

**IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE CONFIABILIDAD PARA BOMBEO
MECÁNICO BASADO EN LA METODOLOGÍA RIFTS APLICADO A LOS
CAMPOS DE LA ASOCIACIÓN NARE.**

LUDWING SMITH RINCÓN VARGAS



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS
BUCARAMANGA**

2017

**IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE CONFIABILIDAD PARA BOMBEO
MECÁNICO BASADO EN LA METODOLOGÍA RIFTS APLICADO A LOS
CAMPOS DE LA ASOCIACIÓN NARE.**

LUDWING SMITH RINCÓN VARGAS

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de:
Ingeniero de Petróleos**

Director

**ERIK GIOVANNY MONTES PÁEZ
Ingeniero de Petróleos, M.Sc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de cumplir cada objetivo que me propongo y ayudarme a perseverar para finalizar esta nueva meta en la vida.

A mis padres por inculcarme desde pequeño la importancia de estar preparado académicamente y por apoyarme en cada paso para convertirme en el profesional que ellos me exigieron.

A mis hermanos por darme la motivación diaria de seguir adelante por ellos.

A los Ingenieros Álvaro Cañas, Erik Montes y Reinaldo Vásquez por su gran aporte profesional y ético.

Finalmente, a la familia Mansarovar quienes permitieron que obtuviera este gran avance en mi desarrollo profesional.

LUDWING SMITH RINCON VARGAS.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	21
1. GENERALIDADES DE LA ASOCIACIÓN NARE	22
1.1 LOCALIZACIÓN DE LOS CAMPOS DE LA ASOCIACIÓN NARE	22
1.2 IDENTIFICACIÓN DE FORMACIONES.....	24
1.3 COLUMNA ESTRATIGRAFICA	24
1.4 PROPIEDADES PETROFISICAS.....	27
1.5 MAPA DE PRESIONES	29
1.6 MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTDA	30
1.6.1 Generalidades.....	30
1.6.2 Historia.....	31
2. BOMBEO MECÁNICO	33
2.1 COMPONENTES DEL EQUIPO	34
2.1.1 Descripción del equipo de superficie	34
2.1.2 Descripción del equipo de subsuelo	41
2.1.3 Bombas de subsuelo	43
2.2 UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO	54
2.2.1 Geometría de las unidades de bombeo	54
2.2.2 Unidad de bombeo convencional.....	55
2.2.3 Unidad de bombeo balanceada por aire.	56
2.2.4 Unidad de bombeo Mark II.....	56
2.3 VENTAJAS DEL BOMBEO MECÁNICO.....	57
2.4 DESVENTAJAS Y LIMITACIONES	58
2.5 RANGO DE APLICACIÓN DE BOMBEO MECANICO	58

3. METODOLOGÍA RIFTS	59
3.1 ANTECEDENTES	59
3.2 DEFINICIONES	60
4. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE CONFIABILIDAD PARA BOMBEO MECÁNICO BASADO EN LA METODOLOGÍA RIFTS	63
4.1 FUNCIÓN REQUERIDA DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL	63
4.2 DELIMITACIÓN Y GENERALIDADES DEL MODELO DE CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO BOMBEO MECÁNICO	64
4.3 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO.....	65
4.4 ESTRUCTURA DE LA INFORMACIÓN DE FALLA.....	67
4.4.1 falla Reparable (intervención menor)	67
4.4.2 Falla no reparable (intervencion mayor)	68
4.4.2.1 Razon del pulling	69
4.4.2.2 Item o componente fallado.....	71
4.4.2.3 Subcomponentes fallado.....	71
4.4.2.4 Descriptor de falla	72
4.4.2.5 Causa raíz de la falla	74
4.4.2.6 Censura de la falla	75
5. INDICADORES DE CONFIABILIDAD.....	77
5.1 ÍNDICE DE FALLA.....	77
5.2 ÍNDICE DE PULLING (INTERVENCIÓN MAYOR)	78
5.3 ÍNDICE DE INTERVENCIÓN MENOR	79
5.4 DISTRIBUCIÓN Y PROMEDIO DE RUNLIFE DE LOS SISTEMAS RETIRADOS	80
5.5 DISTRIBUCIÓN Y PROMEDIO DE RUNLIFE DE LOS SISTEMAS FALLADOS	80

5.6 DISTRIBUCIÓN Y PROMEDIO DE RUNLIFE DE LOS SISTEMAS OPERATIVOS.....	81
5.7 FUNCIÓN DE CONFIABILIDAD Y MTBF	81
5.8 MTBP (MEAN TIME BEFORE PULLING).....	85
6. APLICACIÓN DEL MODELO DE CONFIABILIDAD PARA BOMBEO MECÁNICO BASADO EN LA METODOLOGÍA RIFTS EJECUTADO CON EL SOFTWARE AVOCET PRODUCTIONS OPERATIONS	87
6.1 REPORTES DE SERVICIOS.....	88
6.1.1 Daily Operational Brief Report	89
6.1.2 RSS Corporativo	89
6.2 INSTALACIÓN Y REGISTRO DEL SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO DE FONDO EN LA BASE DE DATOS AVM.	91
6.3 REGISTRÓ DE INTERVENCIONES MENORES EN LA BASE DE DATOS AVM.	94
6.4 REGISTRO DE PULLING DE BOMBAS DE SUBSUELO EN LA BASE DE DATOS AVM.....	95
6.5 ANÁLISIS DE FALLA Y CAUSA RAIZ EN PLANTILLA DE MICROSOFT ACCESS	96
6.6 IMPORTACIÓN DE LA INFORMACIÓN ALMACENADA Y DESARROLLO DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	104
6.6.1 Numero de pulling.....	106
6.6.2 Numero de fallas.....	107
6.6.3 Numero de intervenciones menores	109
6.6.4 Número de intervenciones totales.....	110
6.6.5 Numero de pozos activos con sistema de levantamiento bombeo mecánico	112
6.6.6 Indice de pulling	114
6.6.7 Indice de falla.....	116
6.6.8 Indice de intervenciones menores	117

