó ninguna.

## 7.1.8. Campo Zeta Año 2016

### 7.1.8.1. Tasa y causa de las Extracciones realizadas en el año 2016.

**Gráfico 102.** Causa principal de las Extracciones en Campo Zeta realizadas en el año 2016.



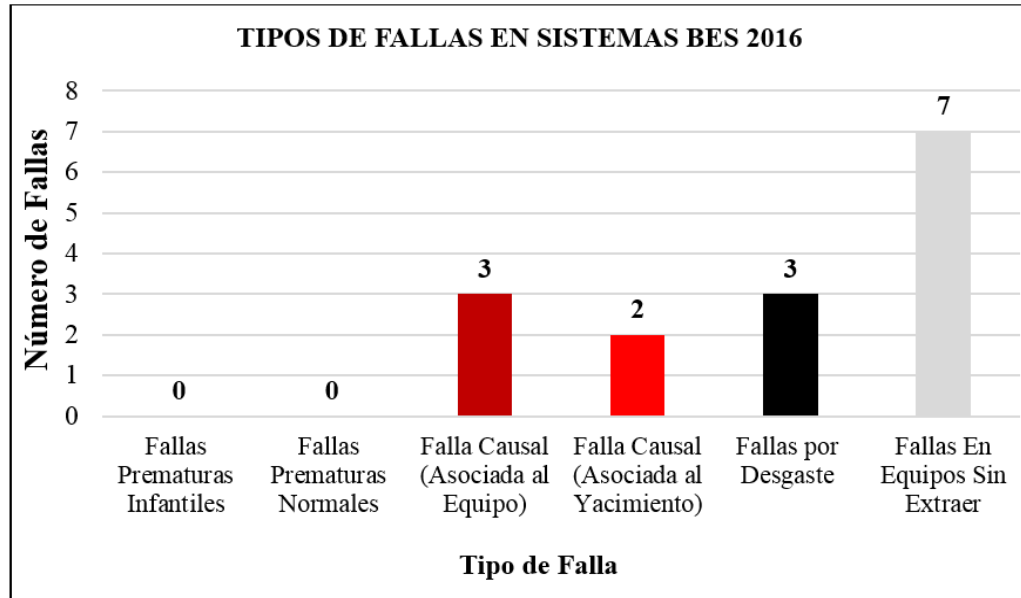
Desde el 1 enero hasta el 30 de septiembre del año 2016 se habían realizado 2 extracciones por abandono de pozos y 13 extracciones por fallas en los equipos de fondo. En este año también se reportaron 9 fallas sin embargo a la fecha de este estudio no se habían realizado las extracciones de los equipos de fondo, para un porcentaje de falla de 91,66% respecto al número de extracciones (gráfico 101).

**7.1.8.2. Tasa y tipos de Fallas por SLA en el año 2016.** De las 22 fallas reportadas, el 68,2 % (15) ocurrieron en pozos con sistemas de levantamiento BES. Distribuidas en tipos de falla así: 3 fallas causales asociadas al equipo, 2 fallas causales asociadas al yacimiento, 3 fallas por desgaste (en equipos con tiempos de operación mayor a los 1100 días y 7 fallas en equipos que a la fecha de este estudio aún se encontraban en fondo del pozo (gráfico 102).

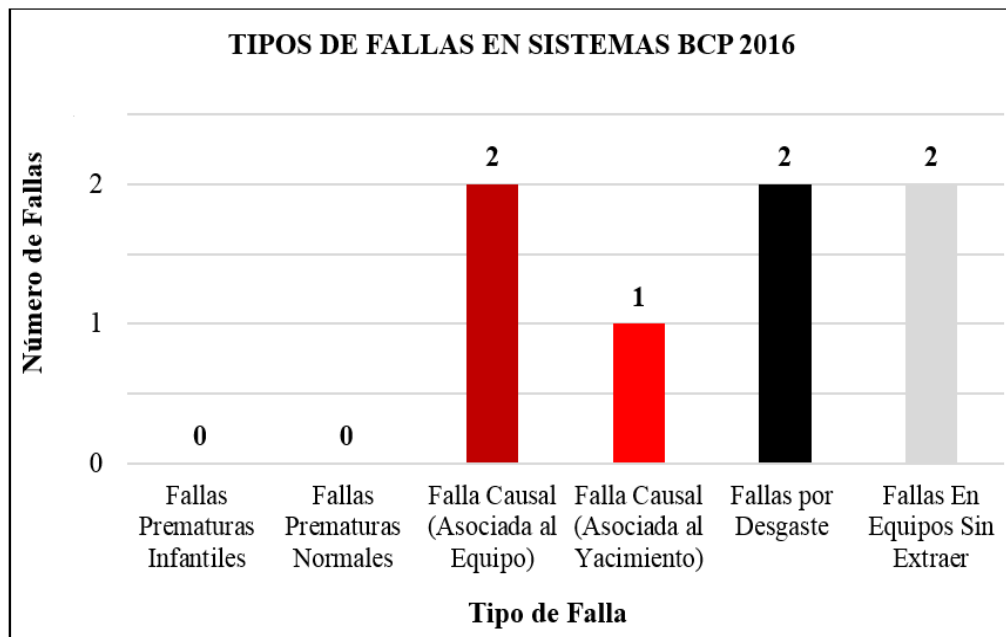
Las 7 fallas restantes 31,8% del total de las fallas corresponden a pozos con equipos de levantamiento BCP. Donde el 28,57% (2) fueron fallas por desgaste operativo, el 28,57% (2) fueron fallas causales asociadas al equipo, el 14,29% (1) fue falla causal

asociada al yacimiento y el 28,57% (2) fueron fallas reportadas en equipos que a la fecha de este estudio aún se encontraban en fondo del pozo (gráfico 103).

**Gráfico 103.** Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2016.

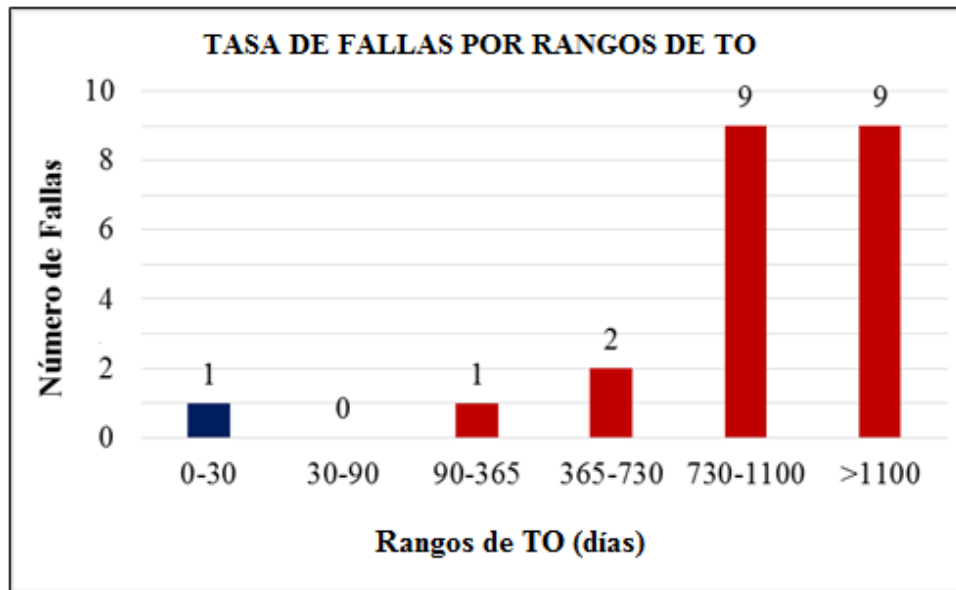


**Gráfico 104.** Tipo y numero de fallas en Campo Zeta presentadas en equipos del sistema BES año 2016.



### 7.1.8.3. Tasa de Fallas totales en el año 2016 por rangos de TO

**Gráfico 105.** Número de fallas en Campo Zeta de acuerdo a los TO en el año 2016.



En el año 2016, el periodo de fallas prematuras (0-90 días) representó solo el 4,5% del total de fallas igual porcentaje que en el tiempo de operación de 90 -365 días 4,5% de las fallas, en el rango de 365-730 días el porcentaje de fallas fue de 9%, y como periodos críticos en este año fueron las fallas ocurridas en los rangos de tiempos de operación de 730-1100 días y mayor a 1100 días con porcentajes de fallas del 41% para cada rango (gráfico 104).

**7.1.8.4. Tasa de Fallas totales por Caudal teórico en el año 2016.** El 29% de las fallas ocurridas en el año 2016 se dieron en pozos con caudales menores a los 2000 BFPD, el 14% en pozos con caudales entre los 2000 y 4000 BFPD, el 57% con caudales entre los 4000 y 8000 BFPD, en este año no se reportaron fallas en los pozos con caudales mayores a los 8000 BFPD (gráfico 105).

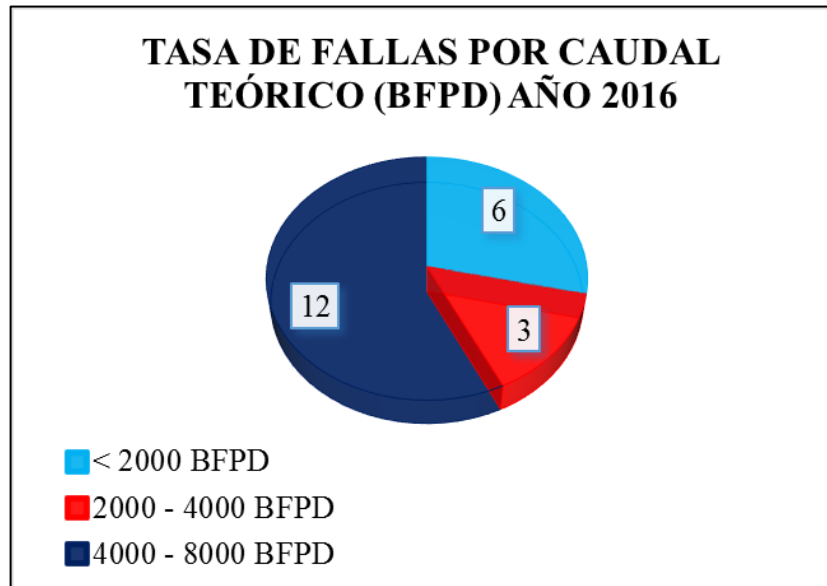
En los pozos de menor caudal (< 2000 BFPD), el 67% de las fallas fue por desgarre de elastómero donde el 17% fue por arenamiento, el 17% fue en un pozo con sistema BCP que a la fecha de este estudio aún se encontraba sin extraer, y el otro 17% fue por motor aterrizado en equipo BES.

En pozos con caudales entre los 2000 y 4000 BFPD, el 33,33% ocurrió en pozos con sistema BCP por desgarramiento de elastómero, y el 66,66% de las fallas, los equipos aún se encontraban sin extraer, por lo tanto, son falas indeterminadas.

En pozos con caudales entre los 4000 y 8000 BFPD, el 50% de los equipos aún no se les ha realizado la extracción, así que son fallas que aún se desconocen, el 17% fueron fallas ocasionadas por corrosión, el 17% fallas mecánicas por daños en las etapas de la bomba y ruptura de eje en el Intake, y el otro 17% fallas eléctricas en cable de potencia y cable MLE.

En pozos con caudales mayores a 8000 BFPD no se reportaron fallas.

**Gráfico 106.** Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico en el año 2016.

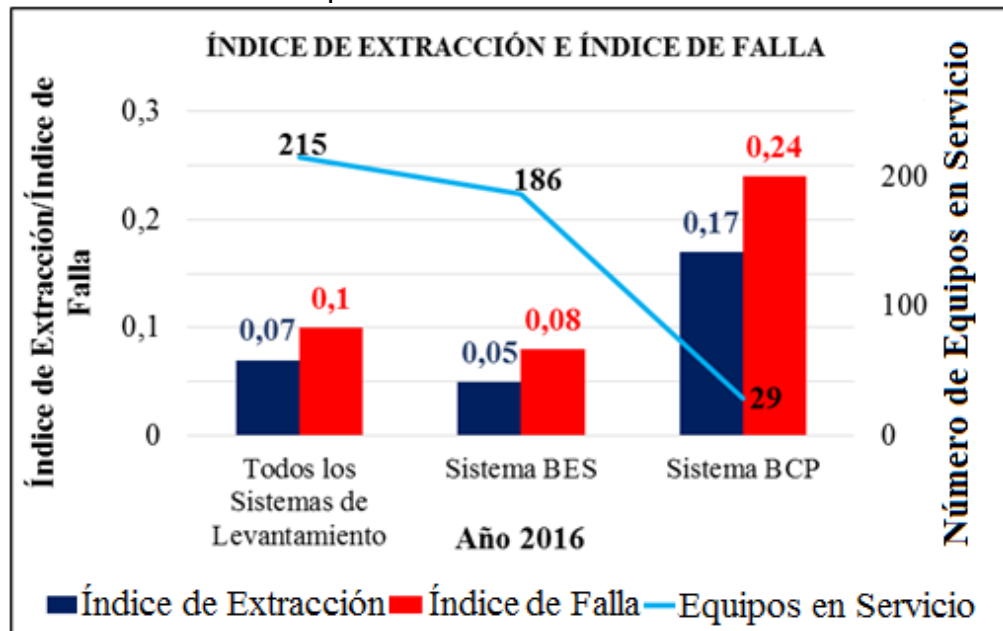


**7.1.8.5. IE e IF por SLA en el año 2016.** Con relación al gráfico 106, en años anteriores observábamos como desde el 2009 el IE fue siempre mayor al IF, como lo explicábamos se debía a las intervenciones que se realizaban en los pozos por razones diferentes a eventos de fallas, mientras pasaban los años observamos también como los valores en estos indicadores tendían a igualarse, sin embargo, hasta el año 2015 el IE aunque muy cercano al IF seguía siendo levemente mayor. En el año 2016 vemos que el IF no solo igualó, sino que superó al IE, como fue explicado en este mismo gráfico del año 2015, los altos costos en intervenciones a pozos, sumado a los bajos precios del barril de petróleo en el mercado, influyó en que se limitaran las extracciones de los equipos de fondo, tanto así que en el 2016

de 22 equipos con fallas reportadas (hasta el 30 de septiembre), solo a 13 se les realizó la extracción, los 9 restantes aún estaban en fondo de pozo pese a la falla.

Así también el número de equipos corriendo a nivel general decreció, muchos pozos fueron apagados por poca viabilidad económica, otros quedaron inactivos por presentar problemas en fondo y los altos costos de intervención.

**Gráfico 107.** IE e IF en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2016.



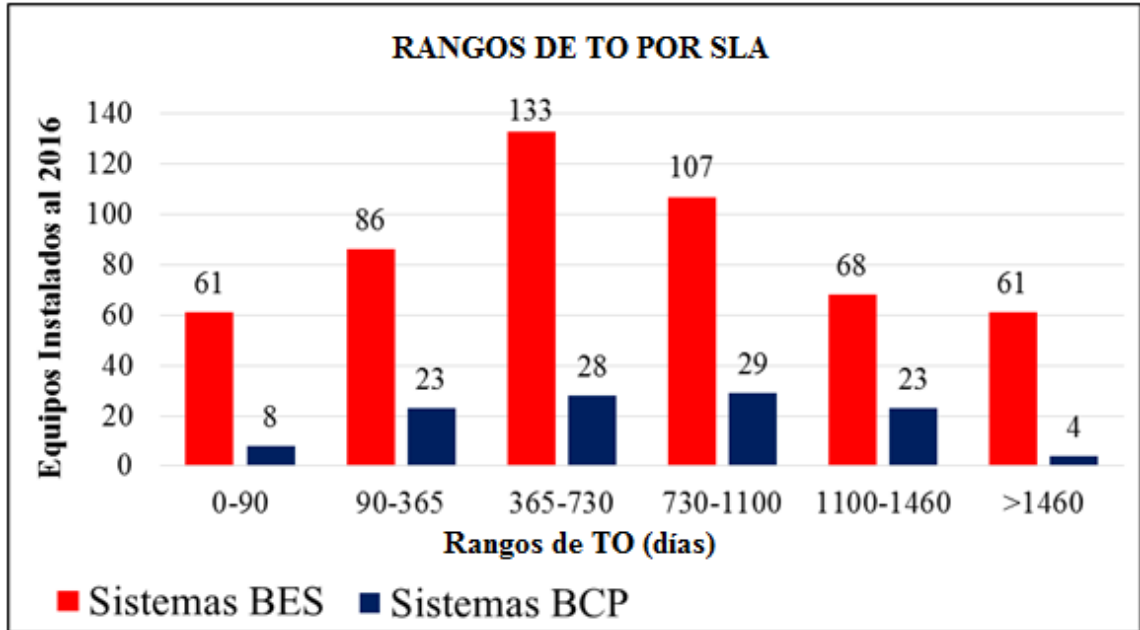
**7.1.8.6. Tasa de instalaciones acumuladas por SLA agrupadas en rangos de TO, año 2016.** Al 30 de septiembre del año 2016 se habían realizado un total de 631 instalaciones de equipos en fondo, de los cuales solo 115 (18%) corresponden a sistemas BCP y 516 (82%) a sistemas BES (gráfico 107).

El 11% (69) de los equipos instalados no sobrepasaba el periodo prematuro (0-90 días), entre 90-365 días se encuentra el 17,3% (109) de los SLA, el 25,5% (161) de los sistemas se encuentra entre uno y dos años, de dos a tres años el 21,5% (136) de los sistemas, el 14,4% (91) ya tenían tiempos de operación entre los tres y cuatro años; y el 10,3% (65) sobrepasaba tiempos mayores a los cuatro años de funcionamiento.



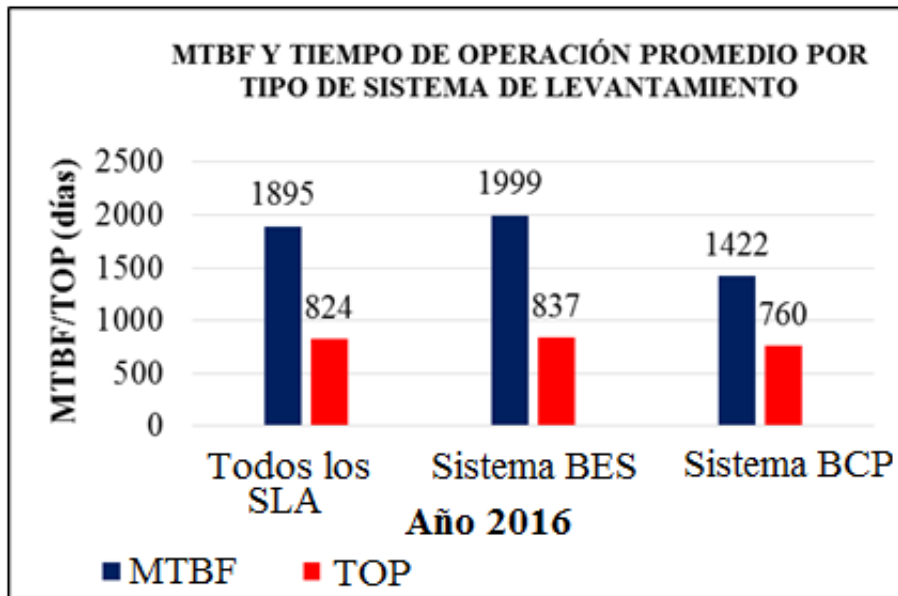
Las instalaciones realizadas confirman la tendencia del Campo Zeta por SLA tipo BES.

**Gráfico 108.** Rango de TO por tipo de SLA Campo Zeta año 2016.



**7.1.8.7. MTBF y TOP acumulado al año 2016 por SLA.**

**Gráfico 109.** MTBF y TOP en Campo Zeta de acuerdo al SLA en el año 2016.



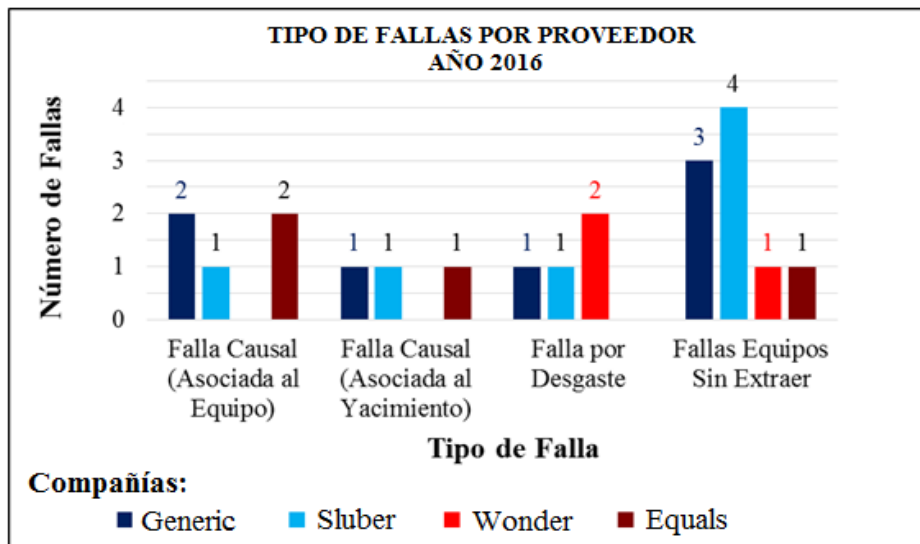
En el gráfico 108, al igual que en los años anteriores observamos que tanto el MTBF como el TOP acumulados aumentaron para ambos SLA, el TOP tuvo un buen incremento para los equipos del sistema BES, mientras que para los del sistema BCP no fue así, esto por la cantidad de fallas presentadas.

El comportamiento del MTBF en los equipos BES en este año fue mejor que en los anteriores, aunque el número de fallas en este año fue de 15, el 50% de estas aún no se pueden asociar ya que los equipos fallados aún se encuentran en fondo de pozo. Por otra parte, el número de equipos en funcionamiento cayó de 272 a 186, al no haber nuevas instalaciones favoreció el aumento del tiempo de operación promedio en este sistema.

En los equipos de sistema BCP estos indicadores no son tan favorables, pues como lo muestra la gráfica anterior al 2016 tuvieron un aumento mínimo comparado con el año anterior, aunque el número de fallas reportadas fue el mismo, el número de equipos disminuyó el 22% sin embargo esto era de esperarse ya que en este campo el sistema de preferencia a instalar fue el BES, por esta razón a medida que pasaban los años el número de equipos BCP fue disminuyendo, unos fueron reemplazados por equipos BES, mientras que otros se inactivaron por poca viabilidad económica, sin embargo esta última razón también afectó el número de equipos BES.

#### 7.1.8.8. Tasa y tipos de Falla por proveedor en el Año 2016.

**Gráfico 110.** Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo en el año 2016.

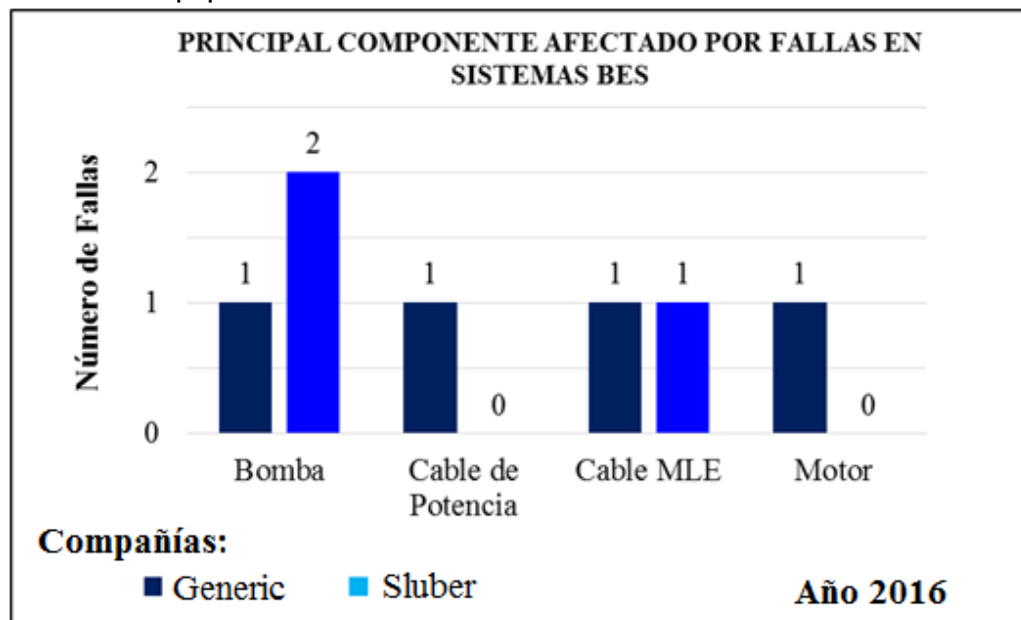


De las 14 fallas reportadas en los pozos con sistema de levantamiento por bombeo electrosumergible, el 50% (7 fallas) ocurrieron en equipos de la compañía Generic y el otro 50% (7) en equipos de la compañía Sluber (gráfico 109).

De las 7 fallas presentadas en los pozos con bombeo por cavidades progresivas, el 57% se reportaron en equipos de la compañía Equals y el 43% en equipos de la compañía Wonder.

**7.1.8.9. Principal componente afectado en las Fallas por tipo de SLA en el Año 2016.**

**Gráfico 111.** Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2016.

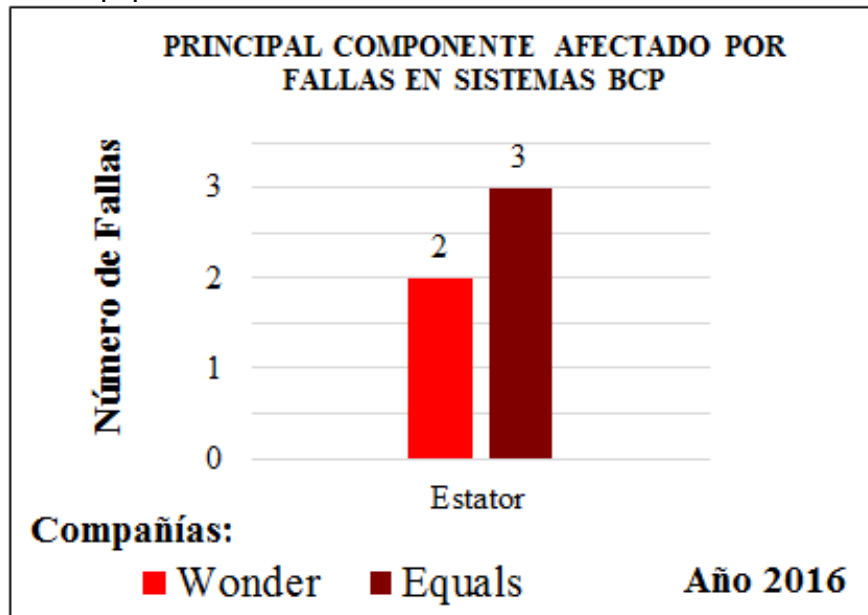


De las 7 fallas reportadas en equipos de la compañía Generic, el 43% (3) a la fecha de este estudio se encontraban sin determinar, ya que los equipos fallados aún se encontraban en fondo sin extraer, otras dos fallas fueron de tipo causal asociadas al equipo, una por motor aterrizado y otra por daños en el cable MLE, otra falla fue causal asociada al yacimiento ya que la bomba presentó restricción por arenamiento y la última fue falla por desgaste operativo con 1820 días de funcionamiento, por problemas eléctricos presentando daños en el cable de potencia.

De las 7 fallas en equipos de la compañía Sluber, el 57% (4) de los equipos fallados se encontraban en fondo sin extraer, otra falla fue causal asociada al equipo la cual al extraerlo se encontró que los bujes del Intake se encontraban rotos ocasionando que el eje se desplazara, otra de las fallas fue causal asociada al yacimiento donde se encontraron daños en el cable MLE por corrosión, y otra fue por desgaste operativo en un equipo con 1214 días de funcionamiento donde se encontraron daños en las etapas de la bomba.

Desde el 01 de enero hasta el 30 de septiembre del año 2016 no se habían reportado ninguna falla de los equipos de la compañía Novotec.

**Gráfico 112.** Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES año 2016.



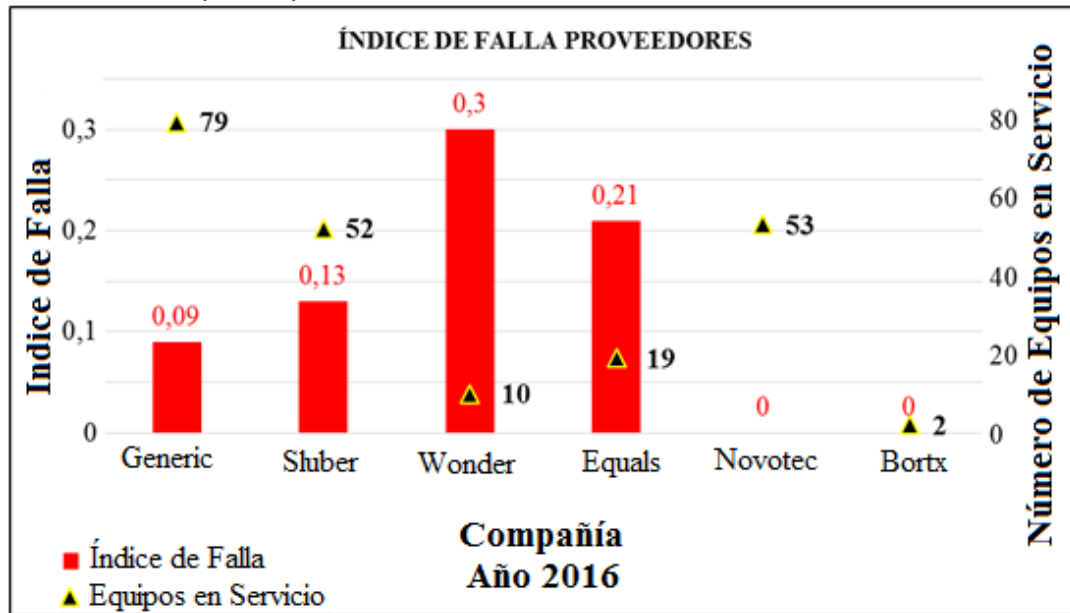
El 50% de las fallas presentadas en pozos de los equipos de la compañía Equals, fueron causales asociadas al equipo afectando el estator por desgarramiento del elastómero, el otro 25% fue causal asociada al yacimiento ya que también se encontró desgarramiento del elastómero por la presencia de arena de la formación, el otro 25% fue una falla reportada pero que aún el pozo no se ha intervenido así que esta sin determinar.

En pozos con equipos de la compañía Wonder se reportaron solo 3 fallas, en donde 2 de ellas fueron por desgaste operativo en equipos con tiempos de operación

mayor a los 1100 días y 1 fue en un pozo al cual aún no se le ha realizado extracción del equipo de fondo (gráfico 111).

#### 7.1.8.10. Índice de Falla por proveedor en el año 2016.

**Gráfico 113.** Índice de falla y número de equipos operando en Campo Zeta de acuerdo a la compañía proveedora en el año 2016.



El gráfico 112, corresponde al comportamiento del IF en el año 2016. Este indicador en los equipos de la compañía Generic solo incrementó de 0,08 a 0,09, aunque las fallas disminuyeron de 9 a 7 respecto al año anterior, sus equipos en funcionamiento disminuyeron casi al 35%, pasaron de 121 a 79.

En los equipos de la compañía Sluber, este indicador no fue favorable, pues aumento de 0,07 a 0,13, las fallas pasaron de 5 en el año anterior a 7 en el 2016 y sus equipos en funcionamiento también disminuyeron casi al 31%, de 75 operando en el 2015 solo había 52 en funcionamiento en el 2016.

En los pozos con equipos de la compañía Wonder se reportaron la mitad de las fallas que, en el 2015, de 6 pasaron a 3 fallas, los equipos en funcionamiento de 13 disminuyeron a 10, el IF, aunque disminuyó de 0,46 a 0,3 sigue siendo un valor grande.

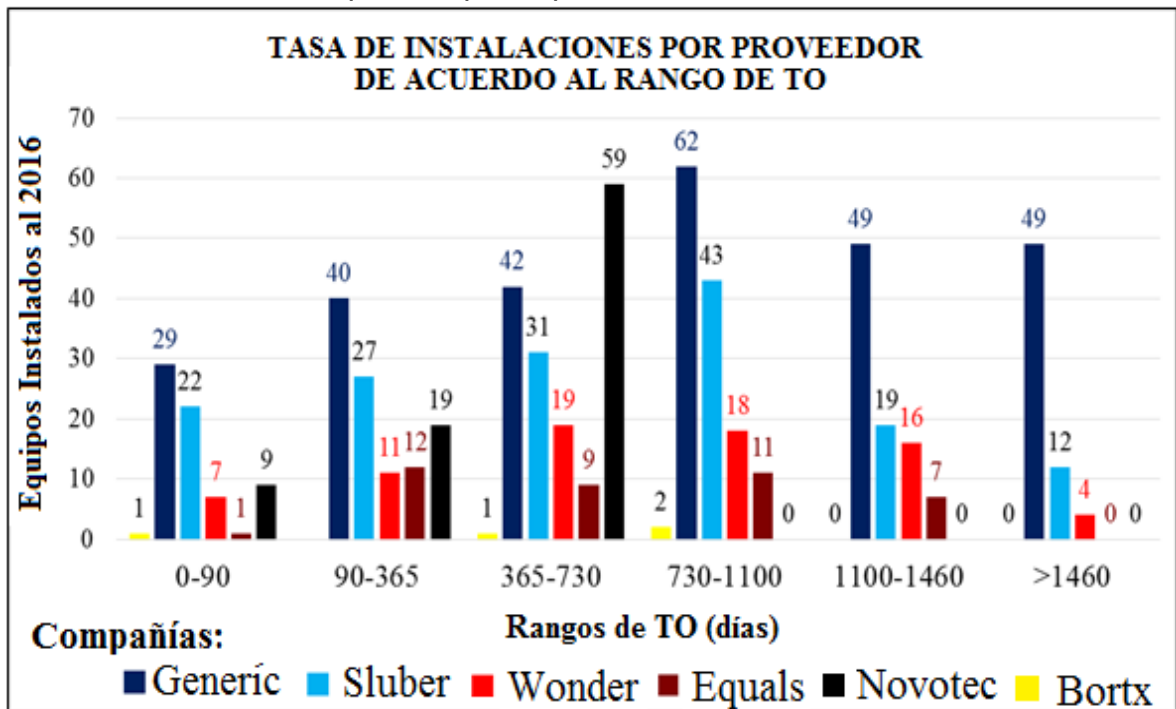
En este año el mayor impacto fue para los equipos de la compañía Equals la cual venía mostrando unos indicadores favorables en años anteriores, pero en el 2016 aumento más del 80%, pues paso de ser 0,04 en el 2015 a ser de 0,21 en el 2016, sus fallas aumentaron de 1 a 4 fallas reportadas y sus equipos en funcionamiento disminuyeron de 24 a 19.

La compañía Novotec tuvo índices favorables al 2016, al 30 de septiembre (fecha de este estudio) no reportó ninguna falla, sin embargo, sus equipos en funcionamiento si se vieron reducidos casi al 25%, pasaron de ser 74 a 56.

De la compañía Bortx al igual que en el año 2015 no se reportaron nuevas instalaciones y los únicos dos equipos no presentaron fallas, por ende, este indicador fue de cero.

**7.1.8.11. Tasa de instalaciones acumuladas por proveedor de acuerdo al rango de TO alcanzados al año 2016.**

**Gráfico 114.** Número de equipos instalados en Campo Zeta de acuerdo a los TO alcanzados al año 2016 por compañía proveedora.



Al finalizar el mes de septiembre del año 2016 los datos de los TO por proveedor se encuentran en el gráfico 113. El 11% de los equipos instalados de la compañía Generic no sobrepasaron los 90 días de operación, el 15% operaron entre los 90 y los 365 días, el 15% sobrepasó los 365 días, pero sus tiempos eran menores a los 730, el mayor porcentaje de sus equipos (23%) se encontraban en el rango de 730 a 1100 días, el 18% operaron en el rango de 1100 a 1460 días y el 18% con tiempos mayores a los cinco años.

De la compañía Sluber, el 14% de las instalaciones realizadas a la fecha de este estudio, no sobrepasó el periodo prematuro, el 18% operaron en rangos de 90 a 365 días, el 20% tenían TO entre 365 y 730 días, el mayor porcentaje de equipos instalados (28%) operaban entre los 730 y 1100 días, el 12% de 1100 a 1460 días y solo el 8% con tiempos superiores a los cinco años.

De la compañía Bortx de sus cuatro instalaciones realizadas, el 50% superó los dos años de funcionamiento, el 25% no sobrepasó los 90 días y el otro 25% operó entre uno y dos años.

De la compañía Novotec, a la fecha de este estudio el 10% no operó a tiempos mayores de 90 días, el 22% de 90 a 365 días y la mayoría de sus instalaciones (68%) sobrepasaba el año de funcionamiento, estos valores son buenos teniendo en cuenta que Novotec inició instalaciones de equipos en campo Zeta desde el año 2014.

El 9% de las instalaciones de la compañía Wonder no sobrepasó el umbral de los 90 días, el 15% operó en el rango de 90 a 365 días, el 25% de las instalaciones tuvieron TO entre 365 y 730 días, el 24% entre 730 y 1100 días, el 21% entre los 1100 y los 1460 y solo el 5% superó los cinco años de funcionamiento.

El 3% de las instalaciones realizadas por la compañía Equals en campo Zeta, operaron entre 0 y 90 días, el 30% entre 90 y 365 días, el 23% entre 365 y 730 días, el 28% entre 730 y 1100 días y el 18% por encima de los 1100 días, cabe resaltar que esta compañía inició instalaciones en el año 2013.

**7.1.8.12. MTBF y TOP al año 2016 por proveedor.** Hasta el 30 de septiembre del 2016, la compañía Generic tuvo un buen comportamiento, el MTBF aumentó 281 días y el TOP 132 días, el índice de fallas tuvo muy poca variación con respecto al año anterior, más del 50% de las fallas reportadas no se pudieron asociar al equipo porque aún se encuentran sin extraer de fondo, lo que ocasiona un mayor valor en

el MTBF sin embargo se ve reflejado en el TOP que este año fue menor que en el anterior y su número de instalaciones aumentó en solo 5 (gráfico 114).

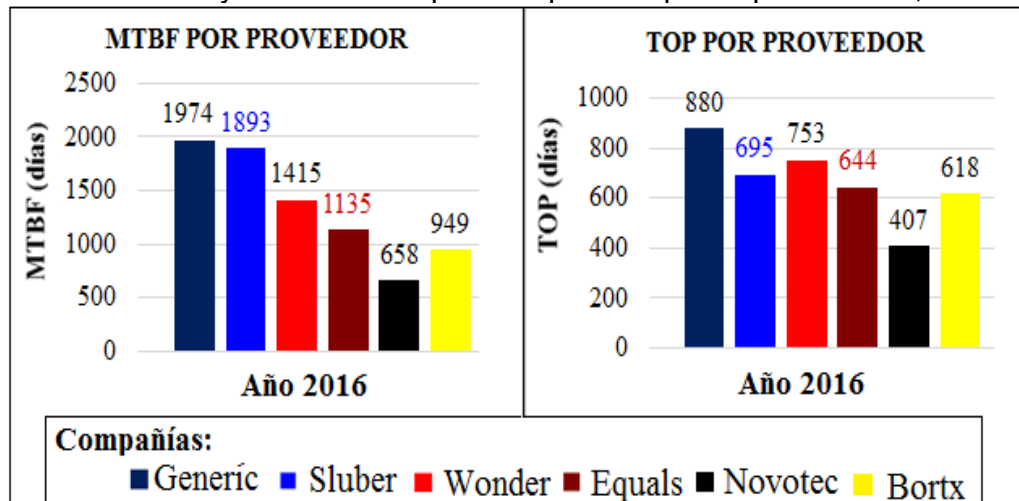
En la compañía Sluber, el valor de MTBF tuvo un incremento de 203 días, este fue menor que en el año 2015, el incremento del TOP fue también menor con respecto al año anterior (188 días), pues aumentó 105 días. Estos valores concuerdan con el comportamiento esperado, ya que el IF en este año fue mayor que en el año anterior, es de tener en cuenta que esta compañía realizó pocas instalaciones (5), más del 50% de los equipos que reportaron fallas aún se encuentran en fondo de pozo, estas fallas no se pueden aun asociar al equipo lo que hace que el valor de MTBF no sea menor.

En los equipos de la compañía Wonder, el MTBF no aumentó, por el contrario, disminuyó 4 días, en este año no se realizaron instalaciones y su mayoría de equipos se encontraban inactivos.

La compañía Equals tuvo un incremento menor que en el año anterior en el MTBF y TOP, pues su IF aumentó y se realizaron pocas instalaciones.

Las instalaciones de las compañías Novotec y Bortx siguen presentando incrementos muy positivos en MTBF y TOP, debido a que en este año no realizaron ninguna instalación y tampoco presentaron fallas en sus equipos.

**Gráfico 115.** MTBF y TOP en Campo Zeta por compañía proveedora, año 2016.





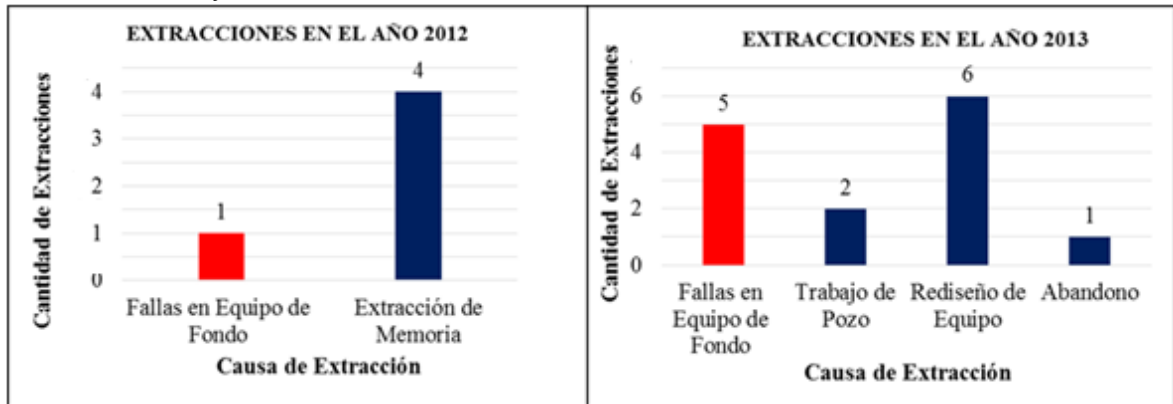
## 7.2. CAMPO ZAFÍR

Campo Zafír es un campo con una menor cantidad de pozos (100) que Campo Zeta, es por eso que a continuación se realiza un análisis general de cada uno de los parámetros que afectan de manera directa e indirecta los equipos que se encuentran en fondo, dependiendo del tipo de levantamiento y también por empresa operadora del equipo.

Es importante resaltar que la persona interesada podría agrupar los datos de manera general como se detalla a continuación o de manera específica, como fue detallado el Campo Zeta.

### 7.2.1. Histórico de tasa y causa de las Extracciones realizadas en Campo Zafír.

**Gráfico 116.** Causa principal de las Extracciones en Campo Zafír realizadas en los años 2012 y 2013.



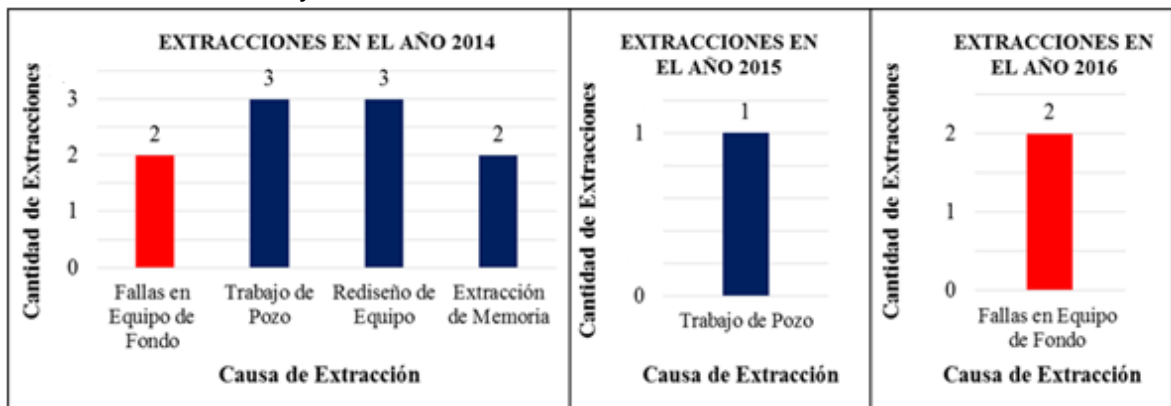
Según datos históricos, las primeras instalaciones en campo Zafír se realizaron en el año 2011.

En el año 2012 se realizaron sólo cinco extracciones, cuatro por extracción de memorias instaladas para verificar condiciones en fondo, y una fue por falla reportada en el equipo, para un porcentaje de falla del 20% (gráfico 115).

En el año 2013, el número de extracciones aumentó a 14, dos de ellas intervenciones realizadas por trabajos a pozo, seis de ellas por rediseños en

equipos de fondo, una de ellas por abandono de pozo y cinco por fallas reportadas en fondo, para un porcentaje de falla de 35,7% respecto al número de extracciones (gráfico 115).

**Gráfico 117.** Causa principal de las Extracciones en Campo Zafir realizadas en los años 2014, 2015 y 2016.



En el año 2014 se realizaron 10 extracciones, tres de estas intervenciones por trabajos de pozo, dos más por extracción de memoria, tres por rediseños en el equipo de fondo y sólo dos por fallas en sistemas de fondo, para un porcentaje de falla de 20% (gráfico 116).

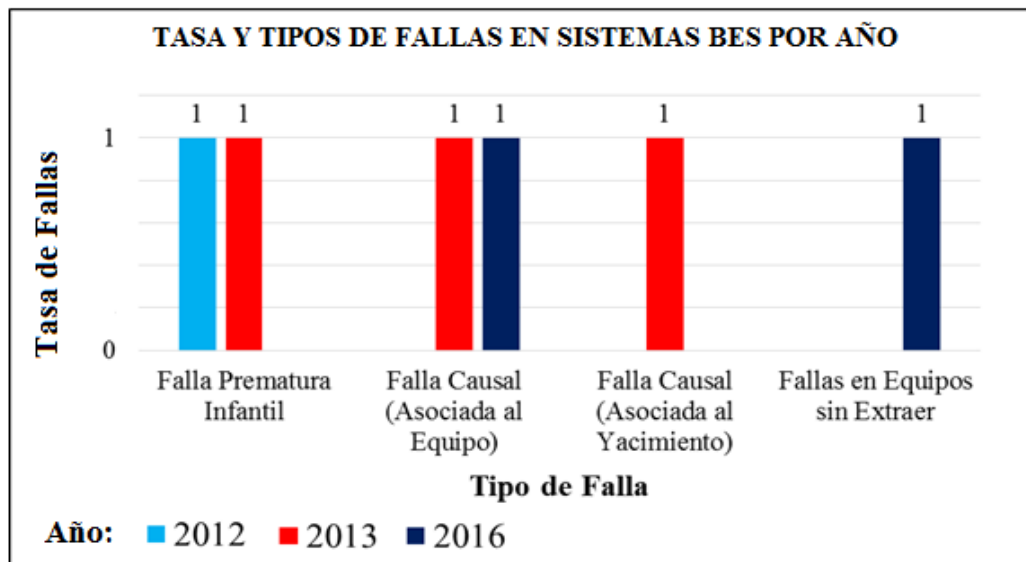
En el año 2015 solo se reporta una extracción en equipos de fondo y fue para realizar trabajo al pozo, en el año 2016 también solo se reporta una intervención a pozos en este campo, pero esta vez sí fue por fallas en el equipo de fondo (gráfico 116).