6.6.9	Indice de intervenciones totales.....	119
6.6.10	Run life de los sistemas retirados	121
6.6.11	Run life de los sistemas fallados	122
6.6.12	Run life de los sistemas operativos.....	123
6.6.13	Run life promedio total del trimestre	125
6.6.14	MTBF (Mean Time Before Failure)	126
6.6.15	MTBP (Mean Time Before Pulling)	135
7.	ESTADÍSTICAS ADICIONALES	144
7.1	CAMPO MORICHE	144
7.1.1	Esquema de pozos operativos.....	144
7.1.2	Razón del pulling	145
7.1.3	Subcomponente fallado	146
7.1.4	Causa raíz.....	147
7.1.5	Costos.....	148
7.2	CAMPO ABARCO.....	149
7.2.1	Esquema de pozos operativos.....	149
7.2.2	Razon del Pulling	150
7.2.3	Subcomponente fallado	151
7.2.4	Causa raíz.....	152
7.2.5	Costos.....	152
7.3	CAMPO JAZMIN.....	153
7.3.1	Esquema de pozos operativos.....	153
7.3.2	Razon del pulling	154
7.3.3	Subcomponente fallado	156
7.3.4	Causa raíz.....	157
7.3.5	Costos.....	157
7.4	CAMPO GIRASOL.....	158
7.4.1	Esquema de pozos operativos.....	158
7.4.2	Razon del pulling	159

7.4.3 Subcomponente fallado	161
7.4.4 Causa raíz.....	162
7.4.5 Costos.....	163
7.5 CAMPO NARE-UNDERRIVER	163
7.5.1 Esquema de pozos operativos.....	163
7.5.2 Razon del pulling	165
7.5.3 Subcomponente fallado	166
7.5.4 causa raíz	167
7.5.5 Costos.....	168
8. CONCLUSIONES	169
9. RECOMENDACIONES.....	172
BIBLIOGRAFÍA.....	173
ANEXOS.....	175

LISTA DE FIGURA

	Pág.
Figura 1. Mapa de localización de los campos de la Asociación Nare.....	22
Figura 2. Columna estratigráfica generalizada Asociación Nare.....	28
Figura 3. Corte estructural cuenca del Valle del Magdalena medio	29
Figura 4. Mapa de presiones y profundidades	30
Figura 5a y 5b. a) Acción ascendente de bombeo en bombas de subsuelo. b) Acción descendente de bombeo en bombas de subsuelo.....	34
Figura 6. Motor.....	35
Figura 7. Manivela	36
Figura 8. Contrapeso	36
Figura 9. Prensa estopa.....	37
Figura 10. Barra lisa.....	38
Figura 11. Cabezal pozo	39
Figura 12. Unidad de bombeo mecánico convencional	40
Figura 13. Tubería de producción	41
Figura 14. Sarta de varillas	42
Figura 15. Centralizadores.....	42
Figura 16. Barra de peso	43
Figura 17. Componentes de la bomba del subsuelo.....	44
Figura 18. Barril o cilindro de la bomba	45
Figura 19. Émbolo o pistón	46
Figura 20. Válvulas viajeras y fijas.....	47
Figura 21. Bomba de tubería	48
Figura 22. Bomba de insertar o de varillas	49
Figura 23. Bomba de insertos de anclaje en el tope	51
Figura 24. Bomba de insertos con anclaje en la base	52

Figura 25. Nomenclatura bombas de subsuelo	54
Figura 26. Unidad de bombeo convencional.....	55
Figura 27. Unidad de bombeo balanceada por aire	56
Figura 28. Unidad de bombeo MARK II	57
Figura 29. Delimitación del sistema de bombeo mecánico	66
Figura 30. Falla Reparable y Falla no Reparable.....	68
Figura 31. Árbol de clasificación de componentes y subcomponentes.....	71
Figura 32. Gráfica de confiabilidad	84
Figura 33. Área bajo la curva de la función de confiabilidad MTBF	85
Figura 34. Área bajo la curva de la función de confiabilidad MTBP	86
Figura 35. Diagrama de ejecución de modelo de confiabilidad para bombeo mecánico	88
Figura 36. Logo del departamento de Drilling & Well Services.	89
Figura 37. Visualización del Daily Operational Brief Report.....	90
Figura 38. Visualización del reporte RSS Corporativo.	91
Figura 39. Visualización Registro de Instalación de Bomba Mecánica en la base de datos AVM diligenciado.....	94
Figura 40. Visualización Registro intervenciones menores en la base de datos AVM diligenciado.	95
Figura 41. Visualización Registro de Pulling y causa raíz por falla de Tubería en la base de datos AVM diligenciado totalmente.	101
Figura 42. Visualización Registro de Pulling por fallas diferente a tubería y varilla en la base de datos AVM diligenciado.....	101
Figura 43. Visualización Registro análisis de falla y causa raíz en plantilla de Microsoft Access.....	102
Figura 44. Visualización Registro análisis de falla y causa raíz en la base de datos AVM diligenciado.	103
Figura 45. Visualización pestaña registro de instalación de bombeo mecánico.	104
Figura 46. Visualización pestaña registro de desinstalación del sistema de fondo.....	105