**7.2.2. Histórico de tasa y tipos de falla en SLA.** En los equipos del sistema BES, el año en el que más fallas fueron reportadas fue en el 2013 con el 50% del total de fallas, una de ellas fue falla prematura infantil, otra falla causal asociada al equipo y otra falla causal asociada al yacimiento. En porcentajes de falla le sigue el año 2016 con el 33,3% donde una falla reportada fue de tipo causal asociada al equipo y la otra aun es indeterminada ya que el equipo aún se encuentra en fondo de pozo sin extraer. Por ultimo de este sistema en el 2012 se reportó el 16,7% de las fallas, esta fue de tipo prematura infantil (gráfico 117).

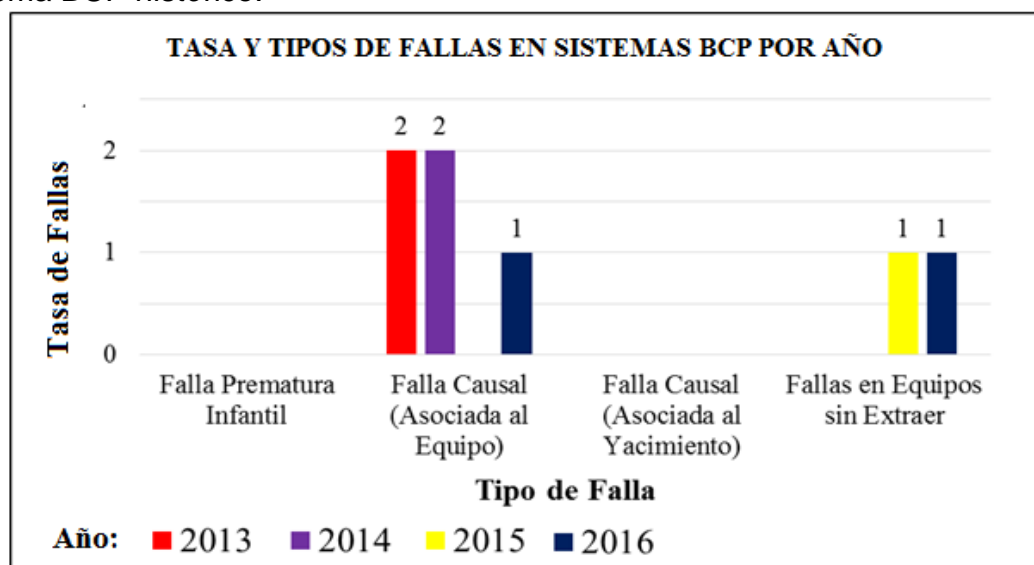
En los equipos del sistema BCP, el 28,6% de las fallas se reportarán durante el año 2016, una fue de tipo causal asociada al equipo y la otra a la fecha de este estudio

estaba indeterminada porque el equipo no se había extraído aun del pozo, el 28,6% se reportaron en el año 2013, ambas fallas fueron de tipo causal asociadas al equipo de fondo, el 28,6% también de tipo causal asociadas al equipo de fondo se reportaron en el año 2014, y por último el 14,2% se reportó durante el año 2015, este equipo aun se encontraba sin extraer por lo cual no se pudo determinar la falla (gráfico 118).

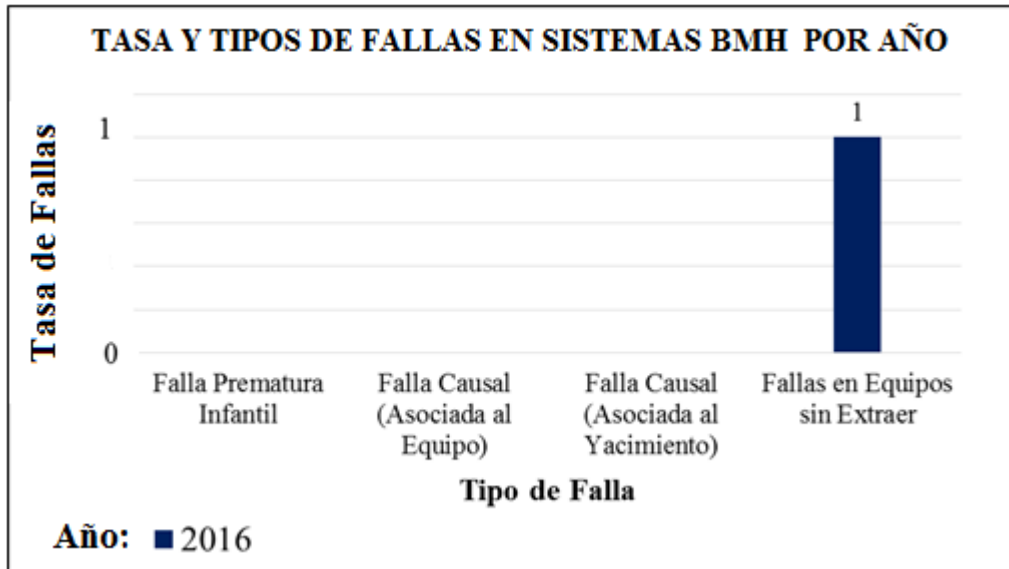
**Gráfico 118.** Tipo y número de fallas en Campo Zafír presentadas en equipos del sistema BES histórico.



**Gráfico 119.** Tipo y número de fallas en Campo Zafír presentadas en equipos del sistema BCP histórico.



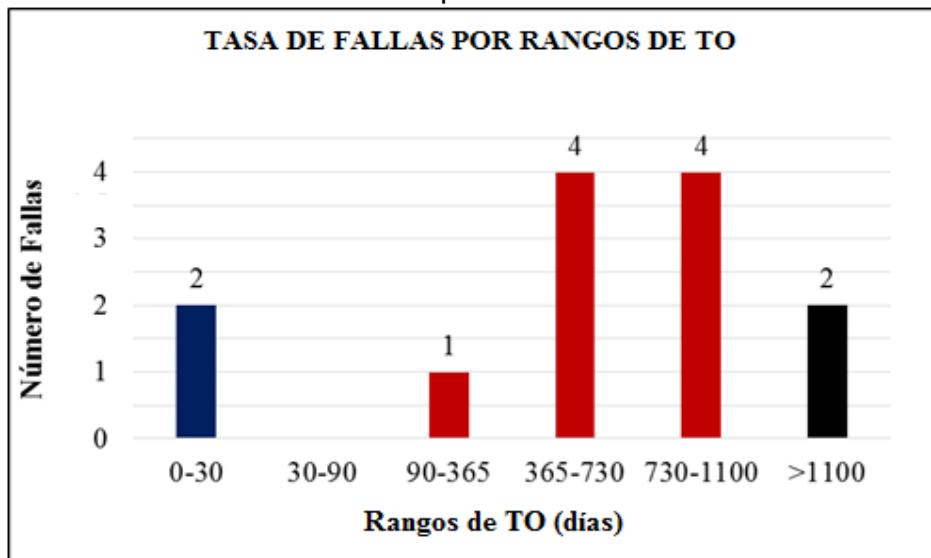
**Gráfico 120.** Tipo y numero de fallas en Campo Zafír presentadas en equipos del sistema BMH histórico.



En los equipos del sistema BM por Unidades Hidraulicas sólo se tiene el reporte de una falla ocurrida en el año 2016, este equipo se encuentra en fondo de pozo, así que esta falla esta indeterminada (gráfico 119).

### 7.2.2. Tasa de Fallas totales por rangos de TO.

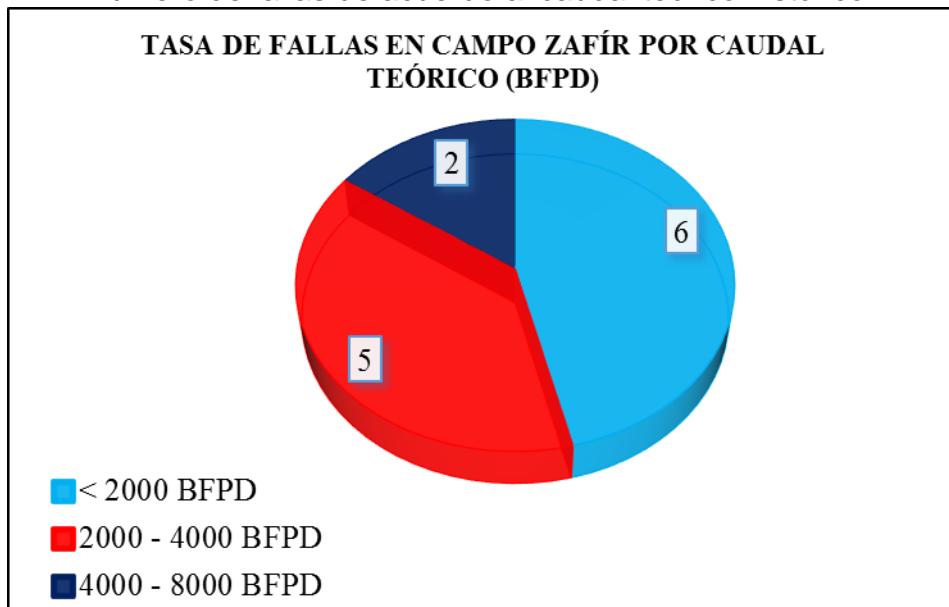
**Gráfico 121.** Número de fallas en Campo Zafír de acuerdo a los TO histórico.



El 15,4% de las fallas reportadas en campo Zafír, fueron prematuras, pues ocurrieron en el rango de 0 a 90 días de operación, el 7,7% con tiempos entre los 90 y 365 días, el 30,7% de las fallas tenían tiempos entre los 365 y 70 días, el 30,7% entre 730 y 1100 días y solo el 15,4% superaron los 1100 días de funcionamiento (gráfico 120).

### 7.2.3. Tasa de Fallas totales por Caudal teórico.

**Gráfico 122.** Numero de fallas de acuerdo al caudal teórico histórico.



El gráfico 121, presenta las fallas presentadas en toda la vida productiva del Campo Zafír agrupadas por el caudal al cual funcionaban los SLA.

Donde el 46% del total de fallas se reportaron en equipos con caudales menores a los 2000 BFPD, de las cuales el 83,3% fueron fallas de tipo mecánico, generalmente por desconexión de varillas en los equipos BCP, desgarré de elastómero y golpes en el cable MLE por arrastre, el otro 16,6% fue falla de tipo eléctrico por motor aterrizado.

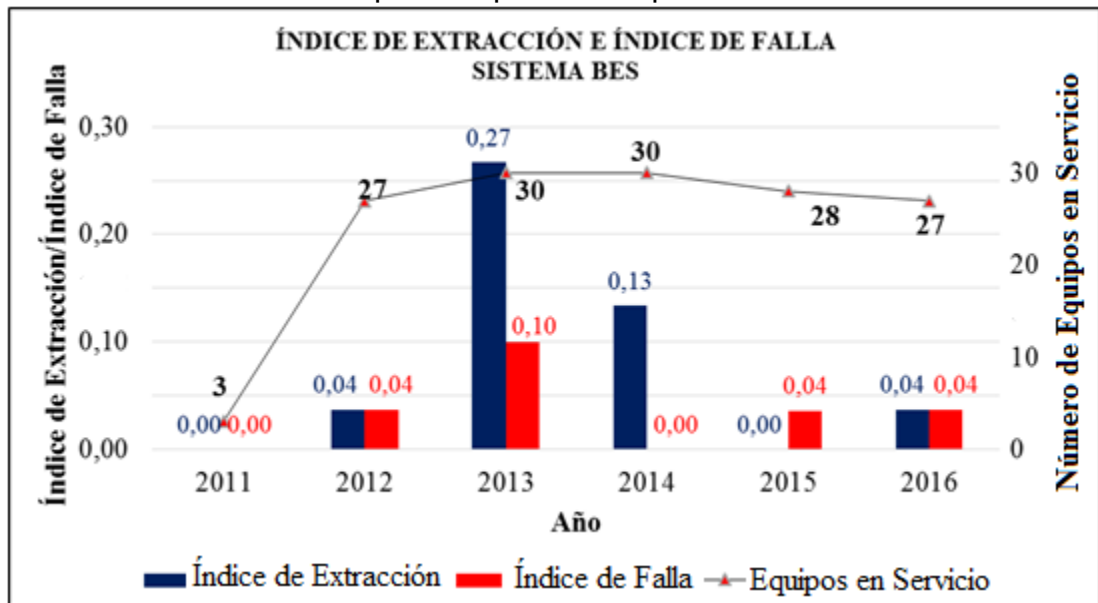
El 39% de las fallas ocurrieron en pozos con caudales entre los 2000 y 4000 BFPD, de los cuales el 60% de estas fallas a la fecha de este estudio estaban sin determinar, debido a que los equipos aún se encontraban en fondo de pozo sin

extraer, el 20% por desconexión de varilla en equipo BCP y el otro 20% por desbalance en las fases del motor (aterrizado).

El 15% del total de las fallas se reportaron en equipos con caudales entre los 4000 y los 8000 BFPD, de las cuales una fue de tipo mecánico (golpe en el cable MLE) y la otra de tipo eléctrico (motor aterrizado).

#### 7.2.4. IE e IF por SLA histórico

**Gráfico 123.** IE e IF en Campo Zafír para SLA tipo BES histórico.



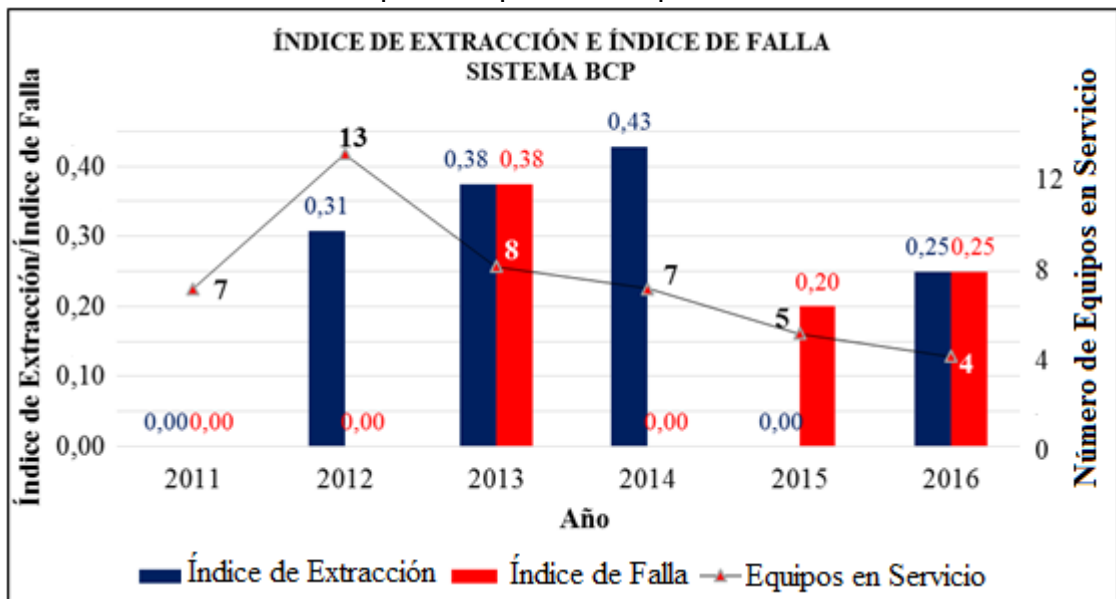
En el gráfico 122, se observa que las primeras instalaciones aparecen en el año 2011, en este año no hubo reporte de alguna extracción o evento de falla por lo cual sus indicadores son cero, al año 2012 el número de equipos en funcionamiento aumentó en un gran porcentaje (800%), y su IF también aumentó de 0 a 0,04 lo que tuvo afección directa sobre el IF que también en ese año fue de 0,04.

Al año 2013 ya el incremento en equipos en servicio fue del 11,11%, sus índices también aumentaron, el de extracción en este año fue mayor que el de falla debido a intervenciones realizadas en los pozos por razones ajenas a eventos de falla, pues se realizaron trabajos al pozo, rediseños de equipos y un abandono.

En el año 2014 el número de equipos corriendo permaneció constante y a pesar de que no se presentó ninguna falla, el índice de extracción fue de 0,13 en los equipos del sistema BES.

En el año 2015 el número de equipos en funcionamiento disminuyó el 6,6%, su IE fue de cero a pesar que hubo fallas reportadas, razón por la cual en análisis anteriores encontramos fallas sin determinar por qué los equipos aun permanecen sin extraer. Finalmente, al 30 de septiembre del año 2016 se tenían 27 equipos de este sistema en funcionamiento y los IF con el IE fueron iguales, esto con acuerdo con las pocas intervenciones que se le han realizado al campo a partir del año 2015 por viabilidad económica.

**Gráfico 124.** IE e IF en Campo Zafír para SLA tipo BCP histórico.

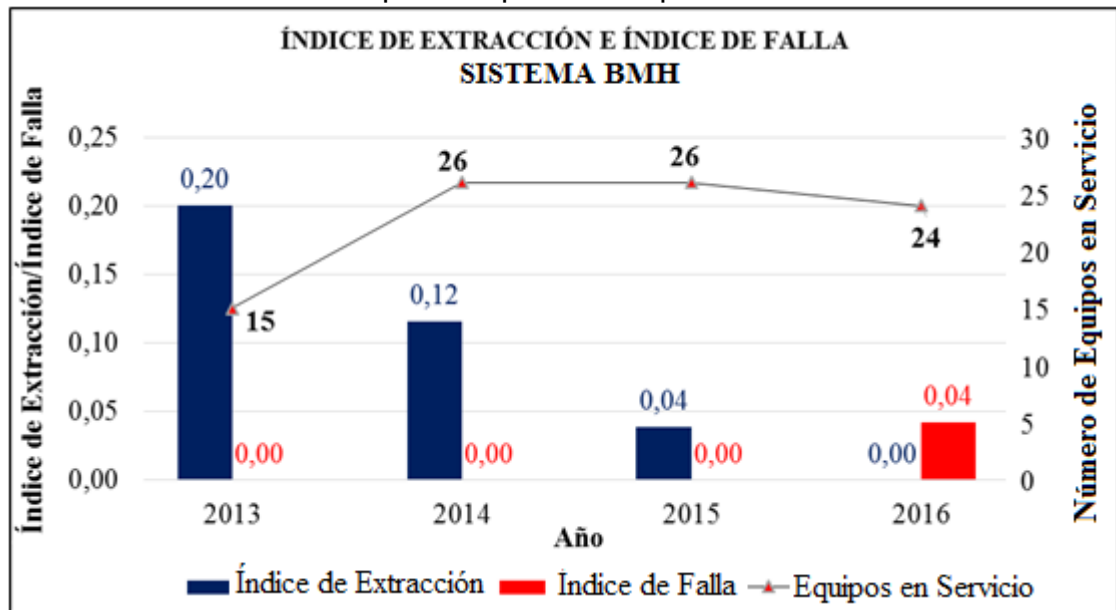


En el gráfico 123 se observa que las primeras instalaciones de los equipos del sistema BCP aparecen en el año 2011, al igual que en los equipos del sistema BES en este año no hubo reporte de alguna extracción o evento de falla por lo cual sus indicadores son cero, al año 2012 el número de equipos en funcionamiento aumentó en un gran porcentaje (114%), y su IF se mantuvo en cero mientras que el IE en ese año fue de 0,31.

Al año 2013 el número de equipos en operación disminuyó de 13 a 8, mientras que sus índices aumentaron, el de extracción en este año fue igual al de falla debido a intervenciones realizadas en los pozos por la ocurrencia de estos eventos.

En el año 2014 el número de equipos corriendo solo disminuyó de 8 a 7 y a pesar de que no se presentó ninguna falla el IE fue de 0,43, en el año 2015 el número de equipos en funcionamiento disminuyó el 2,85%, su IE fue de cero a pesar que hubo fallas reportadas, razón por la cual en análisis anteriores encontramos fallas sin determinar por qué los equipos aún permanecen sin extraer, finalmente al año 2016 se tenían 4 equipos de este sistema en funcionamiento y los índices de falla con el de extracción fueron iguales, esto concuerda con las pocas intervenciones que se le han realizado al campo a partir del año 2015 por viabilidad económica.

**Gráfico 125.** IE e IF en Campo Zafír para SLA tipo BMH histórico.



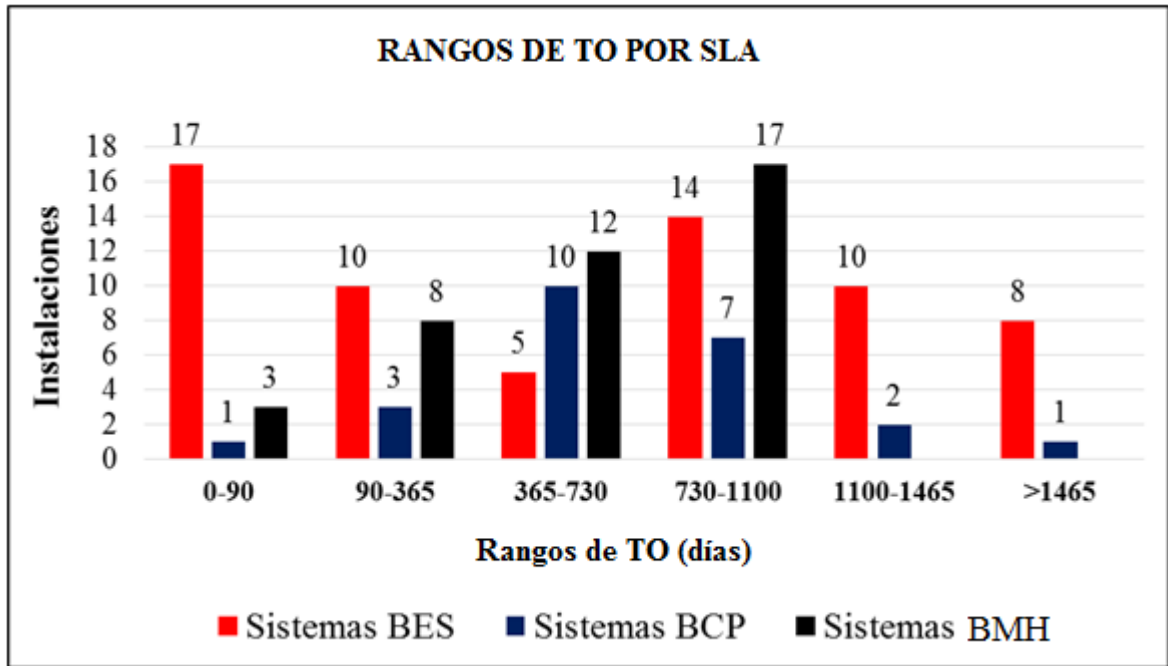
Las primeras instalaciones realizadas de equipos con sistema BMH en campo Zafír, se reportan desde el año 2013, en este año había 15 equipos en funcionamiento, no se presentó ninguna falla y su IE fue de 0,2. Al año 2014 el número de equipos en servicio aumento en un 73% pero tampoco fue reportada falla alguna y su IE disminuyó de 0,2 a 0,12.

En el año 2015 al igual que en los años anteriores en los equipos de este sistema no se reportaron fallas y su IE siguió disminuyendo a 0,04, finalmente en el año 2016 el número de equipos en operación disminuyo en un 7,7%, su IE llego a cero y su IF aumentó a 0,04, pues en este año se reportó una falla en equipos de fondo, equipo que a la fecha de este estudio se encontraba en el pozo sin ser intervenido.



### 7.2.5. Tasa de instalaciones acumuladas por SLA agrupadas en rangos de TO.

**Gráfico 126.** Rango de TO por tipo de SLA Campo Zafír, histórico.



Para el 30 de septiembre del 2016, en Campo Zafír, el 50% de sus instalaciones pertenecían al sistema BES, el 18,7% al sistema BCP y el 31,3% al sistema de BMH.

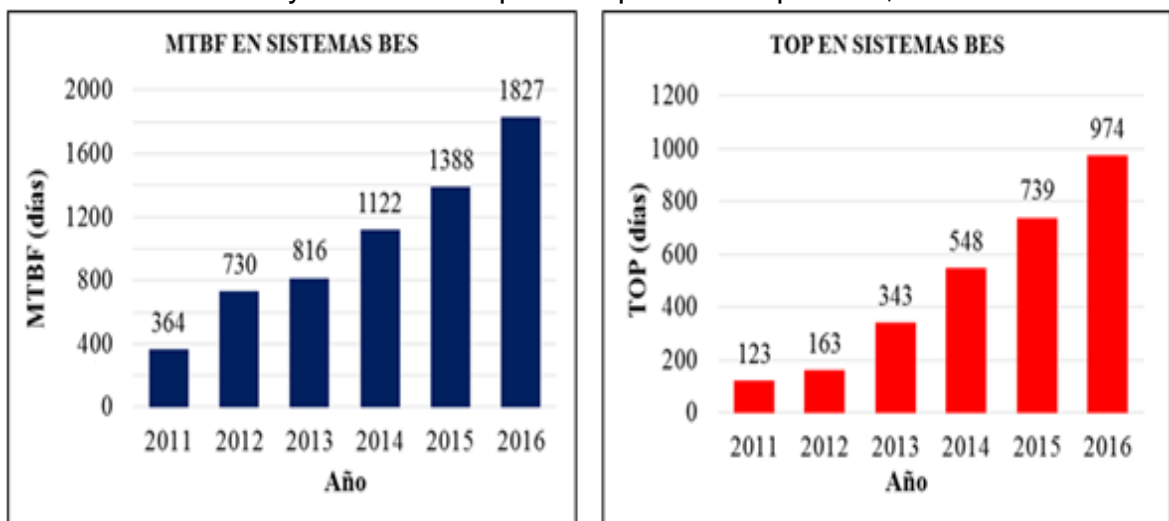
El gráfico 125, evidencia las instalaciones realizadas y el rango de TO que estas han alcanzado, su sumatoria corresponde el 100%. Del total de instalaciones realizadas en equipos del sistema BES, el 26,5% (17) de los equipos se encuentra en la etapa prematura de 0-90 días, el 15,6% (10) no supera el año de operación, el 7,8% (5) se encuentra entre uno y dos años de operación, el 21,9% (14) de los equipos ha superados los dos años en operación, pero se mantenían por debajo de los 1100 días, el 15,6% (10) operaron entre los 1100 y 1465 días y solo el 12,5% sobrepasaban los 5 años de funcionamiento.

En las instalaciones del sistema BCP, solo el 4% (1) se encontraba en periodo prematuro, el 12,5% (3) operaron entre los 90 y los 365 días, el 41,6% entre el año y los dos años de funcionamiento, el 29,1% (7) entre los 730 y 1100 días, el 8,3% (2) entre los 1100 y 1465 días y solo el 4%(1) sobrepasó los cinco años de operación.

De los equipos instalados pertenecientes al BMH el 7,5% (3) no sobrepasaban los 90 días de operación, el 20% (8) operaron en tiempos entre 90 días y un año, el 30% (12) tuvieron tiempos entre uno y dos años y el 42,5% (17) sobrepasaron los 1100 días. Esto es aceptable, debido a que las primeras instalaciones de equipos de este sistema se realizaron a partir del 2013, mientras que de los otros SLA fueron a partir del año 2011.

**7.2.6. MTBF y TOP histórico acumulado por SLA.** Podemos ver como a medida que aumenta el tiempo de producción del campo, tanto el MTBF como el tiempo de operación promedio acumulado presentan un crecimiento en sus valores.

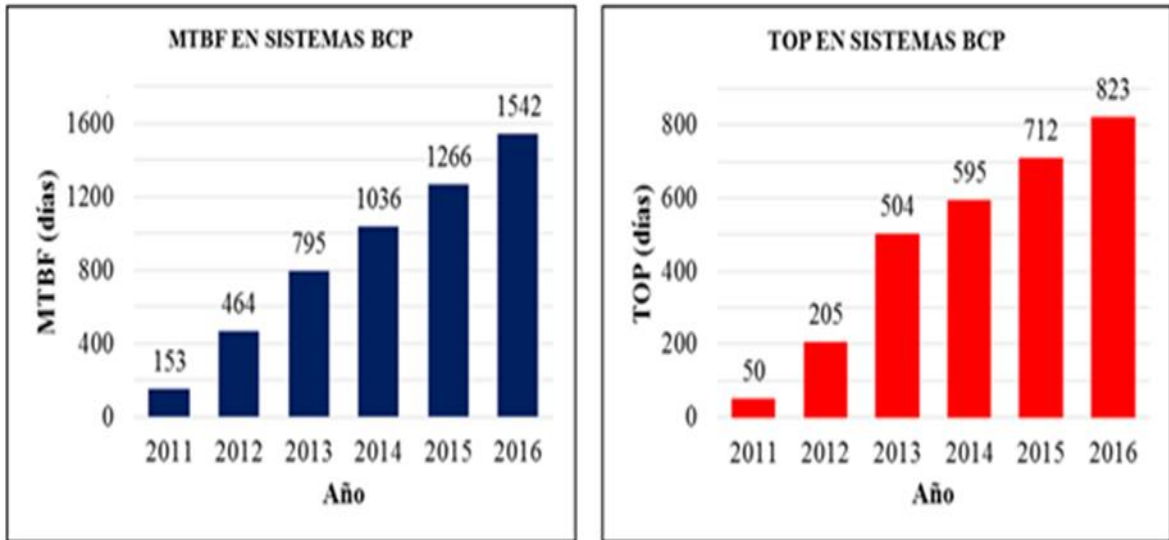
**Gráfico 127. MTBF y TOP en Campo Zafír para SLA tipo BES, histórico.**



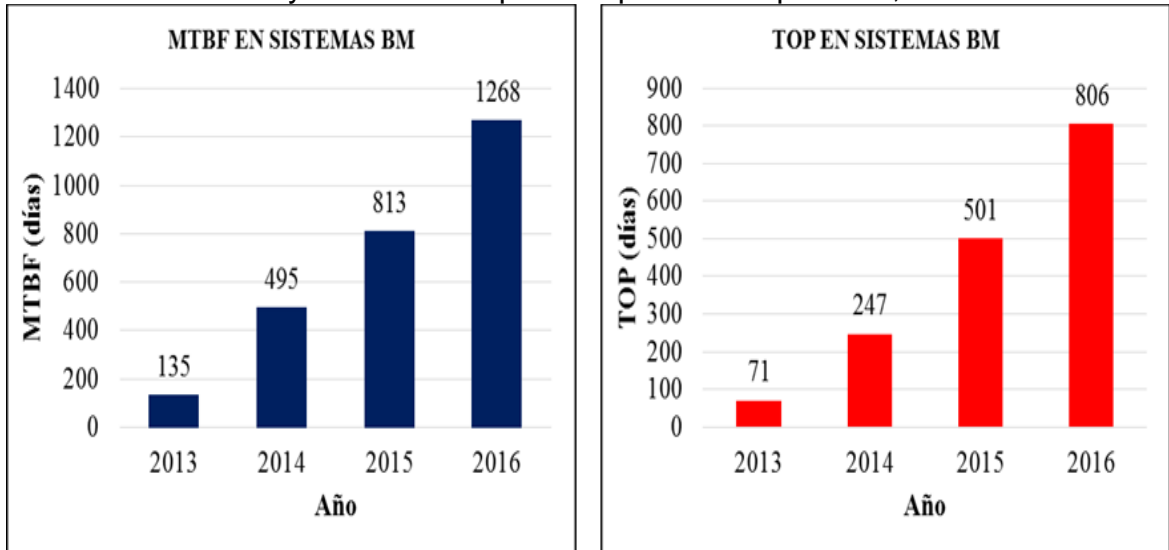
En los equipos del sistema BES como lo vimos anteriormente, el año crítico de fallas fue el 2013, esto se ve reflejado en la gráfica del MTBF donde su aumento en días fue el mínimo con respecto al año anterior (gráfico 126), por otro lado, si se observa el gráfico de TOP el año en el que este valor tuvo el mínimo incremento fue en el 2012 debido a la gran cantidad de nuevas instalaciones realizadas en ese año lo que disminuyó el valor promedio.

Según el gráfico 127, para el MTBF en sistemas BCP no se presentaron picos altos en variación del aumento de este indicador al pasar los años, por otro lado el año en el que más instalaciones de equipos BCP se realizaron fue en el 2014, es por esto que en ese año fue donde se obtuvo el pico de mínimo incremento del valor promedio de TO en este sistema.

**Gráfico 128.** MTBF y TOP en Campo Zafír para SLA tipo BCP, histórico.



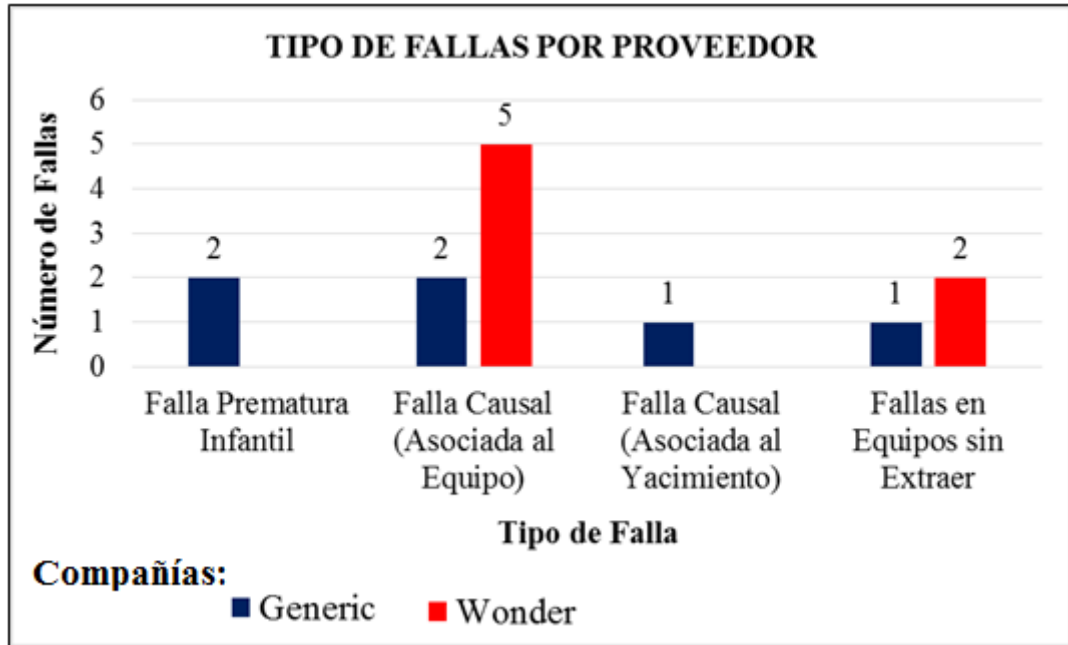
**Gráfico 129.** MTBF y TOP en Campo Zafír para SLA tipo BMH, histórico.



Este sistema fue el que mejor comportamiento tuvo en Campo Zafír de acuerdo a valores de MTBF y de TOP (gráfico 128), a pesar de que las instalaciones empezaron a partir del año 2013, a medida que pasaba el tiempo los incrementos en el MTBF y en el TOP eran significativamente altos. Pues solo se tuvo el registro de una falla en un equipo de fondo.

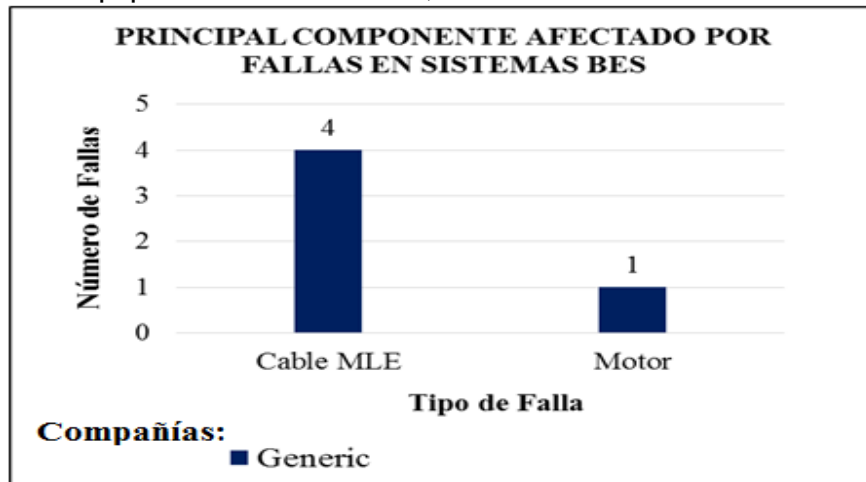
### 7.2.7. Tasa y tipos de Falla por proveedor

**Gráfico 130.** Número y tipo de fallas por compañía proveedora del equipo, histórico.



### 7.2.8. Principal componente afectado en las Fallas por tipo de SLA, histórico.

**Gráfico 131.** Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BES, histórico.

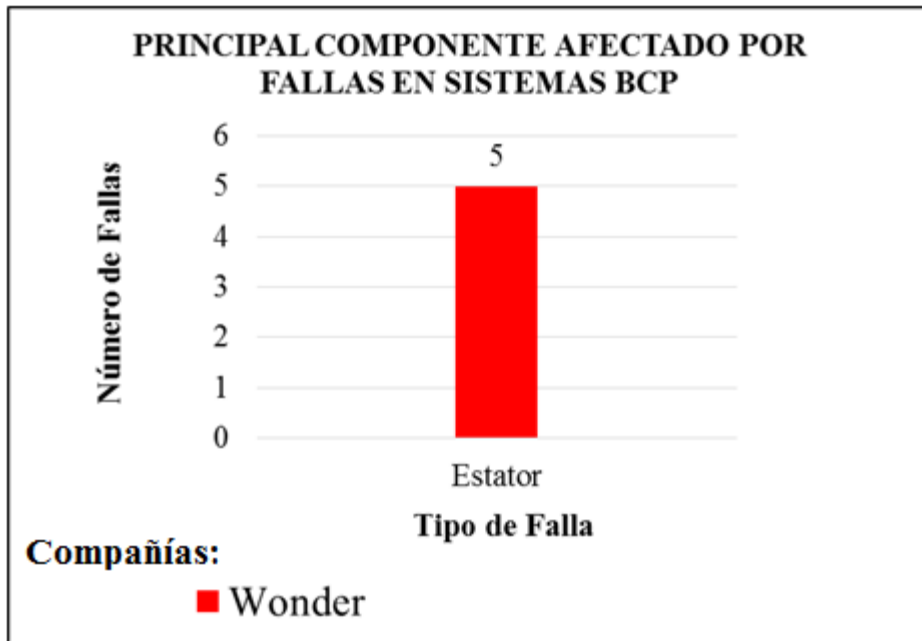


Del total histórico de fallas Campo Zafír, el 46,2% pertenecen al sistema BES, todas de la compañía Generic (gráfico 130).

De esta compañía, 2 fallas fueron prematuras una ocurrió el mismo día por una mala instalación y la otra a los 12 días de operación, ambas fallas fueron de tipo mecánico por golpes en el cable MLE que finalmente ocasionó falla eléctrica, otras dos fallas fueron causales asociadas al equipo, una en el cable MLE el cual por altas temperaturas se derritió su coraza ocasionado fase a tierra con un tiempo de operación de 129 días y la otra falla asociada al equipo fue a los 1094 días de funcionamiento, por un desbalance de fases y bajo aislamiento en el motor (aterizado).

Otra de las fallas fue causal asociada al yacimiento, la bomba salió en malas condiciones debido al manejo de arena. Por último en el 2016 se reportó una falla la cual aún está sin determinar debido a que el equipo aún se encuentra en fondo de pozo sin extraer.

**Gráfico 132.** Principal componente afectado en las fallas según compañía proveedora en equipos del sistema BCP, histórico.



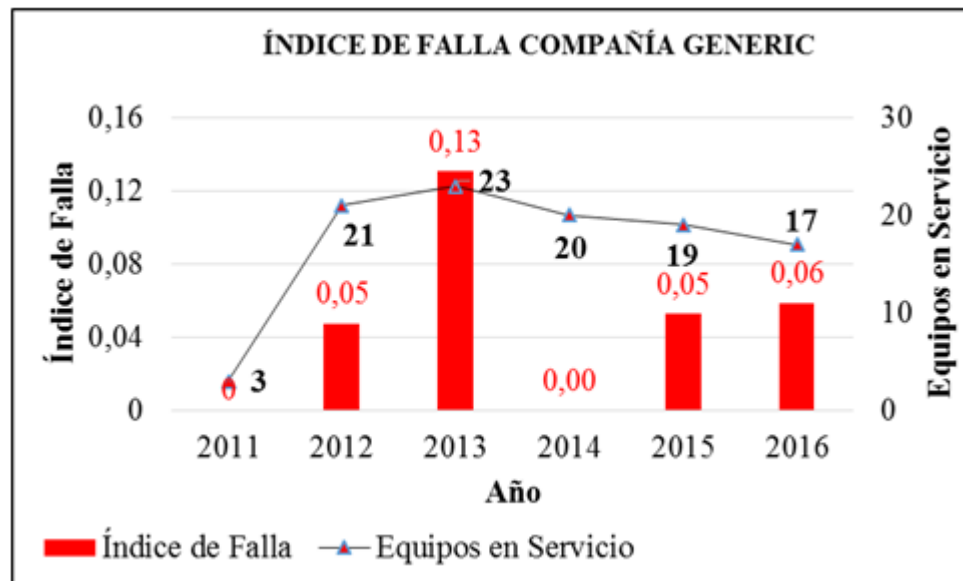
En cuanto a las seis fallas en los equipos del sistema BCP de la compañía Wonder (gráfico 131), una de ellas con 1233 días de operación, se encuentra sin determinar debido a que el pozo no se ha intervenido y en las otras cinco (628, 922, 1081, 864,

y 681 días de operación) el principal componente afectado fue el estator por desprendimiento y daños en el elastómero, en cuatro de estas cinco uno de las principales causas fue la desconexión de varilla de bombeo.

Los equipos del sistema BMH Campo Zafír solo han reportado una falla, la cual a la fecha de este estudio estaba sin determinar ya que al equipo no se le había realizado la extracción.

### 7.2.9. IF histórico por proveedor.

**Gráfico 133.** IF histórico y número de equipos operando en Campo Zafír, compañía Generic.



Como lo muestra el gráfico 132, esta compañía inicio instalación de equipos a partir del año 2011, en el cual no se reportaron fallas en el equipo de fondo, al año 2012 los equipos en funcionamiento aumentaron en un 600%, así mismo su IF de 0 paso a ser 0,05 pues se presentó una falla prematura de tipo mecánico, afectando el cable MLE por golpes el mismo día de su instalación.

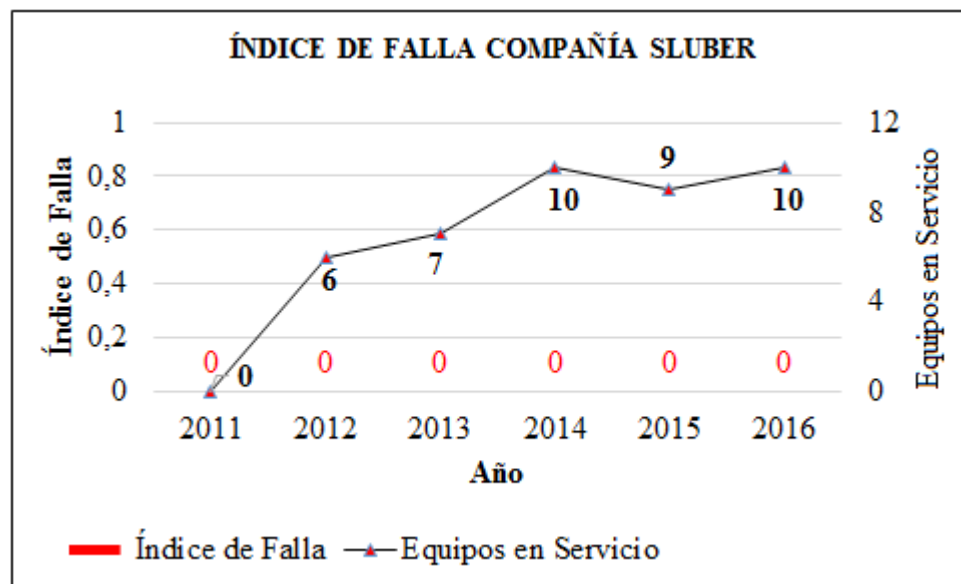
Para el año 2013 los equipos en funcionamiento de esta compañía fue el 9,5% valor mucho menor que la tendencia de los años anteriores, en este año su IF tuvo el valor más elevado de 0,05 paso a 0,13 pues tres de sus equipos presentaron fallas una de tipo prematuro afectando directamente el cable MLE el cual generó

desbalance de fases y bajo aislamiento en el motor, otra falla causal asociada al equipo a los 129 días y otra falla causal asociada al yacimiento a los 674 días de operación.

En el año 2014 los equipos operando de esta compañía disminuyeron a 20 sin embargo no se reportó falla alguna, en el año 2015 los equipos en funcionamiento eran 19 y su IF subió a 0,05 por una falla asociada directamente al equipo afectando el motor por desbalance de fases y bajo aislamiento.

En el año 2016 con 17 equipos operando y una falla reportada, hizo que su IF fuera de 0,06, sin embargo, a la fecha de este estudio esta falla estaba sin determinar ya que el equipo de fondo no se había intervenido.

**Gráfico 134.** IF histórico y número de equipos operando en Campo Zafír, compañía Sluber.



En campo Zafír como lo muestra el gráfico 133, los equipos de la compañía Sluber instalados en este campo fueron pocos y no reportaron fallas, sus primeras instalaciones en este campo las realizaron a partir del 2012, el número de equipos máximo funcionando en este campo fue de 10 en los años 2014 y 2016.