Figura 47. Visualización pestaña registro de intervenciones menores.	105
Figura 48. Visualización cuadro 7 de las formas Ministeriales.....	113
Figura 49. Visualización Organización de la tabla 32	127
Figura 50. Grafica de función de confiabilidad para fallas Campo Moriche.	129
Figura 51. Grafica de función de confiabilidad para fallas Campo Abarco.....	130
Figura 52. Grafica de función de confiabilidad para fallas Campo Jazmin.....	131
Figura 53. Grafica de función de confiabilidad para fallas Campo Girasol.....	132
Figura 54. Grafica de función de confiabilidad para fallas Campo Nare- Underriver	133
Figura 55. Graficas de función de confiabilidad para fallas de cada Campo de la Asociación Nare.	134
Figura 56. Grafica de función de confiabilidad para Pulling de Campo Moriche.	138
Figura 57. Grafica de la función de confiabilidad para Pulling de Campo Abarco.	139
Figura 58. Grafica de la Función de confiabilidad para Pulling de Campo Jazmín.	140
Figura 59. Grafica de la Función de confiabilidad para Pulling de Campo Girasol.	141
Figura 60. Grafica de la Función de confiabilidad para Pulling de Campo Nare-Underriver.	142
Figura 61. Graficas de función de confiabilidad para Pulling de cada Campo de la Asociación Nare.	143
Figura 62. Grafica de Run-life status de los pozos de Campo Moriche.	145
Figura 63. Grafica de Razón del Pulling de los pozos de Campo Moriche.	146
Figura 64. Grafica de Subcomponente Fallado de los pozos de Campo Moriche.	147
Figura 65. Grafica de Causa raíz de los pozos de Campo Moriche.....	148
Figura 66. Grafica de Costos por fallas de los pozos de Campo Moriche.	148
Figura 67. Grafica de Run-life status de los pozos de Campo Abarco.....	149
Figura 68. Grafica de Razón del Pulling de los pozos de Campo Abarco.....	150

Figura 69. Grafica del Subcomponente Fallado de los pozos de Campo Abarco.	151
Figura 70. Grafica de la Causa raíz de los pozos de Campo Abarco	152
Figura 71. Grafica de Costos por fallas de los pozos de Campo Abarco.	153
Figura 72. Grafica de Run-life status de los pozos de Campo Jazmín.	154
Figura 73. Grafica de la Razón del Pulling de los pozos de Campo Jazmín.	155
Figura 74. Grafica de subcomponente Fallado de los pozos de Campo Jazmín.	156
Figura 75. Grafica de la causa raíz de los pozos de Campo Jazmín.	157
Figura 76. Grafica de costos por fallas de los pozos de Campo Jazmín.	158
Figura 77. Grafica de Run-life status de los pozos de Campo Girasol.	159
Figura 78. Grafica de Razón del Pulling de los pozos de Campo Girasol.	160
Figura 79. Grafica Subcomponente Fallado de los pozos de Campo Girasol.	161
Figura 80. Grafica de la causa raíz de los pozos de Campo Girasol.	162
Figura 81. Grafica de Costos por fallas de los pozos de Campo Girasol.	163
Figura 82. Grafica de Run-life status de los pozos de Campo Nare-Underriver.	164
Figura 83. Grafica de Razón del Pulling de los pozos de Campo Nare-Underriver.	166
Figura 84. Grafica del Subcomponente Fallado de los pozos de Campo Nare-Underriver.	167
Figura 85. Grafica de la Causa raíz de los pozos de Campo Nare-Underriver. ...	168
Figura 86. Grafica de costos por fallas de los pozos de Campo Nare-Underriver.	168

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Distribución de pozos por sistema de levantamiento	23
Tabla 2. Propiedades petrofísicas.....	29
Tabla 3. Geometría de las unidades de bombeo	55
Tabla 4. Lista de intervenciones menores	67
Tabla 5. Lista de componentes y subcomponentes	72
Tabla 6. Lista de descripciones de falla	73
Tabla 7. Lista de causas raíz de la falla	74
Tabla 8. Metalurgia de los componentes de las bombas de subsuelo usados en los campos de la Asociación Nare.	92
Tabla 9. Número de Pulling.....	106
Tabla 10. PULLING de los meses de febrero, marzo y abril	107
Tabla 11. Número de Fallas.....	108
Tabla 12. Fallas de febrero, marzo y abril.....	109
Tabla 13. Número de intervenciones menores.	109
Tabla 14. Intervenciones febrero, marzo y abril.....	110
Tabla 15. Número de intervenciones totales.....	111
Tabla 16. Intervenciones totales de febrero, marzo y abril	112
Tabla 17. Número de pozos activos con bombeo mecanico.....	112
Tabla 18. Número de pozos activos con bombeo mecánico.....	114
Tabla 19. Índice de Pulling.....	114
Tabla 20. Índice de Pulling.....	115
Tabla 21. Índice de falla.....	116
Tabla 22. Índice de falla	117
Tabla 23. Índice de intervenciones menores.	118
Tabla 24. Índice de intervalos menores	119