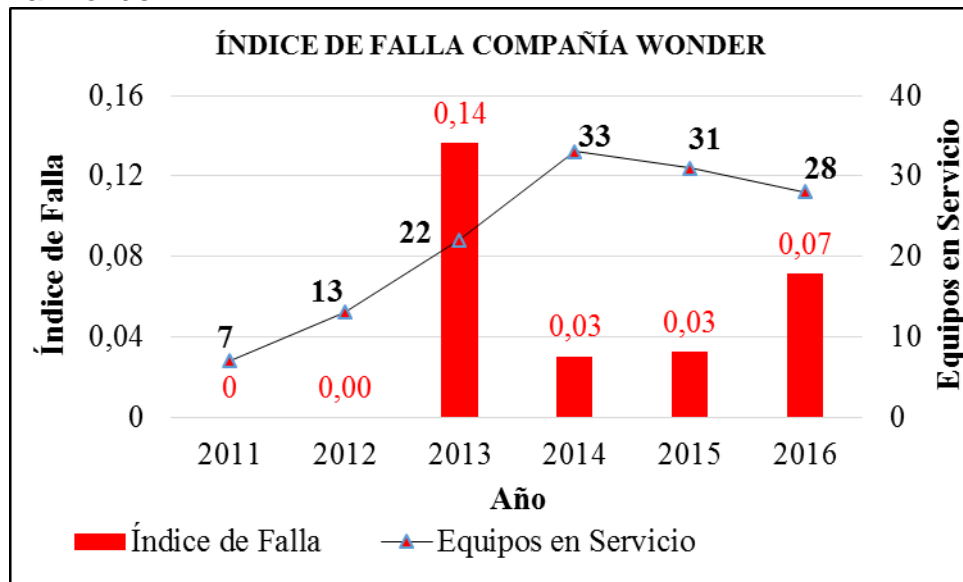
La compañía Wonder inicio instalaciones de equipos a partir del año 2011, en este año contaba con 7 equipos operando y ninguna falla reportada, al año 2012 el número de equipos corriendo aumentó en un 86% y al igual que en el año anterior no

se tuvo registro de alguna falla por lo tanto hasta ese año su IF fue de cero (gráfico 134).

En el año 2013 el número de equipos en servicio de esta compañía siguió en aumento de 13 pasó a 22 equipos en funcionamiento y su IF también aumentó a 0,14 este año fue uno de los más críticos en cuanto a fallas para esta compañía, pues se presentaron tres fallas directamente asociadas al equipo de fondo, todos pertenecientes al sistema BCP.

En el año 2014 el número de equipos en operación de esta compañía aumentó a 33 mientras que su IF disminuyó a 0,03 con una falla directamente asociada al equipo de fondo, al año 2015 el IF se mantuvo igual mientras que el número de equipos disminuyó a 31, la falla reportada en ese año está sin determinar, debido a que el pozo al 30 de septiembre del 2016 se encontraba sin intervenir, en el año 2016 esta compañía tenía 26 equipos en funcionamiento y su IF aumentó a 0,07 debido a dos fallas reportadas una en equipo del sistema BCP y otra en equipo del sistema BMH esta última aún se encuentra sin intervenir.

**Gráfico 135.** IF histórico y número de equipos operando en Campo Zafír, compañía Wonder.



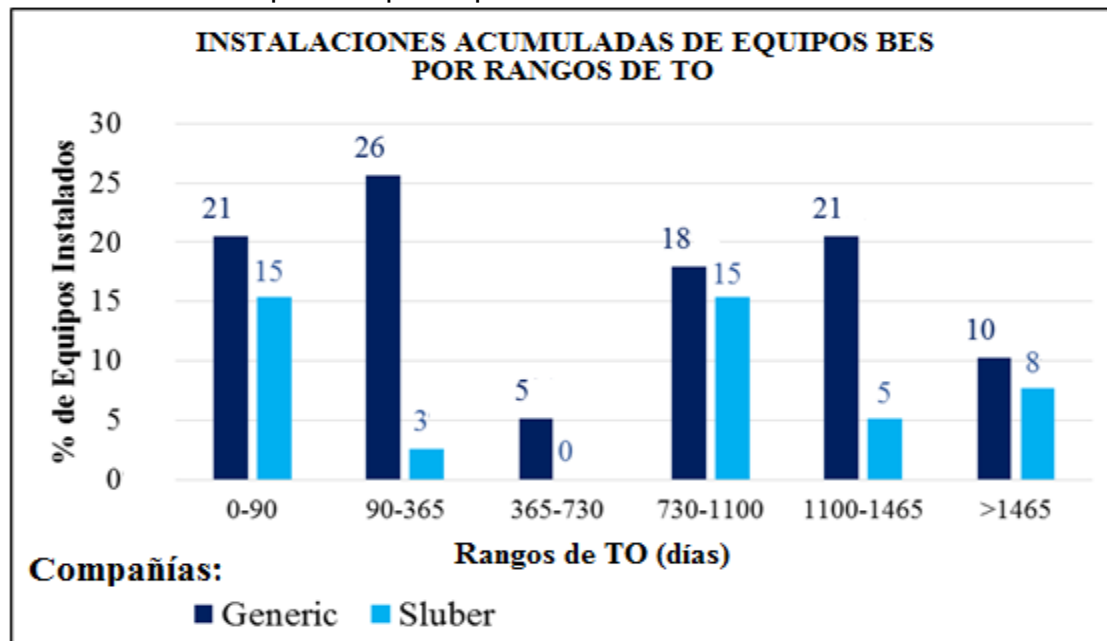
**7.2.10. Tasa de instalaciones acumuladas por proveedor de acuerdo al rango de TO alcanzado.** De acuerdo al gráfico 135, de las instalaciones realizadas por la compañía Generic en Campo Zafír, el 21% no sobrepasaban los 90 días, el 26%



sobrepasó los 90 días pero no superaban el año de funcionamiento, solo el 5% se encontraban entre el año y los dos años de operación, el 18% estaba entre los 730 y los 1100 días y un buen porcentaje (31%) al 30 de septiembre del 2016 ya sobrepasaban al periodo de desgaste operativo (1100 días) e incluso un 10% alcanzaron TO mayores a los cuatro años.

De la compañía Sluber, el 15% de sus instalaciones no sobrepasaron los 90 días de operación, el 3% se encontraba entre los 90 y los 365 días de funcionamiento, el 15% estaba entre los dos años y los 1100 días, y el 13% ya sobrepasaban los 1100 días e incluso el 8% ya tenían tiempos de operación mayores a los cuatro años.

**Gráfico 136.** Número histórico de equipos instalados en Campo Zafír de acuerdo a los TO alcanzados por compañía proveedora de sistemas BES.

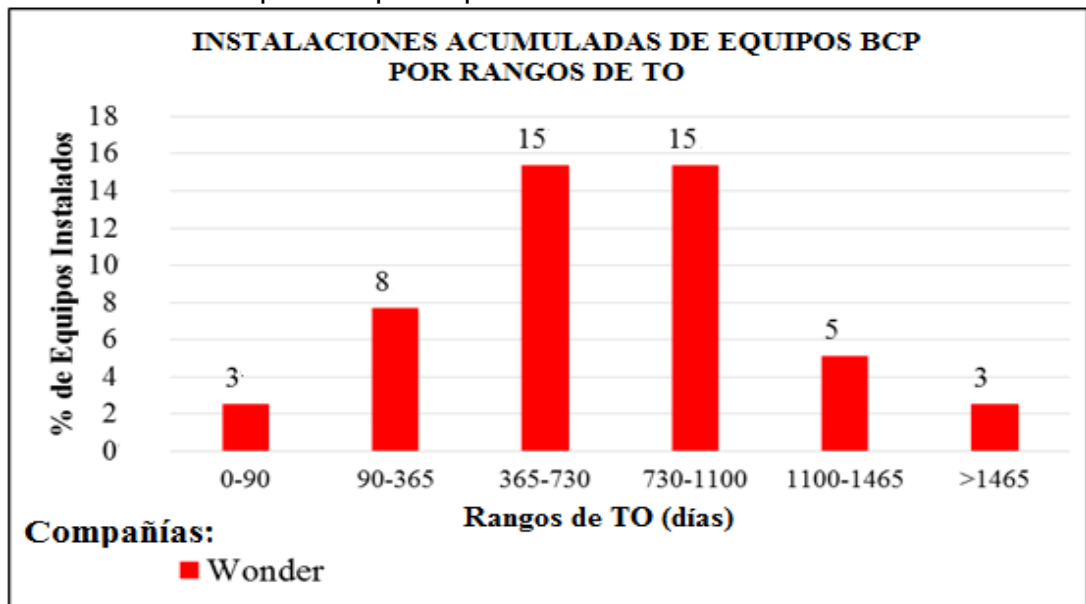


Como lo muestra el gráfico 136 todos los equipos del sistema BCP instalados pertenecen a la compañía Wonder, de la cual el mayor porcentaje de sus equipos instalados tuvieron TO entre el año y los 1100 días, el 8% superó los 1100 días de funcionamiento y solo el 3% superó los cuatro años.

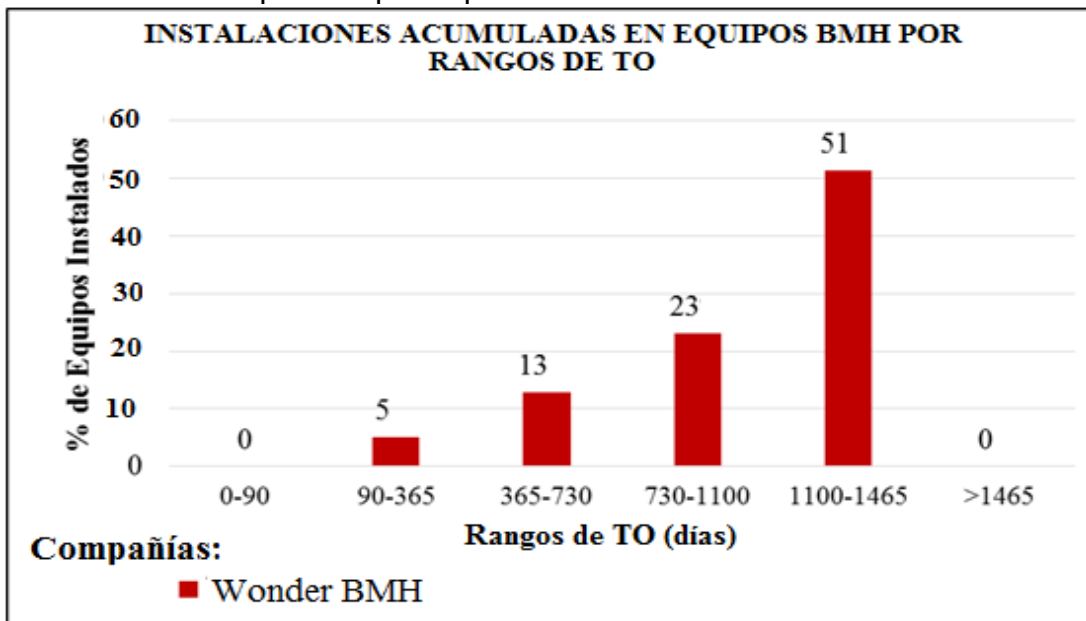
Al igual que en los equipos PCP, todas las instalaciones de los equipos de fondo en Campo Zafír fueron realizadas por la compañía Wonder (gráfico 137), donde todos sus equipos superaron los 90 días, solo el 5% no sobrepasaba el año de funcionamiento, más del 50% presento TO entre los 730 y los 1100 días. A la fecha

de este estudio ningún equipo del sistema BM superaba los cuatro años de funcionamiento debido a que sus primeras instalaciones se realizaron a partir del año 2013.

**Gráfico 137.** Número histórico de equipos instalados en Campo Zafír de acuerdo a los TO alcanzados por compañía proveedora de sistemas BCP

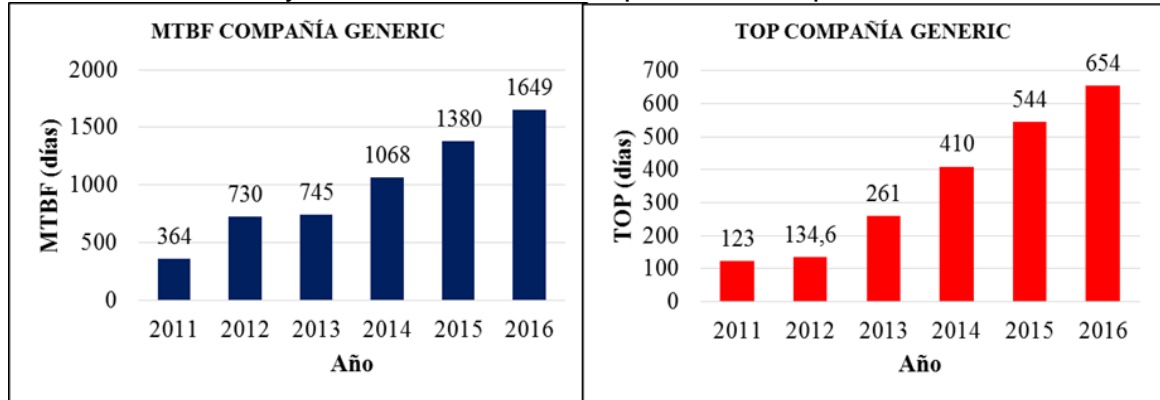


**Gráfico 138.** Número histórico de equipos instalados en Campo Zafír de acuerdo a los TO alcanzados por compañía proveedora de sistemas BMH.



### 7.2.11. MTBF y TOP histórico por proveedor.

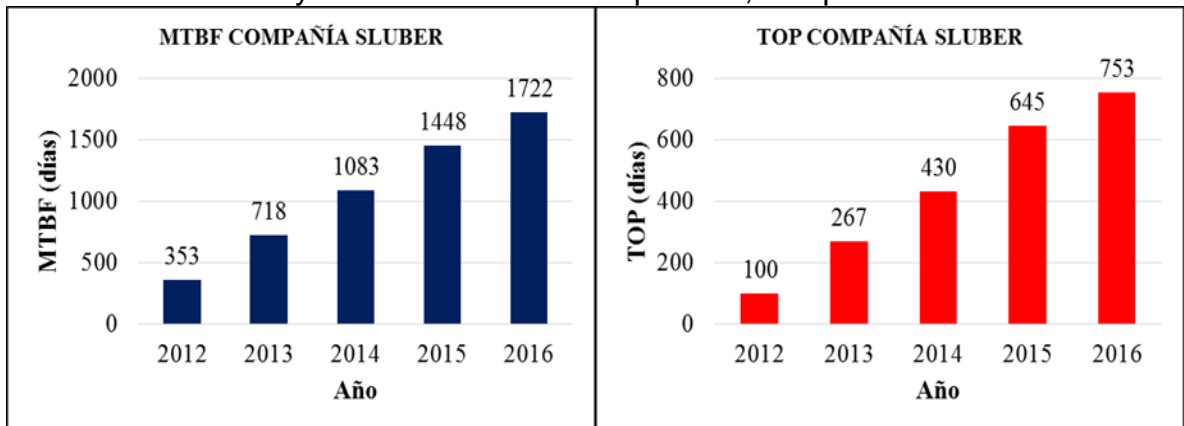
**Gráfico 139.** MTBF y TOP histórico en Campo Zafír, compañía Generic.



De acuerdo al gráfico 138, el MTBF el año 2013 fue un punto crítico ya que en este año este valor tuvo muy bajo incremento (solo de 15 días), esto concuerda con el análisis de fallas realizado anteriormente, donde se destacaba el año 2013 como el año donde más eventos de fallas se presentaron en equipos de la compañía Generic.

Al observar el gráfico 138, del TOP, como año crítico tenemos el 2012, aumento muy poco con respecto a los demás años, esto porque la mayoría de nuevas instalaciones se realizaron en este año, por lo tanto estos nuevos TO disminuyeron el valor promedio general.

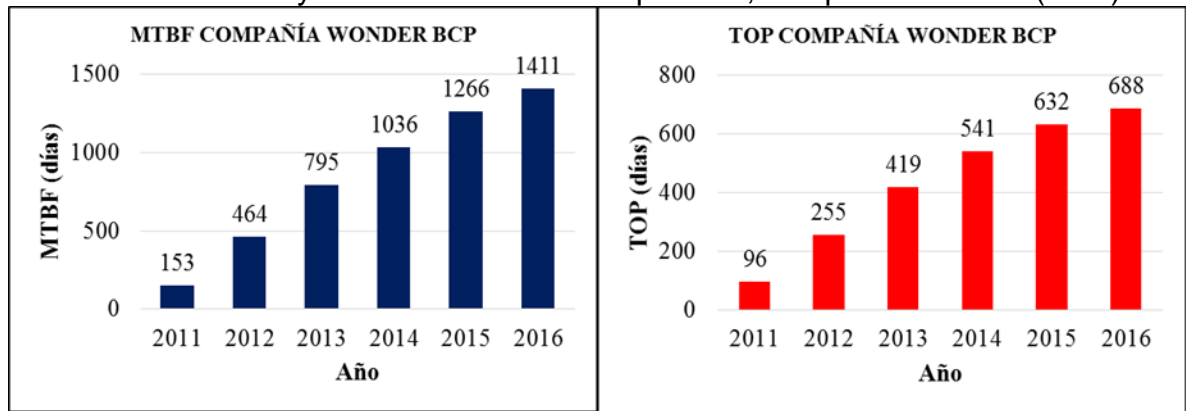
**Gráfico 140.** MTBF y TOP histórico en Campo Zafír, compañía Sluber.



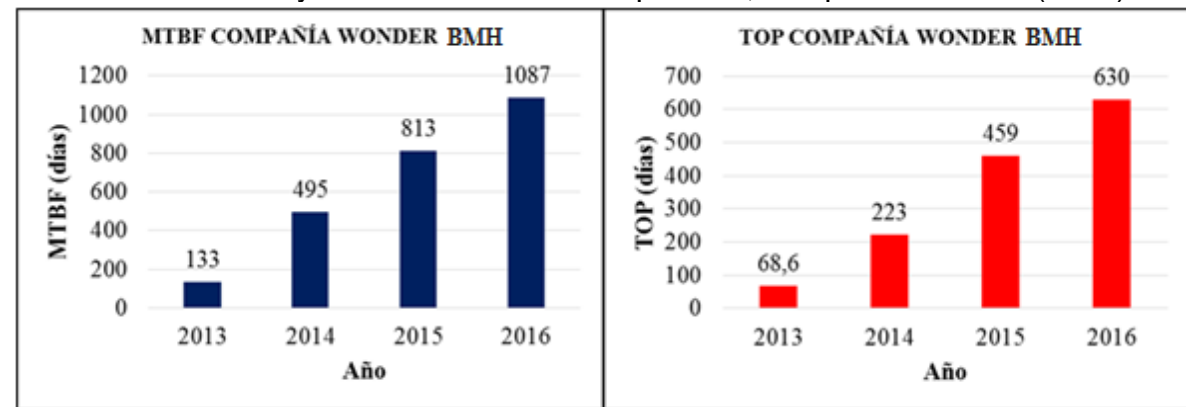
Los indicadores de la compañía Sluber tuvieron un comportamiento casi que constante en el MTBF (gráfico 140), se debió a que en ninguno de los años se presentaron fallas en los equipos de esta compañía y en los TO tampoco se obtuvieron puntos críticos ya que las instalaciones se realizaron de una manera uniforme a través de los años.

Lo anterior favoreció que estos indicadores alcanzaran tiempos muy altos hasta el año 2016.

**Gráfico 141. MTBF y TOP histórico en Campo Zafír, compañía Wonder (BCP).**



**Gráfico 142. MTBF y TOP histórico en Campo Zafír, compañía Wonder (BMH).**



Los indicadores de la compañía Wonder, en los equipos BCP no presentan variaciones abruptas (gráfico 140), estos equipos alcanzaron TO altos y todas las fallas reportadas tenían tiempos mayores a los 620 días y en los equipos BMH (gráfico 141), solo se reportó una falla en el año 2016 que aún no se ha podido

determinar porque el equipo no se ha intervenido, lo que genera que el MTBF tenga aumentos normales y favorables.

En cuanto a los valores de TOP, tampoco se observan puntos críticos por ende las nuevas instalaciones fueron realizadas de manera uniforme con los años.

### 7.3.RESULTADOS COMPARATIVOS Y POZOS EN ALERTA, CAMPO ZETA

**7.3.1. Índice MTBF por Compañía.** La tabla 9, muestra el comparativo entre los valores de MTBF reales por compañía proveedora del equipo de fondo, obtenidos al 30 de septiembre del año 2016 y los valores de MTBF ideales, estos son los días que el equipo de fondo suministrado por la compañía debería operar, si el funcionamiento del equipo se diera sin interrupciones por causa de fallas en sus componentes.

**Tabla 9.** Comparativo entre MTBF real e ideal por Compañía, Campo Zeta.

Compañía	Tipo ALS	MTBF IDEAL (días)	MTBF REAL (días)	% Ajuste MTBF
Bortx	BES	1152	949	82
Novotec	BES	877	658	75
Generic	BES	2823	1974	70
Sluber	BES	2759	1893	69
Equals	BCP	1465	1135	77
Wonder	BCP	2777	1415	51

El % MTBF indica la cercanía que tiene este valor real con el ideal, siendo 100% el valor óptimo de comportamiento de los equipos respecto a las fallas.

**7.3.2. Pozos en riesgo por TO según MTBF.** De acuerdo a los cálculos realizados, se obtienen datos que son mostrados en la tabla 10, donde se comparan los TOP de cada compañía, el valor calculado del MTBF para los equipos y el límite MTBF el cual tiene un margen de confianza del 10%.

**Tabla 10.** MTBF límite por Compañía, Campo Zeta.

Compañía	TOP (días)	MTBF (días)	Límite: 10% MTBF (días)
Generic	880	1974	1777
Sluber	695	1893	1704
Novotec	407	658	592
Bortx	618	949	854
Wonder	753	1415	1274
Equals	644	1135	1020

Por medio de la base de datos se identificaron los pozos donde los TO superaban los tiempos MTBF límites como se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11.** Pozos en riesgo por MTBF límite, Campo Zeta.

DATOS GENERALES			
Pozo	Compañía	Fecha de Corrida	TO (días)
Z-032	Generic	19-Jun-10	2369
Z-068	Generic	2-Sep-10	2220
Z-055	Generic	4-Sep-10	2218
Z-056	Generic	16-Sep-10	2206
Z-071	Generic	27-Sep-10	2195
Z-065	Generic	9-Jan-16	2115
Z-094	Generic	18-Dec-10	2113
Z-008	Generic	6-Aug-11	2070
Z-073	Generic	25-Apr-14	2062
Z-005	Generic	10-Feb-11	2059
Z-172	Generic	31-Aug-11	1857
Z-018	Sluber	13-Feb-11	2056
Z-041	Sluber	6-Feb-11	2063
Z-057	Sluber	30-Sep-10	2192
Z-089	Sluber	10-Dec-10	2121
Z-170	Sluber	31-Jan-12	1704
Z-085	Novotec	5-Jan-15	634
Z-158	Novotec	29-Dec-14	641
Z-258	Novotec	7-Dec-14	663
Z-449	Novotec	17-Feb-15	591
Z-450	Novotec	22-Jan-15	617
Z-452	Novotec	24-Jan-15	615

Pozo	Compañía	Fecha de Corrida	TO (días)
Z-464	Novotec	10-Feb-15	598
Z-039	Bortx	24-Feb-14	949
Z-184	Bortx	26-Feb-14	947
Z-06	Wonder	15-Jun-10	2299
Z-075	Equals	4-Sep-13	1122
Z-084	Equals	27-May-13	1222
Z-102	Equals	29-Nov-13	1036
Z-175	Equals	15-Dec-13	1020
Z-259	Equals	26-Jun-13	1192
Z-273	Equals	3-Aug-13	1154
Z-301	Equals	21-Aug-13	1136
Z-306	Equals	16-Aug-13	1141
Z-307	Equals	28-Aug-13	1129

De acuerdo a los valores límite de MTBF en campo Zeta existen 35 pozos en alarma por posibles fallas debido a sus TO, 25 correspondientes a sistemas BES y 10 BCP. De los 35 pozos, 11 tienen equipos de fondo pertenecientes a la compañía Generic, 5 de la compañía Sluber, 7 de la compañía Novotec, 2 de la compañía Bortx, 1 de la compañía Wonder y 9 de la compañía Equals.

#### 7.4. RESULTADOS COMPARATIVOS Y POZOS EN ALERTA, CAMPO ZAFÍR

**7.4.1. Índice MTBF por Compañía.** La tabla 12, muestra el comparativo entre los valores de MTBF reales por compañía proveedora del equipo de fondo, obtenidos al 30 de septiembre del año 2016 y los valores de MTBF ideales, estos son los días de operación que la compañía debería alcanzar, si el funcionamiento del equipo se diera sin interrupciones por causa de fallas en sus componentes.

**Tabla 12.** Comparativo entre MTBF real e ideal por Compañía, Campo Zafír.

Compañía	Tipo ALS	MTBF IDEAL (días)	MTBF REAL (días)	% Ajuste MTBF
Sluber	BES	1722	1722	100
Wonder BMH	BMH	1292	1087	84
Generic	BES	2099	1649	79
Wonder BCP	BCP	1888	1411	75

El % MTBF indica la cercanía que tiene este valor real con el ideal, siendo 100% el valor óptimo de comportamiento de los equipos respecto a las fallas.

**7.4.2. Pozos en riesgo por TO según MTBF.** De acuerdo a los cálculos realizados, se obtiene la tabla 13, donde se muestran los TOP de cada compañía, el valor calculado del MTBF para los equipos y el límite MTBF con margen de confianza del 10%.

**Tabla 13.** MTBF límite por Compañía, Campo Zafír.

Compañía	TOP (días)	MTBF (días)	Límite: 10% MTBF (días)
Generic	654	1649	1483
Sluber	753	1722	1549
Wonder BCP	688	1411	1270
Wonder BMH	630	1087	978

Por medio de la base de datos se identificaron los pozos de campo Zafír que han alcanzado TOP mayores a los tiempos MTBF límites, y que pueden ser observados en la tabla 14.

**Tabla 14.** Pozos en riesgo por MTBF límite, Campo Zafír.

DATOS GENERALES			
Pozo	Compañía	Fecha de Corrida	TO (días)
Zá-A14	Generic	19-Ene-12	1716
Zá-O10	Generic	28-Dec-11	1738
Zá-O14	Generic	9-May-12	1605
Zá-O21	Generic	3-Sep-12	1488
Zá-O22	Generic	15-Ene-13	1483
Zá-A13	Sluber	13-Ene-12	1722
Zá-A19	Sluber	12-Jun-12	1571
Zá-O13	Sluber	28-May-12	1586
Zá-A33	Wonder BCP	18-Oct-12	1443
Zá-7	Wonder BCP	14-Dic-11	1752
Zá-A3	Wonder BMH	22-Nov-13	1043
Zá-A4	Wonder BMH	7-Dic-13	1028



Pozo	Compañía	Fecha de Corrida	TO (días)
Zá-A5	Wonder BMH	26-Dic-13	1009
Zá-A83	Wonder BMH	12-Nov-13	1053
Zá-A84	Wonder BMH	25-Dic-13	1010
Zá-O5	Wonder BMH	15-Oct-13	1081
Zá-O20	Wonder BMH	9-Oct-13	1087

De acuerdo a los valores límite de MTBF en campo Záfir hay 17 pozos en alarma por sus TO, 8 correspondientes a sistemas BES, 2 de BCP y 6 pozos con sistema BMH.

De los 17 pozos, 5 tienen equipos de fondo pertenecientes a la compañía Generic, 3 de la compañía Sluber, 2 de la compañía Wonder BCP y 6 de la compañía Wonder BMH.

## 8. CONCLUSIONES

Se recopiló la información de 509 pozos en total, 409 pertenecientes a campo Zeta y 100 pozos de campo Záfir, de los cuales se llevó a cabo un análisis de 161 fallas reportadas en los equipos de fondo, todos estos pozos producen por medio de SLA.

A través de la base de datos, se identificaron en Campo Zeta 35 pozos en alarma por sus tiempos de operación, 71,4% correspondientes a sistemas BES y el 28,6% equipos BCP. En campo Záfir, se encontraron 17 pozos en alarma por sus tiempos de operación, el 47,1% equipos del sistema BES, el 11,7% de BCP y 41,2% en equipos con sistema BMH.

De acuerdo al análisis estadístico las fallas que más se presentaron en Campo Zeta en los equipos con sistema BES, son daños en el cable MLE con el 32% y Motor Aterrizado con igual porcentaje (32%), seguido de rupturas en los ejes de sus componentes con el 26% (11% rupturas en los ejes de las bombas, 9% rupturas en los ejes del intake y el 6% rupturas en los ejes de los protectores). En los equipos del sistema BCP el principal componente afectado por las fallas es el estator en un 64% de las fallas, presentando desgarre en el elastómero principalmente; seguido por la varilla de bombeo en un 24% de las fallas, por desconexión en las roscas.

En Campo Záfir las fallas más presentadas en equipos con sistema BES, son al igual que en campo Zeta daños en el cable MLE (80%), seguido por motor aterrizado en un 20%. En los equipos con sistema BCP, en este campo en el 100% de las fallas el principal componente afectado fue el estator por desprendimiento y daños en el elastómero. Como causa de desconexiones en varilla de bombeo, para los equipos BMH, sólo se reportó una falla que a la fecha de este estudio se encontraba sin intervenir.

Uno de los parámetros principales en los cuales se centró este estudio fue el índice de MTBF, en Campo Zeta se evidenció que la compañía proveedora de equipos SLA tipo BES que mejor comportamiento tuvo a través de los años fue Novotec, la cual alcanzó valores con mayor porcentaje (97,6%) de cercanía al valor ideal, sólo superada por la compañía Bortx, sin embargo, este dato no es tan significativo debido a que esta compañía solo realizó las instalaciones de tres equipos en Campo Zeta. En cuanto a las compañías proveedoras de los equipos con sistemas BCP, la que mejor comportamiento tuvo en este índice fue la compañía Equals con un 89,9% de cercanía al valor ideal, mientras que la compañía Wonder tuvo sólo un 55%.

En Campo Záfir, la compañía que mejor comportamiento tuvo del indicador MTBF fue Sluber, donde su valor de MTBF corresponde al 100% del valor ideal, pues de esta compañía no se reportó ninguna falla, aunque cabe resaltar que sus instalaciones fueron pocas en comparación a Generic, la cual tuvo un 78,6% de cercanía al valor ideal de MTBF. En cuanto a los equipos BCP todos son de la compañía Wonder la cual en este campo mejoró su indicador con un 74,7% de cercanía al valor ideal.

A la fecha de este estudio y basándonos en los resultados de los TOP, en Campo Zeta la compañía que más alto tuvo este valor fue Generic, seguido de Wonder, sin embargo era de esperarse ya que las primeras instalaciones en el campo fueron realizadas por estas dos compañías, no obstante cabe resaltar el alto valor obtenido en los equipos de la compañía Novotec (primeras instalaciones en el año 2014) el cual difiere en menos de 300 días de la compañía Sluber aun cuando esta última realizó sus primeras instalaciones cinco años antes (en el año 2009).

En Campo Záfir el mayor TOP lo tiene la compañía Sluber, a pesar de iniciar instalaciones un año después que la compañía Generic, sin embargo, cabe resaltar que las diferencias de este indicador, en este campo no tiene variaciones significativas entre las tres compañías proveedoras del equipo de fondo.

De las fallas totales en Campo Zeta, el mayor porcentaje (26%) ocurrieron en el año 2014, seguido del año 2013 con el 21%, esto era de esperarse debido a que, tanto en el año 2013 como en el 2014, nuevas compañías como Novotec, Equals y Bortx iniciaron instalaciones en este campo, así mismo el IF general de campo Zeta tuvo su mayor valor en estos mismos dos años con un índice de 0,13.

En Campo Záfir el mayor porcentaje de fallas (50%) se reportaron en el año 2013, esto coincide con los valores de IF, los cuales fueron mayores en ese año tanto para equipos del sistema BCP (0,38) como para los equipos del sistema BES (0,1).

Al analizar por separado cada uno de los dos SLA que tiene Campo Zeta, el año crítico en fallas para el sistema BES fue el 2013 con el 23,3% seguido por el año 2014 con el 21,3% de las fallas totales reportadas en este sistema, esto coincide con el balance general descrito en el punto anterior. Sin embargo, el mayor IF de este sistema se presentó en el año 2009 con un índice de 0,25, seguido del 2010 con 0,17, no obstante, estos años fueron importantes en cuanto al número de nuevas instalaciones realizadas, así que fue después del año 2011 que se estabilizó un poco este indicador, por ende también se considera alto el índice obtenido en el año 2013 de 0,13 con respecto a los demás años.

Para el sistema de bombeo por cavidades progresivas el año crítico fue el 2014 con el 35,5% de las fallas totales reportadas en este sistema de levantamiento, este mismo año reportó el índice de falla más alto con 0,33 seguido del año 2016 con 0,24.

El mayor porcentaje de fallas presentadas en Campo Zeta fueron de tipo causal asociadas directamente al equipo con un 38%, seguido por las fallas prematuras con un 23%, fallas por desgaste operativo con un 17%, fallas causales asociadas al yacimiento con un 11%, un 8% de las fallas a la fecha de este estudio se encontraban en fondo de pozo sin extraer y sólo un 3% de las fallas no fueron asociadas a componentes del equipo de fondo.

En Campo Záfir, el mayor porcentaje de fallas (53,8%) fueron de tipo causal asociadas al equipo de fondo, seguidas por un 23,1% de fallas que a la fecha de este estudio los equipos se encontraban sin intervenir, un 15,4% fueron fallas de tipo prematuro y 7,7% fallas causales asociadas al yacimiento.

En Campo Zeta, según el análisis estadístico, el mayor porcentaje de fallas ocurrieron en el rango de tiempo de los 0 – 90 días, con un 25% del total de las fallas, seguido por el rango de tiempo >1100 días con un 22,3%. Esto concuerda con el gráfico de bañera donde se afirma que el mayor número de fallas en los equipos se espera ocurran durante el periodo prematuro y en el periodo de desgaste operativo del equipo, que en nuestro estudio va de 0 a 90 días (prematuro) y el rango de tiempos mayores a los 1100 días (desgaste operativo) respectivamente.

También se evidenció que la mayor cantidad de fallas (54,3%) ocurrieron en equipos con caudal teórico entre los 4000 y 8000 BFPD, seguido por los equipos con caudales entre los 2000 y 4000 BFPD.

En Campo Záfir por las pocas fallas reportadas no se evidencia este mismo comportamiento, sino que los rangos con mayor cantidad de fallas son entre 365-730 días y 730-1100 días, cada uno de estos rangos con el 30,76% de las fallas totales. En cuanto al caudal teórico, la mayor cantidad de fallas (46%) ocurrieron en equipos con caudales menores a los 2000 BFPD, seguido con un 39% en caudales entre los 2000 y los 4000 BFPD, por último sólo el 15% ocurrieron en equipos con caudales mayores a los 4000 BFPD.

En Campo Zeta, la compañía Generic reportó un mayor número de fallas en el año 2013 (25%), así mismo su IF en ese año fue el segundo más alto con 0,11, solo

superado por el 0,33 que reportó en el año 2009, el cual por ser en el primer año de sus instalaciones no es tan significativo. El mayor porcentaje de las fallas en esta compañía son de tipo causal asociado al equipo de fondo (48,3%), seguido de las fallas de tipo prematuro con un 20%, el principal componente afectado en estos equipos es el motor por fase a tierra con un 33,3%, seguido del cable MLE en un 25% por daños mecánicos que derivaron en fallas eléctricas.

En Campo Záfir, la compañía Generic, presentó el mayor porcentaje de sus fallas en el año 2013 (50%), de igual manera el mayor IF presentado fue en ese mismo año con un valor de 0,13. El mayor porcentaje de fallas en los equipos de esta compañía fueron de tipo causal asociadas al equipo de fondo y de tipo prematuro, ambas con un porcentaje de 33,3%, el principal componente afectado fue el cable MLE en un 66,6% de las fallas, al igual que en campo Zeta los daños en los cables MLE, fueron de tipo mecánico derivando una falla de tipo eléctrico.

En Campo Zeta, la compañía Sluber reportó el 24% de sus fallas en el año 2013 igual porcentaje en el 2014, mientras que su IF fue mayor en el 2013 con 0,17 seguido del año 2012 con 0,16. La mayor cantidad de fallas presentadas en los equipos fueron de tipo prematuro con un 31,5% seguido de las fallas causales asociadas al yacimiento con un 29%, donde el 13,1% fueron por corrosión y el 15,9% por presencia de sólidos provenientes de la formación. El principal componente afectado en estos equipos fue la bomba con un 52,6% principalmente daños causados por corrosión y arenamiento tanto en las etapas, como en la descarga y el intake.

En Campo Záfir, la compañía Sluber no reportó ninguna falla en sus equipos de fondo, por ende, su IF en todos los años fue igual a cero.

En Campo Zeta, el 38% de las fallas reportadas en la compañía Wonder fueron durante el año 2014, en ese mismo año tuvo su mayor IF con 0,54 seguido del año 2015 con 0,46. La mayor cantidad de fallas reportadas en los equipos de esta compañía son por desgaste operativo y las fallas de tipo causal asociadas al equipo, con un 37,8% cada uno y el principal componente afectado por fallas fue el estator con un 62,1% donde en casi todos los casos se encontró desgarre de elastómero.

En Campo Záfir, la compañía Wonder al igual que la compañía Generic, reportó la mayor cantidad de fallas (42,8%) durante el año 2013, esto coincide con su mayor valor de IF el cual en ese año fue de 0,14. La mayor cantidad de fallas reportadas fueron de tipo causal asociadas al equipo y el principal componente afectado fue el estator por desgarre de elastómero.

En la compañía Equals, el 57% de las fallas reportadas en Campo Zeta, se presentaron en el año 2016, esto coincide con su mayor valor de IF que se reportó en ese mismo año con 0,21. El mayor porcentaje (75%) de las fallas fueron de tipo causal asociadas directamente al equipo de fondo y el principal componente afectado por fallas fue el estator, por desgarre de elastómero.

En Campo Zeta, la compañía Novotec reportó el 100% de sus fallas en el año 2016, esta es la compañía con mejores indicadores, de igual manera su IF fue de 0,05 en este año. El 75% de las fallas de esta compañía fueron de tipo prematuro y sólo el 25%, causal asociada al equipo de fondo. El principal componente afectado fue el cable MLE.

La compañía Bortx, solo realizó 3 instalaciones en Campo Zeta y reportó una sola falla en el año 2014, en ese mismo año su IF fue de 0,33. La única falla reportada fue de tipo prematura afectando el intake de la bomba con ruptura en su eje.

En Campo Zeta, la compañía Generic tenía la mayor cantidad de sus instalaciones totales 36,2% con TO por encima de los 1100 días, seguido con un 23% en el rango de 730 a 1100 días, la compañía Sluber tenía el mayor porcentaje (23%) de sus instalaciones en el rango de TO entre los 730 y los 1100 días, seguido con un 20% de equipos sobrepasando los 1100 días, de la compañía Wonder el 26,6% de sus equipos BCP sobrepasaron TO mayores a los 1100 días. De la compañía Equals la proporción de sus equipos estaba casi que uniformemente distribuida teniendo sólo un 17,5% por encima de los 1100 días, esto debido a que las instalaciones realizadas por esta compañía iniciaron sólo a partir del año 2013. De la compañía Novotec el 68% de sus instalaciones operaron en el rango de los 730 a los 1100 días, este valor es favorable ya que esta compañía es de las más nuevas pues inició sus primeras instalaciones a finales del año 2014.

En Campo Záfir, la compañía Generic tenía el mayor porcentaje de sus equipos (32%) por encima de los 1100 días de operación, seguido con un 26% de sus instalaciones operaron en tiempo entre los 90 y los 365 días. El mayor porcentaje de instalaciones realizadas por la compañía Sluber, operaron en los rangos de 0-90 días y de 730 a 1100 días, con un porcentaje en cada uno del 15%, seguido con un 13% de instalaciones que sobrepasaron los 1100 días de operación. Los equipos instalados de la compañía Wonder, únicos con sistema BCP en este campo, tuvieron su mayor número en los rangos de tiempos de operación de 365 a 730 y de 730 a 1100 días, con un 15% en cada uno.

Aunque no era uno de los objetivos de este estudio, se realizó la demostración del paso a paso recomendado para sistemas BES en el anexo B y su correspondiente ejemplo en el anexo C, de donde se concluye lo siguiente:

- De los 25 pozos con bombeo Electrosomergible declarados en alarma por sus tiempos de operación en Campo Zeta, en cinco de ellos los motores de fondo presentaban bajo aislamiento en al menos una de sus fases, de los cuales, tres se encontraron aterrizados y los otros dos con desbalance de fases.
- En Campo Zeta se encontró que cinco pozos estaban limitados por variador con consumos de potencia o de corriente por encima del 90% de la capacidad nominal y en otros tres pozos, aunque no se encuentran limitados sus consumos ya superan el 80% de la capacidad para la que fueron fabricados.
- Así mismo, se encontró en Campo Zeta, que cinco pozos estaban limitados por corriente del motor con consumos de corriente por encima del 90% de la capacidad nominal, en uno de ellos también se encontró limitación por potencia del SUT y en otros cuatro pozos sus consumos ya superan el 80% de la capacidad para la que fueron fabricados.
- De los 10 pozos en alarma en campo Zeta con equipos de bombeo por cavidades progresivas, ninguno presentó limitaciones por equipo de superficie.
- De los 8 pozos declarados en alarma por sus tiempos de operación en Campo Záfir, ninguno presentó limitaciones ni anomalías que indicaran mal funcionamiento de sus equipos y de los 2 pozos con sistema de bombeo por cavidades progresivas declarados en alarma en Campo Záfir, no se pudieron obtener los valores de los parámetros de su variador, por lo tanto, no fue posible realizar el paso a paso, para el diagnóstico.

## 9. RECOMENDACIONES

Realizar el seguimiento y control a los pozos, con el fin de identificar los que hayan sobrepasado el límite máximo de valor MTBF, de acuerdo a la compañía fabricante.

En los equipos con sistemas BES Y BCP que sobrepasen el límite máximo de valor MTBF, verificar las mediciones tanto a la entrada como a la salida del Variador, de la siguiente manera:

- Las Mediciones de voltaje Fase – Fase (A-B, B-C y C-A) a la entrada y la salida del VSD, deben estar alrededor de los 480 KVA y los datos deben ser casi iguales.
- Las mediciones de voltaje Fase – Tierra (A-N, B-N y C-N)) a la entrada y la salida del VSD, sean de aproximadamente dos tercios del valor de las mediciones tomadas de voltaje Fase – Fase a la entrada del VSD y que los valores sean casi iguales.
- Las mediciones de corriente (Amperios) de cada una de las fases (A, B, C) a la entrada y a la salida del VSD, no tengan diferencias de los valores registrados entre sí.

En los equipos con sistema de bombeo BES que sobrepasen el límite máximo de valor MTBF, verificar las mediciones a la entrada del motor, de la siguiente manera:

- Verificar que las mediciones de voltaje Fase – Fase (A-B, B-C y C-A) a la entrada del motor sean casi iguales.
- Verificar que las mediciones de voltaje Fase – Tierra (A-N, B-N y C-N)) a la entrada del motor, sea de aproximadamente dos tercios del valor de las mediciones tomadas de voltaje Fase – Fase a la entrada del motor y que los tres valores sean casi iguales.
- Verificar que las mediciones de corriente (Amperios) de cada una de sus fases (A, B, C) a la entrada del motor sean iguales entre sí.

Si al verificar estos parámetros, se cumplen las condiciones nos indica que el motor tiene buen aislamiento y sus fases se encuentran balanceadas.

En los equipos con sistema BES que no cumplan las condiciones óptimas planteadas anteriormente, se recomienda verificar aislamiento y balance de fases.



En los equipos con sistema de bombeo Electrosumergible que sobrepasen el límite máximo de valor MTBF, se recomienda realizar los cálculos de potencias, corrientes y limitaciones principales:

Limitante por potencia del Variador.

Limitante por corriente del Variador.

Limitante por Potencia del transformador elevador SUT.

Limitante por corriente del Motor de fondo.

Cuando un pozo presente alguna de las limitaciones anteriores, no realizar incrementos de frecuencia, ya que esto aumentaría las cargas en voltajes y corrientes en los equipos, poniendo en riesgo los que están trabajando con cargas muy cercanas o por encima de la capacidad nominal.

Cuando un equipo este limitado, dejar que el pozo funcione continuamente, no apagarlo a menos que sea estrictamente necesario, ya que al encender de nuevo se corre un riesgo alto de que el equipo no arranque por sobrecarga.

En pozos con sistema BMH, realizar mantenimientos preventivos cada tres meses en sus equipos de superficie y en los equipos de fondo tomar dinagrama cada tres meses o cuando se realicen incrementos de frecuencia, esto permitirá realizar la respectiva simulación y así determinar el comportamiento tanto de la bomba como de la carga axial de la sarta de varillas.

Verificar niveles de sugerencia de las bombas, que estas se encuentren trabajando con niveles de fluidos por encima de los 100 pies.

Verificar que las bombas trabajen con caudales que se encuentren dentro del rango del cono de eficiencia óptimo según el fabricante. No es conveniente esforzar el equipo a trabajar Ups trust, como tampoco Down trust.

Al realizar una intervención, es recomendable arrancar los pozos con caudales menores al que se encontraba trabajando antes e ir aumentando de manera escalonada la producción.

## 10. BIBLIOGRAFIA

ANH. (2010). Ronda Colombia Llanos Orientales. ANH.

Bonilla Valencia, M. F. (2013). Analisis de Falla de Equipos Electrosumergibles Empleados en el Campo Shushufindi. Quito.

Cooper, M. A., Addison, F. T., Álvarez, R., Coral, M., Graham, R. H., Hayward, S. H., . . . Pulham, A. J. (1995). Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley. Colombia: American

Association of Petroleum Geologists Bulletin.

Gómez , Y., Yoris, F., Rodriguez, J., Portillo, F., & Araujo, Y. (2011). Aspectos hidrodinámicos, estructurales y estratigráficos del Campo Quifa, Cuenca de los Llanos Orientales, Colombia. Bogotá, Colombia: Pacific Energy.

Investopedia, LLC. (2014). Capital Expenditure (CAPEX). (Investopedia, Ask, About.com, & Dictionary.com, Editores) Obtenido de <http://www.investopedia.com/terms/c/capitalexpenditure.asp>

Lowe, W. B., & Trotter, G. L. (2010). Nuevas tácticas para el manejo de la producción. Oilfield Review, Schlumberger.

Mora, L. A. (2006). Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios, Enfoque sistemático Kantiano. Medellin, Colombia: AMG.

Nind, T. E. (1987). Fundamentos de Producción y Mantenimiento de Pzos Petroleros. Ontario, Canadá: Limusa.

Pacific Rubiales Energy. (2015). Obtenido de [gentepacific.pacificrubiales.com.co](http://gentepacific.pacificrubiales.com.co)

Repsol. (2010). Informe Petrolero. España: Información Ciudadana sobre minas y petróleos.