Tabla 25. Índice de intervenciones totales.....	119
Tabla 26. Índice de intervenciones totales.....	120
Tabla 27. Run-Life de los sistemas retirados.....	121
Tabla 28. Run-Life promedio de los sistemas retirados en los campos de la Asociación Nare.....	122
Tabla 29. Run-life promedio de los sistemas fallados en los campos de la Asociación Nare.....	123
Tabla 30. Run-life de los sistemas operativos.....	124
Tabla 31. Run-life promedio de los sistemas operativos en los campos de la Asociación Nare.....	125
Tabla 32. Run-life promedio total del trimestre en los campos de la Asociación Nare.....	126
Tabla 33. Censura MTBF.....	126
Tabla 34. Formulario MTBF.....	128
Tabla 35. MTBF de cada campo de la Asociación Nare.....	128
Tabla 36. Censura MTBP.....	135
Tabla 37. Formulario MTBP.....	136
Tabla 38. MTBP de cada campo de la Asociación Nare.....	137
Tabla 39. Run-life status de los pozos de Campo Moriche.....	144
Tabla 40. Razón del Pulling de Campo Moriche con corte al final del periodo evaluado.....	145
Tabla 41. Subcomponente fallado en Campo Moriche con corte al final del periodo evaluado.....	146
Tabla 42. Causa raíz en Campo Moriche con corte al final del periodo evaluado.....	147
Tabla 43. Run-life status de los pozos de Campo Abarco.....	149
Tabla 44. Razón del Pulling de Campo Abarco.....	150
Tabla 45. Subcomponente fallado en Campo Abarco.....	151
Tabla 46. Causa raíz en Campo Abarco.....	152
Tabla 47. Run-life status de los pozos de Campo Jazmín.....	154

Tabla 48. Razón del Pulling de Campo Jazmín.....	155
Tabla 49. Subcomponente fallado en Campo Jazmín.	156
Tabla 50. Causa raíz en Campo Jazmín.....	157
Tabla 51. Run-life status de los pozos de Campo Girasol.	159
Tabla 52. Razón del Pulling de Campo Girasol.	160
Tabla 53. Subcomponente fallado en Campo Girasol.....	161
Tabla 54. Causa raíz en Campo Girasol.....	162
Tabla 55. Run-life status de los pozos de Campo Nare-Underriver.	164
Tabla 56. Razón del Pulling de Campo Nare-Underriver.	165
Tabla 57. Subcomponente fallado en Campo Nare-Underriver.	166
Tabla 58. Causa raíz en Campo Nare-Underriver.....	167

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Árbol de decisiones del modelo	176

RESUMEN

TITULO: IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE CONFIABILIDAD PARA BOMBEO MECÁNICO BASADO EN LA METODOLOGÍA RIFTS APLICADO A LOS CAMPOS DE LA ASOCIACIÓN NARE^{*}

AUTOR: LUDWING SMITH RINCON VARGAS^{**}.

PALABRAS CLAVES: Sistema de levantamiento artificial, Asociación Nare, Bombeo mecánico, Metodología RIFTS

DESCRIPCION:

Existen diversos factores que pueden afectar el buen funcionamiento de los sistemas de levantamiento artificial, se intenta identificar como estos pueden afectar el historial de producción de los pozos y que tan repetitivos son estos problemas en los campos de la Asociación Nare para así determinar una mejor estrategia y aumentar la vida útil de estos.

La implementación de un modelo de confiabilidad para bombeo mecánico nos permitirá llevar un control detallado en el cual se podrán contabilizar los días de funcionamiento de los sistemas, las razones por las cuales se sacaron estos (si fallo o no fallo), el número de intervenciones a pozo, seguimiento de piezas diseñadas para control de problemas repetitivos, entre otros.

En la actualidad existe la metodología RITFS (Sistema de confiabilidad de la información y seguimiento de fallas) el cual es un modelo que se encarga de llevar seguimiento a las bombas de subsuelo del sistema de levantamiento Bombeo electrosumergible basado en la norma internacional ISO 14224 y la práctica recomendada API RP 11S1 estableciéndose como un estándar internacional en el manejo de información de confiabilidad para equipos de bombeo electrosumergible.

Este trabajo busca adaptar dicha metodología al sistema de levantamiento artificial Bombeo mecánico y hacer su implementación mediante una base de datos la cual permita hacer un análisis estadístico que me permita pronosticar el tiempo de vida esperado de los sistemas antes de una falla, el tiempo de vida esperado de los sistemas antes de desinstalación, identificar las causas de falla más concurrentes y los subcomponentes del sistema más afectados para tomar acciones correctivas y así aumentar el tiempo de vida de los sistemas instalados en los campos la Asociación Nare.

^{*} Trabajo de Grado.

^{**} Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, Escuela de Ingeniería de petróleos, Directores: Álvaro Cañas, Erik Montes

ABSTRACT

TITLE: IMPLEMENTATION OF REALIABILITY MODEL FOR MECHANICAL PUMPING BASED IN RIFTS METODOLOGY APPLIED TO NARE ASSOCIATION FIELDS^{*}.

AUTHOR: LUDWING SMITH RINCON VARGAS^{**}

KEYWORDS: Artificial lifts systems, Nare Association, Mechanical pumping, RIFTS Methodology.