Schlumberger. (2014). Schlumberger Software. Obtenido de OFM Well and Reservoir Analysis Software:  
<http://www.software.slb.com/products/foundation/Pages/ofm.aspx>

Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui. (2011). Sistemas de Levantamiento Artificial. Barcelona, Venezuela: UDO Anzoátegui.

Universidad Nacional Autónoma de México. (2009). <http://www.unam.mx/>. Obtenido de:  
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1089/A6.pdf?sequence=6>

## ANEXOS

### Anexo A. Resumen de fallas ocurridas en el Bloque ZZ, tabuladas.

<b>Cam po</b>	<b>Tipo de Falla</b>	<b>Tipo de Daño</b>	<b>Componente Dañado</b>	<b>Empresa Proveed ora</b>	<b>SL A</b>	<b>Fecha</b>	<b>TO</b>
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Daño MLE	Cable MLE	Generic	BES	28/11/2014	0
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	09/01/2010	0
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	30/03/2011	0
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Sensor Por Bajo Aislamiento	Sensor	Generic	BES	02/01/2011	0
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Sensor Por Bajo Aislamiento	Sensor	Generic	BES	24/12/2012	0
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Sensor Por Bajo Aislamiento	Sensor	Generic	BES	16/01/2010	0
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Sensor Por Bajo Aislamiento	Sensor	Generic	BES	31/12/2010	0
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Daño MLE	Cable MLE	Novotec	BES	04/07/2015	0
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Daño MLE	Cable MLE	Novotec	BES	05/07/2015	0
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Daño MLE	Cable MLE	Novotec	BES	07/11/2015	0
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Daño MLE	Cable MLE	Sluber	BES	13/08/2012	0
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	31/01/2013	1
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Pescado de la Y-Tool	Y - Tool	Generic	BES	18/05/2012	4
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	20/05/2012	5
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Desconexión de Varilla	Varilla de Bombeo	Wonder	BCP	08/08/2011	10
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Motor Aterrizado	Motor	Sluber	BES	27/01/2013	17
Zeta	<b>Falla En Equipo Sin Extraer</b>	Indeterminada_ Equipo sin Extraer	Indeterminado_ Equipo sin Extraer	Sluber	BES	29/06/2016	18

<b>Ca mp o</b>	<b>Tipo de Falla</b>	<b>Tipo de Daño</b>	<b>Componente Dañado</b>	<b>Empresa Proveed ora</b>	<b>SL A</b>	<b>Fecha</b>	<b>TO</b>
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	26/02/2014	18
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Bomba con Eje Roto	Bomba	Generic	BES	16/05/2014	24
Zeta	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Bomba con Restricción por Arenamiento	Bomba	Sluber	BES	01/12/2014	27
Zeta	<b>Falla Prematura Normal</b>	Equipo Mala Condición	Bomba	Wonder	BCP	23/08/2013	33
Zeta	<b>Falla Prematura Normal</b>	Daño MLE	Cable MLE	Generic	BES	09/06/2014	36
Zeta	<b>Falla Prematura Normal</b>	Protector Superior con Eje Roto	Protector Superior	Sluber	BES	26/06/2012	36
Zeta	<b>Falla Prematura Normal</b>	Bomba con Restricción Por Arenamiento	Bomba	Generic	BES	20/11/2010	43
Zeta	<b>Falla No Asociada</b>	Tubería Rota	Ajeno al Equipo de Fondo	Wonder	BCP	25/06/2014	46
Zeta	<b>Falla Prematura Normal</b>	Daño Cable de Fondo	Cable de Potencia	Sluber	BES	07/10/2014	50
Zeta	<b>Falla Prematura Normal</b>	Daño MLE	Cable MLE	Sluber	BES	29/09/2013	52
Zeta	<b>Falla Prematura Normal</b>	Sensor Por Bajo Aislamiento	Sensor	Generic	BES	28/10/2009	55
Zeta	<b>Falla En Equipo Sin Extraer</b>	Indeterminada_ Equipo sin Extraer	Indeterminado_ Equipo sin Extraer	Sluber	BES	08/02/2015	58
Zeta	<b>Falla Prematura Normal</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Estator	Wonder	BCP	30/09/2013	58
Zeta	<b>Falla Prematura Normal</b>	Bomba con Restricción	Bomba	Sluber	BES	24/01/2011	64
Zeta	<b>Falla Prematura Normal</b>	Intake con Eje Roto	Bomba	Bortx	BES	23/05/2014	68
Zeta	<b>Falla Prematura Normal</b>	Intake con Bujes Rotos	Bomba	Sluber	BES	06/12/2014	68
Zeta	<b>Falla Prematura Normal</b>	Bomba con Eje Roto	Bomba	Sluber	BES	14/10/2011	69
Zeta	<b>Falla Prematura Normal</b>	Bomba con Restricción Por Arenamiento	Bomba	Sluber	BES	19/11/2010	69
Zeta	<b>Falla Prematura Normal</b>	Protector con Eje Roto	Protector inferior	Sluber	BES	09/09/2014	72
Zeta	<b>Falla Prematura Normal</b>	Bomba con Eje Roto	Bomba	Sluber	BES	28/06/2014	81
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Bomba con Eje Roto	Bomba	Sluber	BES	18/05/2012	96

<b>Ca mp o</b>	<b>Tipo de Falla</b>	<b>Tipo de Daño</b>	<b>Componente Dañado</b>	<b>Empresa Proveed ora</b>	<b>SL A</b>	<b>Fecha</b>	<b>TO</b>
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Desconexión de Varilla	Varilla de Bombeo	Wonder	BCP	05/01/2012	112
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Mal Acople del Coupling	Bomba	Generic	BES	20/10/2013	114
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Daño MLE	Cable MLE	Generic	BES	24/01/2014	126
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Yacimiento)</b>	Bomba con Restricción por Arenamiento	Bomba	Sluber	BES	09/01/2013	136
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Bomba con Eje Roto	Bomba	Generic	BES	29/05/2013	141
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Protector con Eje Roto	Protector inferior	Sluber	BES	01/01/2014	161
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Yacimiento)</b>	Bomba con Restricción por Arenamiento	Bomba	Generic	BES	04/06/2013	179
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Equals	BCP	22/11/2013	219
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Daño MLE	Cable MLE	Generic	BES	25/09/2011	253
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Bomba con Eje Roto	Bomba	Novotec	BES	04/10/2015	257
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Daño MLE	Cable MLE	Generic	BES	18/02/2013	263
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Yacimiento)</b>	Daño en el Intake por Arenamiento	Bomba	Sluber	BES	23/05/2013	266
Zeta	<b>Falla No Asociada</b>	Tubería Rota	Ajeno al Equipo de Fondo	Wonder	BCP	18/07/2013	270
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Yacimiento)</b>	Bomba con Restricción por Arenamiento	Bomba	Sluber	BES	29/10/2014	280
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Daño MLE	Cable MLE	Generic	BES	19/07/2014	284
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Daño MLE	Cable MLE	Sluber	BES	03/10/2013	289
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Daño MLE	Cable MLE	Generic	BES	19/02/2014	290
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Yacimiento)</b>	Daño MLE por Corrosión	Cable MLE	Sluber	BES	13/03/2016	293
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Desconexión de Varilla	Varilla de Bombeo	Wonder	BCP	23/09/2011	293
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Yacimiento)</b>	Daño en Etapas de la Bomba por Corrosión	Bomba	Sluber	BES	05/11/2013	297
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Daño MLE	Cable MLE	Generic	BES	23/06/2013	302

<b>Ca mp o</b>	<b>Tipo de Falla</b>	<b>Tipo de Daño</b>	<b>Componente Dañado</b>	<b>Empresa Proveed ora</b>	<b>SL A</b>	<b>Fecha</b>	<b>TO</b>
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Yacimiento)</b>	Daño en la Descarga de la Bomba por Arenamiento	Bomba	Sluber	BES	19/11/2013	312
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Desconexión de Varilla	Varilla de bombeo	Equals	BCP	10/04/2014	313
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Protector con Eje Roto	Protector Superior	Sluber	BES	01/01/2015	318
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Yacimiento)</b>	Bomba con Restricción por Arenamiento	Bomba	Sluber	BES	13/07/2013	326
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Motor con eje desplazado	Motor	Generic	BES	19/08/2011	342
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Yacimiento)</b>	Bomba con Restricción por Arenamiento	Bomba	Generic	BES	08/10/2013	344
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	02/02/2015	358
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Daño MLE	Cable MLE	Generic	BES	28/10/2013	392
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	04/09/2014	404
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Desconexión de Varilla	Varilla de bombeo	Equals	BCP	16/08/2014	405
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Daño en Etapas de la Bomba	Bomba	Generic	BES	23/11/2012	422
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Desconexión de Varilla	Varilla de Bombeo	Wonder	BCP	19/04/2013	461
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Yacimiento)</b>	Daño en la Descarga de la Bomba por Corrosión	Bomba	Sluber	BES	23/05/2015	480
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Daño Cable de Potencia	Cable de Potencia	Generic	BES	17/08/2012	503
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Desconexión de Varilla	Varilla de Bombeo	Wonder	BCP	11/05/2012	505
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Yacimiento)</b>	Daño Cable de Potencia por Corrosión	Cable de Potencia	Sluber	BES	14/05/2015	553
Zeta	<b>Falla En Equipo Sin Extraer</b>	Indeterminada_ Equipo sin Extraer	Indeterminado_ Equipo sin Extraer	Sluber	BES	26/07/2016	553
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	13/05/2012	555
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Daño Cable de Potencia	Cable de Potencia	Generic	BES	27/07/2015	556
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Daño Cable de Potencia	Cable de Potencia	Generic	BES	07/10/2012	576

<b>Ca mp o</b>	<b>Tipo de Falla</b>	<b>Tipo de Daño</b>	<b>Componente Dañado</b>	<b>Empresa Proveed ora</b>	<b>SL A</b>	<b>Fecha</b>	<b>TO</b>
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Estator	Wonder	BCP	06/05/2013	580
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Yacimiento)</b>	Bomba con Restricción por Arenamiento	Bomba	Generic	BES	18/05/2013	582
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Desconexión de Varilla	Varilla de Bombeo	Wonder	BCP	05/09/2012	593
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	23/01/2014	597
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	28/01/2013	610
Zeta	<b>Falla En Equipo Sin Extraer</b>	Indeterminada_ Equipo sin Extraer	Indeterminado_ Equipo sin Extraer	Equals	BCP	27/06/2016	620
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Desconexión de Varilla	Varilla de Bombeo	Wonder	BCP	01/08/2012	622
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Yacimiento)</b>	Bomba con Eje Roto por Arenamiento	Bomba	Sluber	BES	23/08/2012	640
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Equals	BCP	04/10/2015	649
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	25/11/2013	705
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Daño MLE	Cable MLE	Generic	BES	18/09/2013	722
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Daño en Etapas de la Bomba	Bomba	Generic	BES	08/06/2015	725
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Yacimiento)</b>	Bomba con Restricción por Corrosión	Bomba	Generic	BES	18/06/2016	730
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Daño MLE	Cable MLE	Generic	BES	31/05/2016	731
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	13/06/2013	731
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Intake con Bujes Rotos	Bomba	Sluber	BES	10/06/2016	733
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Yacimiento)</b>	Daño en Etapas de la Bomba por Corrosión	Bomba	Sluber	BES	23/10/2013	738
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	23/09/2013	762
Zeta	<b>Falla En Equipo Sin Extraer</b>	Indeterminada_ Equipo sin Extraer	Indeterminado_ Equipo sin Extraer	Wonder	BCP	30/07/2016	764
Zeta	<b>Falla No Asociada</b>	Tubería Rota	Ajeno al Equipo de Fondo	Wonder	BCP	13/12/2013	766
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	22/12/2015	810



<b>Ca mp o</b>	<b>Tipo de Falla</b>	<b>Tipo de Daño</b>	<b>Componente Dañado</b>	<b>Empresa Proveed ora</b>	<b>SL A</b>	<b>Fecha</b>	<b>TO</b>
Zeta	<b>Falla En Equipo Sin Extraer</b>	Indeterminada_ Equipo sin Extraer	Indeterminado Equipo sin Extraer	Sluber	BES	15/01/2014	827
Zeta	<b>Falla En Equipo Sin Extraer</b>	Indeterminada_ Equipo sin Extraer	Indeterminado_ Equipo sin Extraer	Sluber	BES	17/09/2016	872
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	25/04/2016	883
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Daño MLE	Cable MLE	Generic	BES	20/09/2013	929
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	01/03/2014	942
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Equals	BCP	19/07/2016	943
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	01/07/2014	948
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	22/05/2012	972
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Motor Aterrizado	Motor	Sluber	BES	28/09/2012	981
Zeta	<b>Falla En Equipo Sin Extraer</b>	Indeterminada_ Equipo sin Extraer	Indeterminado_ Equipo sin Extraer	Wonder	BCP	17/09/2015	986
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	01/08/2014	1002
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Desconexión de Varilla	Varilla de bombeo	Wonder	BCP	21/06/2014	1025
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	22/09/2015	1026
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Yacimiento)</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero por Arenamiento	Bomba	Equals	BCP	24/03/2016	1035
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	22/07/2014	1061
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Equals	BCP	16/07/2016	1093
Zeta	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Daño MLE	Cable MLE	Generic	BES	08/06/2015	1097
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	28/10/2014	1136
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	17/03/2014	1145
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Daño MLE	Cable MLE	Generic	BES	04/03/2014	1152
Zeta	<b>Falla No Asociada</b>	Tornillo (NPT) del taladro	Ajeno al Equipo de Fondo	Generic	BES	21/12/2015	1153
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	14/12/2015	1153

Ca mp o	Tipo de Falla	Tipo de Daño	Componente Dañado	Empresa Proveed ora	SL A	Fecha	TO
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	15/12/2012	1158
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	15/09/2014	1164
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	26/12/2014	1165
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	03/01/2015	1175
Zeta	<b>Falla En Equipo Sin Extraer</b>	Indeterminada_ Equipo sin Extraer	Indeterminado_ Equipo sin Extraer	Generic	BES	08/09/2016	1184
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Intake con Eje Roto	Bomba	Sluber	BES	08/04/2014	1190
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Daño MLE	Cable MLE	Generic	BES	22/04/2014	1203
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Daño en Etapas de la Bomba	Bomba	Sluber	BES	23/03/2016	1214
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	02/05/2014	1275
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	02/07/2014	1284
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	11/08/2014	1302
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	22/06/2015	1331
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	02/06/2015	1333
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Desconexión de Varilla	Varilla de bombeo	Wonder	BCP	06/09/2014	1343
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Daño en el Intake por Arenamiento	Bomba	Sluber	BES	10/12/2015	1354
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	09/08/2014	1359
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	10/01/2016	1474
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	18/04/2015	1580
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	26/02/2015	1585
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Estator_Desgarr e de Elastómero	Bomba	Wonder	BCP	20/06/2016	1613
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Motor Aterrizado	Motor	Generic	BES	22/07/2015	1619
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Daño Cable de Potencia	Cable de Potencia	Generic	BES	24/03/2016	1820
Zeta	<b>Falla por Desgaste</b>	Daño Cable de Potencia	Cable de Potencia	Generic	BES	27/12/2015	1850
Zeta	<b>Falla En Equipo Sin Extraer</b>	Indeterminada_ Equipo sin Extraer	Indeterminado_ Equipo sin Extraer	Generic	BES	25/09/2016	2015
Zeta	<b>Falla En Equipo Sin Extraer</b>	Indeterminada_ Equipo sin Extraer	Indeterminado_ Equipo sin Extraer	Generic	BES	10/09/2016	2096
Zeta	<b>Falla En Equipo Sin Extraer</b>	Indeterminada_ Equipo sin Extraer	Indeterminado_ Equipo sin Extraer	Sluber	BES	05/09/2016	2153
Záfir	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Motor Aterrizado	FallaDirecta	Generic	BES	11-Dec-15	1094, 0

<b>Ca mp o</b>	<b>Tipo de Falla</b>	<b>Tipo de Daño</b>	<b>Componente Dañado</b>	<b>Empresa Proveed ora</b>	<b>SL A</b>	<b>Fecha</b>	<b>TO</b>
Záfir	<b>Falla Causal (Asociada al Yacimiento)</b>	Cable MLE	Arenamiento	Generic	BES	1-Nov-13	674,0
Záfir	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Cable MLE	FallaIndirecta	Generic	BES	13-Jan-13	12,0
Záfir	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Cable MLE	FallaDirecta	Generic	BES	10-Jan-13	129,0
Záfir	<b>Falla Prematura Infantil</b>	Cable MLE	FallaPrematura	Generic	BES	15-Aug-12	0,0
Záfir	<b>Falla En Equipo Sin Extraer</b>	Indeterminada_ Equipo sin Extraer	Indeterminado_ Equipo sin Extraer	Generic	BES	28-Apr-16	1132
Záfir	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Desgarre de Elastómero	FallaDirecta	Wonder	BCP	19-Jul-13	681,0
Záfir	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Desgarre de Elastómero	FallaDirecta	Wonder	BCP	25-Dec-13	628
Záfir	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Desgarre de Elastómero	FallaDirecta	Wonder	BCP	26-Dec-13	864
Záfir	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Desgarre de Elastómero	FallaDirecta	Wonder	BCP	16-Jul-14	1081, 0
Záfir	<b>Falla En Equipo Sin Extraer</b>	Indeterminada_ Equipo sin Extraer	Indeterminado_ Equipo sin Extraer	Wonder	BCP	8-Feb-15	1233
Záfir	<b>Falla En Equipo Sin Extraer</b>	Indeterminada_ Equipo sin Extraer	Indeterminado_ Equipo sin Extraer	Wonder	BM	8-Mar-16	505
Záfir	<b>Falla Causal (Asociada al Equipo)</b>	Desgarre de Elastómero	FallaDirecta	Wonder	BCP	6-Jul-16	922

## **Anexo B. Procedimiento recomendado en equipos con SLA tipo BES que presentan TO mayores a los límites MTBF.**

### **Identificar pozos en riesgo por TO según MTBF**

Paso 1:

En la base de datos identificar los pozos que hayan sobrepasado el límite máximo de valor MTBF, de acuerdo a la compañía fabricante. La base de datos generará un sistema de alarma, para los pozos en los que los equipos sobrepasen estos límites.

Al identificar los equipos en funcionamiento que están en inminente riesgo de falla por su tiempo de operación, se procede a revisar los parámetros limitantes de la siguiente manera:

### **Verificar valores medidos en VSD, SUT y Motor**

Paso 2:

#### **A la entrada del VSD:**

- Verificar que las mediciones de voltaje Fase – Fase (A-B, B-C y C-A) a la entrada del VSD, estén alrededor de los 480 KVA y que los tres valores sean casi iguales.
- Verificar que las mediciones de voltaje Fase – Tierra (A-N, B-N y C-N)) a la entrada del VSD, sea de aproximadamente dos tercios del valor de las mediciones tomadas de voltaje Fase – Fase a la entrada del VSD y que los tres valores sean casi iguales.
- Verificar que las mediciones de corriente (Amperios) de cada una de sus fases (A, B, C) a la entrada del VSD sean iguales entre sí.

Paso 3:

#### **A la salida del VSD/Primario SUT**

- Verificar que las mediciones de voltaje Fase – Fase (A-B, B-C y C-A) a la salida del VSD sean casi iguales.
- Verificar que las mediciones de voltaje Fase – Tierra (A-N, B-N y C-N)) a la salida del VSD, sea de aproximadamente dos tercios del valor de las mediciones tomadas de voltaje Fase – Fase a la salida del VSD y que los tres valores sean casi iguales.

- Verificar que las mediciones de corriente (Amperios) de cada una de sus fases (A, B, C) a la salida del VSD sean iguales entre sí.

**Nota:** Cabe resaltar que las medidas de los voltajes y corrientes a la salida del VSD, son los mismos que entran al transformador elevador (Primario SUT).

Paso 4:

#### **A la entrada del Motor/Secundario SUT**

- Verificar que las mediciones de voltaje Fase – Fase (A-B, B-C y C-A) a la entrada del motor sean casi iguales.
- Verificar que las mediciones de voltaje Fase – Tierra (A-N, B-N y C-N)) a la entrada del motor, sea de aproximadamente dos tercios del valor de las mediciones tomadas de voltaje Fase – Fase a la entrada del motor y que los tres valores sean casi iguales.
- Verificar que las mediciones de corriente (Amperios) de cada una de sus fases (A, B, C) a la entrada del motor sean iguales entre sí.

**Nota:** Cabe resaltar que las medidas de los voltajes y corrientes a la entrada del motor, son los mismos que salen del transformador elevador (Secundario SUT).

**Verificar aislamiento y balance de fases.** El Motor presenta buen aislamiento y balance de fases cuando al verificar las mediciones **A la entrada del Motor/Secundario SUT** (Paso 4), todas se cumplen.

Paso 5:

#### **Fase a tierra**

Se dice que una de las fases del motor esta aterrizada, cuando al verificar las mediciones de voltaje Fase – Tierra (A-N, B-N y C-N), una o dos de ellas tengan un voltaje a partir del 20% menor que la fase con el valor máximo, si esto sucede se deduce que se perdió aislamiento y se encuentran aterrizadas, lo que sería una bomba de tiempo para que se ocasione una falla a tierra en el motor.

- **Porcentaje fase a tierra ( $\Phi$  Tierra)**

$$\Phi \text{Tierra} = \frac{V_{\text{máx}(F-T)} - V_{\text{mín}(F-T)}}{V_{\text{máx}(F-T)}} * 100$$

$V_{\text{máx}(F-T)}$  = Valor del voltaje de la fase que mas está aportando al motor.

$V_{\text{mín}(F-T)}$  = Valor del voltaje de la fase que menos está aportando al motor.

**$\Phi$  Tierra > 20% : Equipo Fase a Tierra.**

Paso 6:

### **Desbalance de Fases**

Cuando las corrientes medidas en la entrada del motor son casi iguales, se dice que la distribución de cargas es homogénea y que sus fases están balanceadas, pero si las variaciones son significativas y una de ellas está 5% por debajo del valor promedio de las tres fases, se dice que el equipo está desbalanceado en sus fases, lo que me genera una sobrecarga en las otras dos líneas y ocasionaría daños en el motor, llegando a impedir el arranque del pozo.

- Cálculo Porcentaje de Desbalance

$$\%Desbalance = \frac{\bar{I}_{(A,B,C)} - I_{\text{minimo}}}{\bar{I}_{(A,B,C)}} * 100$$

$I_{\text{minimo}}$  = Valor de la corriente de la fase que menos está aportando al motor.

$\bar{I}_{(A,B,C)}$  = Valor promedio de la corriente de las 3 fases a la entrada del motor.

**$\%Desbalance > 5\%$  : Equipo con desbalance de fases.**

### **Calcular potencias, corrientes y limitaciones principales.**

Paso 7:

#### **Limitante por potencia VSD:**

Registrar el valor de KVA nominal del variador y compararlo con el KVA consumido por el VSD.

Sacar el porcentaje de consumo del VSD, si este valor está por encima del 90%, se dice que el pozo está *limitado* por potencia del variador de frecuencia, ya que los KVA de consumo están por llegar al límite óptimo de potencia para el cual este equipo fue fabricado.

#### **Cálculo consumo de potencia del VSD**

$$KVA_{\text{cons,VSD}} = \frac{\bar{V}_{S,VSD(\text{Fase-Fase})} * \bar{I}_{S,VSD} * \sqrt{3}}{1000}$$

$\bar{V}_{S,VSD(Fase-Fase)}$ : Voltaje promedio de las fases, medidas a la salida del VSD (F - F).

$\bar{I}_{S,VSD}$ : Corriente promedio de las fases, medidas a la salida del VSD.