DESCRIPTION

There are different factors than they can affect the smooth operation of artificial lifts systems, it is trying to identify how these can affect the production history of the wells, and how these problems are repetitive in the Nare Association fields and determine a better strategy and increase the useful life of these.

The implementation of reliability model for mechanical pumping will allow us to keep a detailed control in which you can calculate the days of operation of the systems, the reasons why these are removed (if failure or not failure), the number of well interventions, tracking of parts designed to control repetitive problems, amongst other.

Currently exists RIFTS methodology (Reliability Information and Tracking Failure System), which is a model that is responsible for carrying up on underground pumps of electrosumergible lifting system based on the international standard ISO 14224 and recommended Practice API RP 11S1 establishing itself as an international standard in information management reliability for electrosumergible pumping equipment.

This paper seeks to adapt this methodology to artificial lift system mechanical pumping and make its implementation through a database to which allows to make a statistical analysis that allows predict the hoped life time of the systems before failure, the hoped life time of the systems before pulling, identify the causes more concurrent and the subcomponents most affected to take correctives actions and increase the run life of the systems installed in the Nare association fields.

* Degree Project.

** Physical-Chemical Engineering Faculty, School Petroleum Engineering, Directors: Alvaro Cañas, Erik Montes

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, existe casi 1 millón de pozos productores de petróleo en todo el mundo, de los cuales más del 90% de ellos emplea alguna forma de levantamiento artificial para lograr niveles de producción mejorada¹. El 85% de los pozos utilizan el mecanismo de Bombeo Mecánico² tal y como se usan en los campos de la Asociación Nare, por lo cual es importante implementar un modelo donde se pueda identificar información como: Identificación del pozo, fechas de instalación, fecha de falla y retiro del sistema de fondo, Información general del sistema instalado e Información específica cuando suceda una falla para llevar un seguimiento mejorado de cada sistema instalado en campo.

Esto con el fin de llevar información estadística que permita calcular indicadores como tiempo de vida del sistema de levantamiento, índices de intervención, índices de falla, análisis de las fallas más comunes, tipos de run-life, tiempo de vida esperado de los sistemas antes de una falla y el tiempo de vida esperado de los sistemas antes de desinstalación.

En la asociación Nare se inicia el proyecto de implementación del modelo de confiabilidad para bombeo mecánico basado en la metodología RIFTS, en el cual se busca recopilar dicha información en la base de datos Avocet Production Operations de los meses Febrero, Marzo y Abril del año 2016, software que al final del ejercicio nos ayudara a tener acceso a la información de manera organizada.

¹ K: "HIGH Abraham Prices, Instability Keep Activity High," World Oil 227, no.9 (Septiembre de 2006, <http://www.worldoil.com>)

² Manual de Bombas de profundidad, Bolland BENDI 7.5-1113, Pagina 1, Introducción.

El contrato de Asociación Nare fue firmado en septiembre 3 de 1980, con fecha efectiva a partir del 1 de septiembre del mismo año, cubriendo una extensión original de 383.267 acres (155.106 hectáreas).

El descubrimiento del 50% de esta extensión original, del 25% adicional y la del área original no productiva se hizo el 31 de agosto 1986, 31 de agosto de 1988 y el 31 de agosto de 1990, respectivamente.

La asociación Nare actualmente es una asociación entre Ecopetrol S.A y Mansarovar Energy Colombia Ltda. pactada en el 2006 como una alianza estratégica entre estas dos empresas la cual consta de los siguientes campos productores: Jazmín, Girasol, Nare-Underriver, Moriche, Abarco y Chicalá (actualmente en pruebas de viabilidad).

Los campos Jazmín, Girasol, Moriche y Abarco disponen de rutas de acceso por la ruta del sol, el campo Nare-Underriver por vía fluvial por el río Magdalena desde el muelle de campo Jazmín hasta el muelle de Nare (Pozo Nare 37) y por vía terrestre desde los municipios de Puerto Nare y Puerto Berrio.

Los sistemas de levantamiento artificial usados en los campos de la Asociación Nare son: Bombeo Mecánico y Bombeo por cavidades progresivas (PCP) aplicados en un total de 1290 pozos en total, distribuidos como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Distribución de pozos por sistema de levantamiento

CAMPO	BOMBEO MECANICO	PCP
ABARCO	85	3
GIRASOL	138	1
JAZMIN	355	1
MORICHE	539	29
NARE-UNDERRIVER	124	9

CAMPO	BOMBEO MECANICO	PCP
CHICALA	6	0
TOTAL	1247	43

Fuente: MANSAROVAR Formas Ministeriales de Producción, Febrero 2016,

1.2 IDENTIFICACIÓN DE FORMACIONES

Las rocas del yacimiento se componen por los depósitos de arenas fluviales en la Zona B y la Zona A. Está compuesto por múltiples cuerpos de areniscas de origen fluvial, depositados en un ambiente de canales meándricos (meandering stream), canales distributarios y trenzados (Braided streams). Estas areniscas conforman la secuencia de las zonas A y B del Grupo Chuspas. Adicionalmente, se reconoce la formación de paleo-suelos y la presencia de bioturbación intensa.