### Porcentaje de consumo

$$\%KVA\ Cons, VSD = \frac{KVA_{cons,VSD}}{KVA_{Nominal,VSD}}$$

$KVA_{cons,VSD}$  = Potencia a la que esta trabajando el VSD

$KVA_{Nominal,VSD}$  = Potencia Óptima de trabajo para la cual fue diseñado el VSD

**$\%KVA\ Cons, VSD > 90\%$  : Equipo limitado por Potencia del VSD**

Paso 8:

### Limitante por corriente VSD:

Registrar el valor de la corriente nominal del variador y compararlo con la corriente que consume.

Sacar el porcentaje de consumo del VSD, si este valor está por encima del 90%, se dice que el pozo está *limitado* por corriente del variador de frecuencia, ya que la corriente de consumo está por llegar al límite óptimo de corriente para el cual este equipo fue fabricado.

- **Cálculo consumo de corriente del VSD**

$$I_{Cons,VSD} = I_{Máx,S,VSD(fases)}$$

$I_{Máx,S,VSD(fases)}$  = El valor I máximo de las fases, medidas la salida del VSD.

### Porcentaje de consumo

$$\%I_{Cons,VSD} = \frac{I_{cons,VSD}}{I_{Nominal,VSD}}$$

$I_{cons,VSD}$  = Corriente que consume el VSD.

$I_{Nominal,VSD}$  = Corriente Óptima de trabajo para la cual fue diseñado el VSD.

**$\%I\ Cons, VSD > 90\%$  : Equipo limitado por Corriente del VSD**

Paso 9:

## Limitante por potencia del transformador elevador SUT

Registrar el valor de KVA nominal del SUT y compararlo con el KVA consumido.

Sacar el porcentaje de consumo de potencia del SUT, si este valor está por encima del 90%, se dice que el pozo está *limitado* por potencia del Transformador elevador SUT, ya que los KVA de consumo están por llegar al límite óptimo de potencia para el cual este equipo fue fabricado.

- **Cálculo consumo de Potencia del SUT**

$$KVA_{cons,SUT} = \frac{\bar{V}_{S,SUT(Fase-Fase)} * \bar{I}_{S,SUT} * \sqrt{3}}{1000}$$

$\bar{V}_{S,SUT}$ : Voltaje promedio de las fases, medidas a la salida del SUT (F – F).

$\bar{I}_{S,SUT}$ : Corriente promedio de las fases, medidas a la salida del SUT.

## Porcentaje de consumo

$$\%KVA\ Cons,SUT = \frac{KVA_{cons,SUT}}{KVA_{Nominal,SUT}}$$

$KVA_{cons,SUT}$  = Potencia que consume el SUT.

$KVA_{Nominal,SUT}$  = Potencia Óptima de trabajo para la cual fue diseñado el SUT.

**$\%KVA\ Cons,SUT > 90\%$  : Equipo limitado por Potencia del SUT**

Paso 10:

## Limitante por corriente del Motor de Fondo

Registrar el valor de Corriente nominal de placa del Motor y compararlo con la Corriente que consume.

Sacar el porcentaje de consumo de corriente del Motor, si este valor está por encima del 90%, se dice que el pozo está *limitado* por corriente del Motor, ya que la corriente de consumo está por llegar al límite óptimo de corriente para el cual este equipo fue fabricado.

- **Cálculo consumo de corriente del Motor**

$$I_{Cons,Motor} = I_{Máx,S,SUT(fases)}$$

$I_{Máx,S,SUT(fases)}$  = El valor I máximo de las fases, medidas la salida del SUT.



**Nota:** Se toma el valor máximo de las fases medidas a la salida del transformador elevador, porque es esta misma corriente la que le transmite al motor de fondo.

### **Porcentaje de consumo**

$$\%I_{Cons, Motor} = \frac{I_{cons, Motor}}{I_{Nominal, Motor}}$$

$I_{cons, Motor}$  = Corriente que le está llegando al Motor.

$I_{Nominal, Motor}$  = Corriente Optima de trabajo para la cual fue diseñado el Motor.

**$\%I_{Cons, Motor} > 90\%$  : Equipo limitado por Corriente del Motor**

**Anexo C. Demostración del procedimiento realizado en Campo Zeta para equipos BES que opera valores mayores a los límites MTBF.**

**Demostración:**

**Identificar pozos en riesgo por TO según MTBF (Paso 1)**

De acuerdo a los cálculos realizados, se obtiene la siguiente tabla donde se muestran los tiempos de operación promedio de cada compañía, el valor calculado del MTBF para los equipos y el límite MTBF el cual tiene un margen de confianza del 10%.

<b>Compañía</b>	<b>TOP (días)</b>	<b>MTBF (días)</b>	<b>Límite: 10% MTBF (días)</b>
Generic	880	1974	1777
Sluber	695	1893	1704
Novotec	407	658	592
Bortx	618	949	854
Wonder	753	1415	1274
Equals	644	1135	1020

Por medio de la base de datos se identificaron los pozos que sus tiempos de operación superaban los tiempos MTBF límites como se muestra en la siguiente tabla:

<b>DATOS GENERALES</b>			
<b>Pozo</b>	<b>Compañía</b>	<b>Fecha de Corrida</b>	<b>TO (días)</b>
Z-032	Generic	19-Jun-10	2369
Z-068	Generic	2-Sep-10	2220
Z-055	Generic	4-Sep-10	2218
Z-056	Generic	16-Sep-10	2206
Z-071	Generic	27-Sep-10	2195
Z-065	Generic	9-Jan-16	2115
Z-094	Generic	18-Dec-10	2113
Z-008	Generic	6-Aug-11	2070
Z-073	Generic	25-Apr-14	2062
Z-005	Generic	10-Feb-11	2059
Z-172	Generic	31-Aug-11	1857
Z-018	Sluber	13-Feb-11	2056
Z-041	Sluber	6-Feb-11	2063
Z-057	Sluber	30-Sep-10	2192
Z-089	Sluber	10-Dec-10	2121

Z-170	Sluber	31-Jan-12	1704
Z-085	Novotec	5-Jan-15	634
Z-158	Novotec	29-Dec-14	641
Z-258	Novotec	7-Dec-14	663
Z-449	Novotec	17-Feb-15	591
Z-450	Novotec	22-Jan-15	617
Z-452	Novotec	24-Jan-15	615
Z-464	Novotec	10-Feb-15	598
Z-039	Bortx	24-Feb-14	949
Z-184	Bortx	26-Feb-14	947
Z-06	Wonder	15-Jun-10	2299
Z-075	Equals	4-Sep-13	1122
Z-084	Equals	27-May-13	1222
Z-102	Equals	29-Nov-13	1036
Z-175	Equals	15-Dec-13	1020
Z-259	Equals	26-Jun-13	1192
Z-273	Equals	3-Aug-13	1154
Z-301	Equals	21-Aug-13	1136
Z-306	Equals	16-Aug-13	1141
Z-307	Equals	28-Aug-13	1129

De acuerdo a los valores límite de MTBF en campo Zeta hay 35 pozos en alarma por sus tiempos de operación, 25 correspondientes a sistemas de bombeo Electrosumergible y 10 de bombeo por cavidades progresivas.

De los 35 pozos, 11 tienen equipos de fondo pertenecientes a la compañía Generic, 5 de la compañía Sluber, 7 de la compañía Novotec, 2 de la compañía Bortx, 1 de la compañía Wonder y 9 de la compañía Equals.

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos con el paso a paso, para diagnóstico en equipos BES de campo Zeta.

### **Verificar valores medidos en VSD, SUT y Motor**

Paso 2:

#### **A la entrada del VSD**

En la tabla siguiente, se muestran los valores de voltajes Fase-Fase, Fase-Tierra y corriente medidos en las tres fases a la entrada del variador de frecuencia de cada uno de los pozos que, por su tiempo de operación, está en riesgo inminente de falla.

Pozo	TO (días)	Entrada del VSD								
		Voltaje F-F			Voltaje F-T			Corriente (Amp)		
		A-B	B-C	C-A	A-N	B-N	C-N	A	B	C
Zt 005	2059	488	490	492	282	282	284	221	221	223
Zt 008	2070	472	471	476	271	274	274	248	250	253
Zt 018	2056	486	490	489	282	282	284	93	92	86
Zt 032	2369	477	478	478	278	278	278	59	58	57
Zt 039	949	471	480	467	270	274	276	144	123	160
Zt 041	2063	488	490	489	281	282	283	109	109	110
Zt 055	2218	478	476	480	275	276	276	145	151	146
Zt 056	2206	477	476	480	275	276	276	228	222	228
Zt 057	2192	477	476	480	275	276	276	184	186	185
Zt 065	2115	473	472	475	275	273	275	187	190	190
Zt 068	2220	488	490	492	281	282	284	185	195	195
Zt 071	2195	485	489	488	280	281	282	111	112	113
Zt 073	2062	474	476	474	273	272	274	253	254	286
Zt 085	634	475	475	474	273	273	273	70	70	70
Zt 089	2121	468	468	472	271	269	272	238	243	243
Zt 094	2113	477	476	479	276	277	278	214	228	221
Zt 158	641	478	478	478	277	277	277	134	132	133
Zt 170	1704	468	465	469	269	272	270	204	229	212
Zt 172	1857	477	476	480	274	277	277	223	226	226
Zt 184	947	465	463	467	267	268	269	253	253	261
Zt 258	663	473	473	474	272	273	273	192	193	192
Zt 449	591	478	480	481	275	277	278	230	225	228
Zt 450	617	475	473	476	276	274	274	162	164	160
Zt 452	615	469	469	473	270	272	272	94	94	90
Zt 464	598	473	473	473	273	273	273	211	210	211

Como se puede observar en la tabla anterior, todas estas mediciones cumplen las características de un comportamiento normal en voltajes y corrientes de cada una de las fases a la entrada del variador de frecuencia.

Paso 3:

### A la salida del VSD/Primario SUT

A continuación se muestran los valores de voltajes Fase-Fase, Fase-Tierra y corriente medidos en las tres fases a la salida del variador de frecuencia de cada

uno de los pozos que por su tiempo de operación, está en riesgo inminente de falla, cabe recordar que el voltaje y corriente de salida del VSD es el mismo de entrada del transformador elevador SUT.

Pozo	TO (días)	Salida del VSD/Entrada SUT								
		Voltaje F-F			Voltaje F-T			Corriente (Amp)		
		A-B	B-C	C-A	A-N	B-N	C-N	A	B	C
<b>Zt 005</b>	<b>2059</b>	413	413	413	251	254	256	308	303	303
<b>Zt 008</b>	<b>2070</b>	385	385	386	260	262	250	323	315	318
<b>Zt 018</b>	<b>2056</b>	308	307	307	229	229	229	203	206	204
<b>Zt 032</b>	<b>2369</b>	460	460	458	279	278	278	76	76	76
<b>Zt 039</b>	<b>949</b>	394	398	399	246	245	246	162	170	165
<b>Zt 041</b>	<b>2063</b>	450	448	448	283	283	283	164	163	165
<b>Zt 055</b>	<b>2218</b>	369	369	369	244	244	245	215	212	212
<b>Zt 056</b>	<b>2206</b>	398	397	396	255	256	256	215	210	215
<b>Zt 057</b>	<b>2192</b>	381	381	380	249	248	249	274	269	265
<b>Zt 065</b>	<b>2115</b>	413	414	414	266	267	268	245	243	247
<b>Zt 068</b>	<b>2220</b>	422	423	421	264	264	265	275	279	275
<b>Zt 071</b>	<b>2195</b>	312	312	312	251	251	251	212	209	214
<b>Zt 073</b>	<b>2062</b>	459	463	467	268	271	269	299	300	304
<b>Zt 085</b>	<b>634</b>	450	450	450	281	281	280	137	139	134
<b>Zt 089</b>	<b>2121</b>	398	400	397	251	250	252	381	363	368
<b>Zt 094</b>	<b>2113</b>	442	442	441	281	283	281	269	257	261
<b>Zt 158</b>	<b>641</b>	345	344	344	236	236	236	223	217	221
<b>Zt 170</b>	<b>1704</b>	405	404	403	260	260	260	292	289	296
<b>Zt 172</b>	<b>1857</b>	422	424	425	263	263	268	323	326	313
<b>Zt 184</b>	<b>947</b>	352	364	346	239	235	238	324	283	287
<b>Zt 258</b>	<b>663</b>	417	418	414	270	272	270	316	320	322
<b>Zt 449</b>	<b>591</b>	414	414	414	255	254	255	287	294	291
<b>Zt 450</b>	<b>617</b>	441	441	441	277	277	278	210	202	202
<b>Zt 452</b>	<b>615</b>	433	433	433	271	270	270	175	186	182
<b>Zt 464</b>	<b>598</b>	432	431	432	273	265	268	259	259	260

Como se puede observar en la tabla anterior, todas estas mediciones cumplen las características de un comportamiento normal en voltajes y corrientes de cada una de las fases a la salida del variador de frecuencia.

Paso 4:

**A la entrada del Motor/Secundario SUT**

La siguiente tabla muestra los valores de voltajes Fase-Fase, Fase-Tierra y corriente medidos en las tres fases a la salida del Transformador elevador SUT, de cada uno de los pozos que por su tiempo de operación, está en riesgo inminente de falla, cabe recordar que el voltaje y corriente de salida del SUT es el mismo de entrada del Motor.

Pozo	TO (días)	Salida del VSD/Entrada SUT								
		Voltaje F-F			Voltaje F-T			Corriente (Amp)		
		A-B	B-C	C-A	A-N	B-N	C-N	A	B	C
Zt 005	2059	2735	2737	2727	1583	1583	1566	44	43	44
Zt 008	2070	2069	2061	2049	1191	1193	1186	57	56	56
Zt 018	2056	1822	1822	1819	1074	1034	1050	32	32	32
Zt 032	2369	598	596	599	331	354	350	51	56	56
Zt 039	949	2268	2260	2283	46	2240	2265	28	29	29
Zt 041	2063	2607	2608	2598	1478	1543	1495	27	27	28
Zt 055	2218	2065	2066	2067	1205	1191	1190	36	37	36
Zt 056	2206	2228	2229	2214	2204	2228	2205	39	38	39
Zt 057	2192	2181	2187	2186	1282	1260	1251	45	45	44
Zt 065	2115	2443	2452	2450	2446	2453	19	40	39	40
Zt 068	2220	2657	2660	2648	1520	1539	1542	42	42	41
Zt 071	2195	2037	2035	2038	1190	1165	1180	31	31	32
Zt 073	2062	2689	2699	2761	1499	1505	1504	50	52	51
Zt 085	634	2454	2453	2461	1386	1498	1376	25	25	24
Zt 089	2121	2412	2430	2413	1436	1367	1367	62	59	60
Zt 094	2113	1473	1478	1472	1432	1436	46	78	74	75
Zt 158	641	2275	2270	2273	1276	1224	1342	32	32	33
Zt 170	1704	2240	2242	2231	1320	1287	1282	51	50	50
Zt 172	1857	2870	2881	2873	1716	1595	1662	47	46	45
Zt 184	947	3443	3507	3328	2036	1934	1964	32	31	29
Zt 258	663	2433	2445	2430	1421	1408	1376	53	53	52
Zt 449	591	2732	2739	2731	1591	1562	1583	42	43	42
Zt 450	617	2842	2840	2846	1670	1628	1602	31	31	31
Zt 452	615	2533	2541	2533	1442	1431	1522	30	30	29
Zt 464	598	2930	2973	2950	1717	1716	1660	35	36	37

Como se observa en la gráfica anterior, en tres pozos hay variaciones en las medidas de voltaje Fase – Tierra, y en dos pozos hay diferencias significativas en una de las corrientes de las fases que entran al motor de fondo. Estas medidas son de las más importantes ya que en estas nos basamos para verificar si el motor se encuentra desbalanceado o presenta fase a tierra.

## Verificar Aislamiento Y Balance De Fases

Paso 5 y Paso 6:

### Fase a Tierra y Desbalance de Fases

Pozo	TO (días)	Salida del VSD/Entrada SUT									Dato calculado	Dato calculado
		Voltaje F-F			Voltaje F-T			Amp			Φ Tierra	% Desbalance
		A-B	B-C	C-A	A-N	B-N	C-N	A	B	C		
Zt 005	2059	2735	2737	2727	1583	1583	1566	44	43	44	1,1%	1,5%
Zt 008	2070	2069	2061	2049	1191	1193	1186	57	56	56	0,6%	0,6%
Zt 018	2056	1822	1822	1819	1074	1034	1050	32	32	32	3,7%	0,0%
Zt 032	2369	598	596	599	331	354	350	51	56	56	6,5%	6,1%
Zt 039	949	2268	2260	2283	46	2240	2265	28	29	29	98,0%	2,3%
Zt 041	2063	2607	2608	2598	1478	1543	1495	27	27	28	4,2%	1,2%
Zt 055	2218	2065	2066	2067	1205	1191	1190	36	37	36	1,2%	0,9%
Zt 056	2206	2228	2229	2214	2204	2228	2205	39	38	39	1,1%	1,7%
Zt 057	2192	2181	2187	2186	1282	1260	1251	45	45	44	2,4%	1,5%
Zt 065	2115	2443	2452	2450	2446	2453	19	40	39	40	99,2%	1,7%
Zt 068	2220	2657	2660	2648	1520	1539	1542	42	42	41	1,4%	1,6%
Zt 071	2195	2037	2035	2038	1190	1165	1180	31	31	32	2,1%	1,1%
Zt 073	2062	2689	2699	2761	1499	1505	1504	50	52	51	0,4%	2,0%
Zt 085	634	2454	2453	2461	1386	1498	1376	25	25	24	8,1%	2,0%
Zt 089	2121	2412	2430	2413	1436	1367	1367	62	59	60	4,8%	2,2%
Zt 094	2113	1473	1478	1472	1432	1436	46	78	74	75	96,8%	2,2%
Zt 158	641	2275	2270	2273	1276	1224	1342	32	32	33	8,8%	1,0%
Zt 170	1704	2240	2242	2231	1320	1287	1282	51	50	50	2,9%	0,7%
Zt 172	1857	2870	2881	2873	1716	1595	1662	47	46	45	7,1%	2,2%
Zt 184	947	3443	3507	3328	2036	1934	1964	32	31	29	5,0%	5,4%
Zt 258	663	2433	2445	2430	1421	1408	1376	53	53	52	3,2%	1,3%
Zt 449	591	2732	2739	2731	1591	1562	1583	42	43	42	1,8%	0,8%
Zt 450	617	2842	2840	2846	1670	1628	1602	31	31	31	4,1%	0,0%
Zt 452	615	2533	2541	2533	1442	1431	1522	30	30	29	6,0%	2,2%
Zt 464	598	2930	2973	2950	1717	1716	1660	35	36	37	3,3%	2,8%

Luego de verificar el aislamiento y balance de fases, se encontraron cinco pozos en los que los motores presentaban bajo aislamiento en una de sus fases, de los cuales tres se encontraban aterrizados y los otros dos con desbalance de fases.

### Calcular Potencias, Corrientes y Limitaciones Principales.

Paso 7 y Paso 8:

**Limitante por Potencia y Corriente del Variador:**

Pozo	TO (días)	Potencia del VSD			Corriente del VSD			ESTADO
		KVA Nominal VSD	KVA Consumo VSD	%KVA Cons, VSD	I Nominal VSD	I Consumo VSD	%I Cons, VSD	
Zt 005	2059	260	218	84%	325	308	95%	Limitado
Zt 008	2070	260	213	82%	325	323	99%	Limitado
Zt 018	2056	320	109	34%	415	206	50%	Óptimo
Zt 032	2369	150	60	40%	180	76	42%	Óptimo
Zt 039	949	370	114	31%	450	170	38%	Óptimo
Zt 041	2063	260	127	49%	325	165	51%	Óptimo
Zt 055	2218	260	136	52%	325	215	66%	Óptimo
Zt 056	2206	260	147	56%	325	215	66%	Óptimo
Zt 057	2192	260	178	68%	325	274	84%	Óptimo
Zt 065	2115	260	176	68%	325	247	76%	Óptimo
Zt 068	2220	260	202	78%	325	279	86%	Óptimo
Zt 071	2195	460	114	25%	515	214	42%	Óptimo
Zt 073	2062	260	241	93%	325	304	94%	Limitado



Zt 085	634	320	107	33%	415	139	33%	Óptimo
Zt 089	2121	320	256	80%	415	381	92%	Limitado
Zt 094	2113	260	201	77%	325	269	83%	Óptimo
Zt 158	641	260	131	51%	325	223	69%	Óptimo
Zt 170	1704	260	205	79%	325	296	91%	Limitado
Zt 172	1857	320	235	74%	415	326	79%	Óptimo
Zt 184	947	320	183	57%	415	324	78%	Óptimo
Zt 258	663	260	121	47%	325	168	52%	Óptimo
Zt 449	591	320	208	65%	415	294	71%	Óptimo
Zt 450	617	390	156	40%	469	210	45%	Óptimo
Zt 452	615	320	136	42%	415	186	45%	Óptimo
Zt 464	598	320	194	61%	415	260	63%	Óptimo

Se encontró que cinco pozos estaban limitados por variador con consumos de potencia o de corriente por encima del 90% de la capacidad nominal y en otros tres pozos aunque no se encuentran limitados sus consumos ya superan el 80% de la capacidad para la que fueron fabricados.

Paso 9 y Paso 10:

**Limitante por Potencia del Transformador Elevador SUT y por Corriente del Motor de Fondo**

Pozo		TO (días)	Potencia del SUT			Corriente del Motor			ESTAD O
			KVA Nomin al SUT	KVA Consum o SUT	%KVA Cons,SU T	I Nomin al Motor	I Consum o Motor	%I Cons , Moto r	
Zt 005	2059	260	207	80%	57	44	77%	Óptimo	
Zt 008	2070	260	201	77%	57	57	100%	Limitado	
Zt 018	2056	460	101	22%	57	32	56%	Óptimo	
Zt 032	2369	150	56	37%	62	56	90%	Limitado	
Zt 039	949	260	113	43%	42	29	69%	Óptimo	
Zt 041	2063	260	123	47%	56	28	50%	Óptimo	
Zt 055	2218	260	130	50%	57	37	65%	Óptimo	
Zt 056	2206	260	149	57%	57	39	68%	Óptimo	
Zt 057	2192	260	169	65%	57	45	79%	Óptimo	
Zt 065	2115	260	168	65%	57	40	70%	Óptimo	
Zt 068	2220	260	192	74%	57	42	74%	Óptimo	
Zt 071	2195	460	111	24%	57	32	56%	Óptimo	
Zt 073	2062	260	240	92%	57	52	91%	Limitado	
Zt 085	634	260	104	40%	50	25	50%	Óptimo	
Zt 089	2121	460	253	55%	68	62	92%	Limitado	
Zt 094	2113	260	193	74%	97	78	80%	Óptimo	
Zt 158	641	260	127	49%	46	33	72%	Óptimo	
Zt 170	1704	260	195	75%	65	51	79%	Óptimo	

Zt 172	1857	460	229	50%	57	47	82%	Óptimo
Zt 184	947	460	182	40%	71	32	45%	Óptimo
Zt 258	663	260	118	45%	50	28	56%	Óptimo
Zt 449	591	460	200	44%	46	43	93%	Limitado
Zt 450	617	260	153	59%	46	31	67%	Óptimo
Zt 452	615	460	130	28%	50	30	60%	Óptimo
Zt 464	598	460	184	40%	46	37	80%	Óptimo

Se encontró que cinco pozos estaban limitados por corriente del motor con consumos de corriente por encima del 90% de la capacidad nominal, en uno de ellos también se encontró limitación por potencia del SUT y en otros cuatro pozos, aunque no se encuentran limitados sus consumos ya superan el 80% de la capacidad para la que fueron fabricados.