De acuerdo con el ambiente de depósito es claro que no se presenta continuidad lateral de los cuerpos areníticos que en promedio presentan espesores entre 8 y 30 pies, de acuerdo con la migración constante de los canales, supeditados a los cambios en el caudal y a su ubicación dentro del sistema fluvial, lo que dificulta en gran medida la correlación de los cuerpos de areniscas.

1.3 COLUMNA ESTRATIGRAFICA

El desarrollo sedimentológico y estratigráfico y su disposición dentro del área del Contrato de la Asociación Nare se caracteriza por la presencia de una secuencia siliciclástica durante toda su expresión dispuesta está en intercalaciones de areniscas y arcillolitas continentales de edad Terciario Superior, que se encuentran en contacto discordante, supra yaciendo un basamento de

composición Ígneo-Metamórfica, mediante un hiato aproximado de 112 m, ver figura 2. Se caracterizan las siguientes formaciones:

- Complejo Ígneo Metamórfico (PRE-TERCIARIO): El Basamento corresponde a un complejo ígneo – metamórfico que se encuentra infra yaciendo una secuencia sedimentaria de origen fluvial que abarca desde el Oligoceno hasta el Holoceno, de manera discordante.
- Mioceno (Formación Zorro - Diamante): El Grupo Zorro es una secuencia de sublitoarenitas que varían texturalmente de grano medio a conglomerático, intercaladas con niveles arcillolíticos que varían de verde a gris, siendo estas últimas las que se encuentran en mayor proporción. Presentan en promedio 80% de cuarzo y 20% de fragmentos líticos, pobremente calibrados, lo que indica la cercanía al área fuente y la influencia de un régimen sedimentario distinto al que caracteriza la secuencia infra yacente.

Esta secuencia está saturada de agua fresca y está en contacto discordante sobre el Grupo Chuspas.

El tipo de trampa en el Área Moriche es similar a el mecanismo de los campos Girasol y Jazmín, que es principalmente de tipo estructural, formado por una o más fallas normales de bajo ángulo, con el bloque hundido buzando hacia el Este (como es el caso de las fallas de Cocorná y Girasol en el área de Abarco), lo cual limita la migración de aceite entrampándolo en cada uno de los bloques.

- Oligoceno Indiferenciado (Grupo Chuspas): El Grupo Chuspas se encuentra dispuesto de manera discordante supra yaciendo el basamento mediante la presencia de un hiato que pone en contacto, rocas de edad jurásico superior con rocas terciarias de edad Oligoceno como se mencionó anteriormente. Estos intervalos fueron caracterizados y diferenciados entre sí, de acuerdo con

sus propiedades petrofísicas, su disposición estratigráfica y su expresión estructural. La zona A no ha sido aún estudiada con detalle, por lo que no se puede asegurar la presencia de hidrocarburos. Se encuentra caracterizado por la presencia de un evento erosivo regional con expresión en todo el campo, dividiendo el reservorio B en dos segmentos con propiedades petrofísicas similares y el mismo ambiente sedimentario de depositación. De acuerdo con la información obtenida en todos los pozos, la Zona A, presenta areniscas con propiedades petrofísicas excelentes y probablemente prospectivas (que aún no han sido probadas en el campo), pero que en el sector más norte pueden ser prospectivas. La zona B por su parte, presenta una buena acumulación de hidrocarburos de acuerdo con los datos encontrados en todos los pozos y los resultados de producción. El reservorio B a su vez se encuentra dividido en tres intervalos: Zona 2 (Tope B - Tope Conglomerado), zona 3 (Tope conglomerado - Base conglomerado) y Zona 4 (Base conglomerado - Basamento). Esta división tuvo lugar al poder correlacionar otro evento erosivo regional (mencionado con anterioridad), de alta energía, caracterizado por una variación textural y composicional importante que tiene expresión lateral en todo el campo y que dividió el reservorio B en dos segmentos productivos.

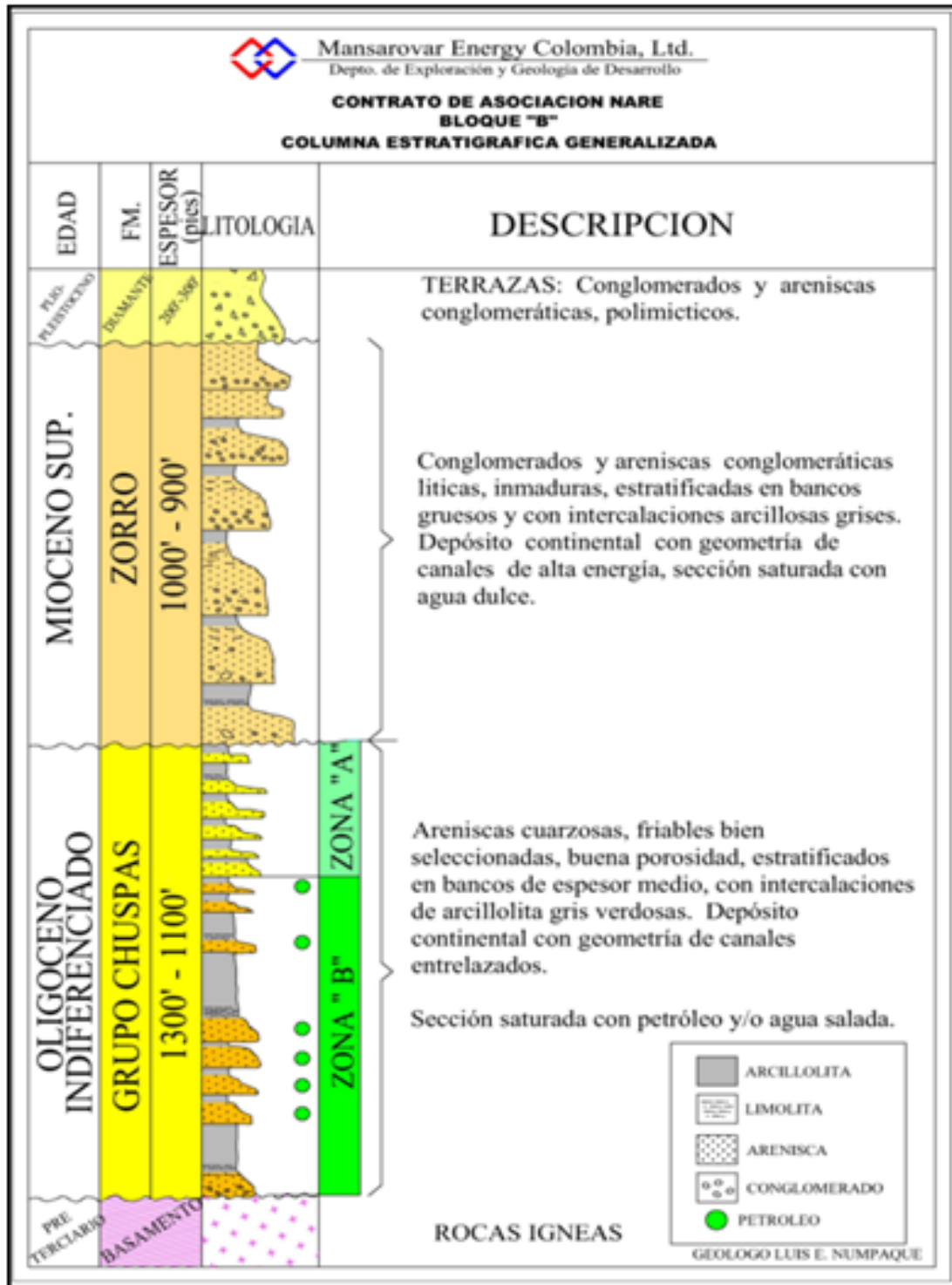
En la figura número 3 se muestra un corte estructural generalizado del Valle Medio del Magdalena, donde se puede destacar la posición de la Falla de Velásquez y las posibles rutas de migración del Hidrocarburo. Es importante mencionar que la Fm. Tuné descrita en el corte equivale a la Zona A en el campo Moriche y la Fm. Guaduas, toma en el Campo Moriche el nombre de Zona B, de acuerdo con la correlación, edad y propiedades de las formaciones.

1.4 PROPIEDADES PETROFISICAS

Los valores de porosidad varían entre 21 a 34% en la zona A y entre 24% a 26% en la zona B. Así mismo, la permeabilidad varía entre 40 a 330 md. Esta información se obtuvo a partir de los registros eléctricos y los corazones tomados en las zonas comerciales.

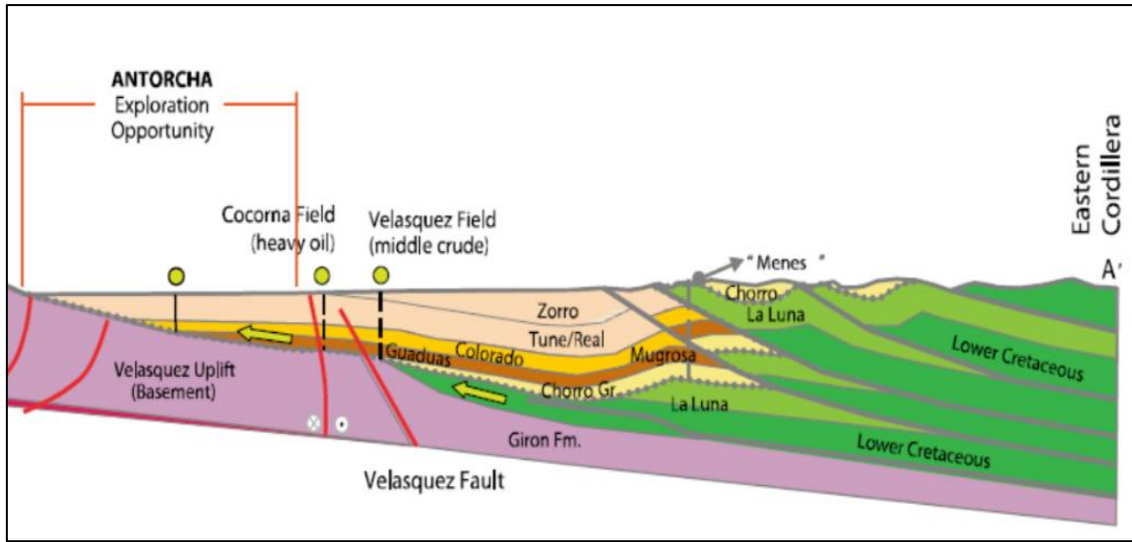
De acuerdo con nuestra evaluación en la tabla 2, se establecieron los siguientes resultados de porosidad, permeabilidad, saturación de agua y arena neta petrolífera:

Figura 2. Columna estratigráfica generalizada Asociación Nare



Fuente: MANSAROVAR ENERGY

Figura 3. Corte estructural cuenca del Valle del Magdalena medio



Fuente: MANSAROVAR ENERGY

Tabla 2. Propiedades petrofísicas

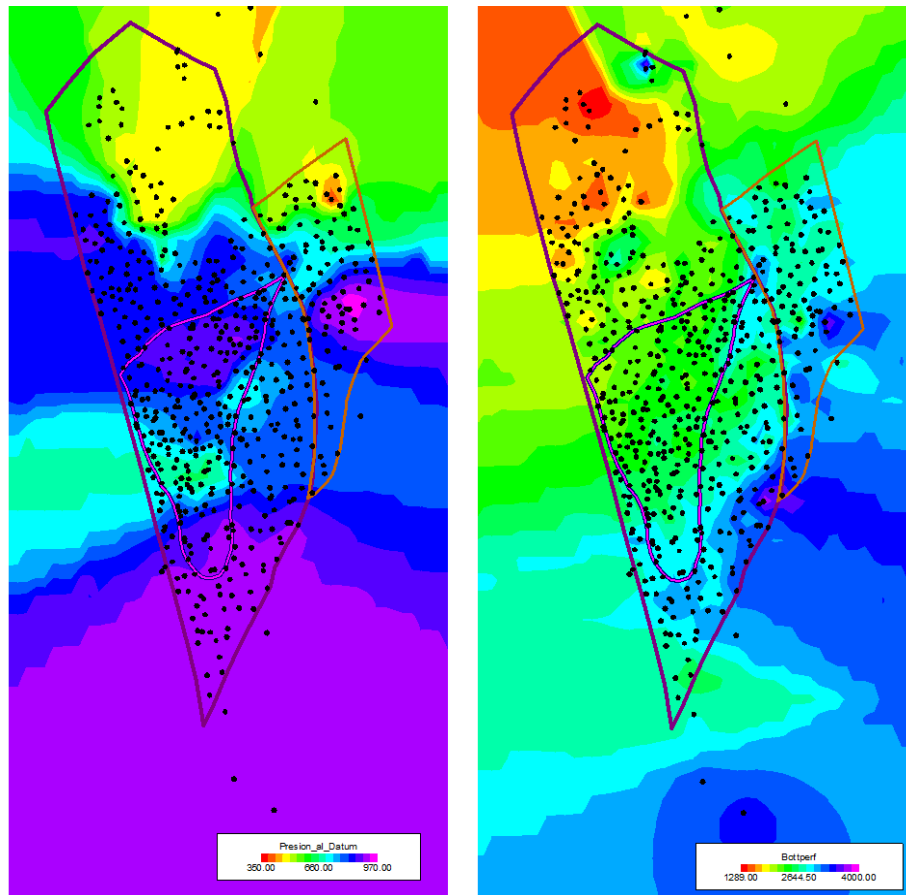
	Escenario	PHIE [%]	SW [%]	k [Md]	Netpay [Ft]
ZONA 2	P10	27.3	36	700	110
	P50	25.3	39.5	460	75
	P90	21.5	42	220	40
ZONA 4	P10	28.5	33.8	800	38
	P50	25.5	40.5	425	18
	P90	22.5	34.2	225	5

Fuente: MANSAROVAR ENERGY

1.5 MAPA DE PRESIONES

En la figura 4 se muestra el mapa de presiones de los campos de la Asociación Nare, donde se puede observar que las zonas sur presentan las mayores presiones, dado que tiene mayor profundidad. En la zona norte, las presiones son bajas más por la profundidad de los pozos que por depletamiento del sector.

Figura 4. Mapa de presiones y profundidades



Mapa de Presiones

Mapa de Profundidades

Fuente: MANSAROVAR ENERGY

1.6 MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTDA

1.6.1 Generalidades Mansarovar Energy Colombia Ltd. Es una compañía petrolera dedicada a la exploración, explotación, almacenamiento y transporte de crudo pesado, este es extraído por el método de inyección cíclica de vapor que calienta el crudo en los pozos petrolíferos, reduce su viscosidad y por ende es más sencilla su extracción desde el pozo hacia los tratadores y el almacenaje, inyectando actualmente 26878,6 MMBTU con una calidad del 80%. La compañía

pertenece a la unión de las firmas petroleras Sinopec y ONGC Videsh (OVL), basadas en China e India, respectivamente y tiene como principal aliado a la empresa Colombiana estatal petrolera ECOPETROL.

El crudo pesado que extrae es de 20.5°, 11.5°, 12.5° y 13.5° API promedio de los campos Velásquez, Jazmín, Girasol, Nare-Underriver, Moriche y Abarco respectivamente, es transportado a través del oleoducto con nafta craqueada promedio de 68° API como agente diluyente, para finalmente en la estación el Sauce, obtener un crudo pesado con 19° API y ser comercializado.

La compañía tiene como objetivos mantener relaciones armónicas con el medio ambiente, sus colaboradores, la comunidad y el gobierno nacional manteniendo en producción los yacimientos de hidrocarburos descubiertos, optimizando el recobro de los campos de producción, y siendo reconocidos como un aliado estratégico que garantiza una operación eficiente, rentable y con control total en todos los procesos.

1.6.2 Historia Nuestra historia operativa se remonta a 1940 con el descubrimiento y desarrollo del campo Velásquez, operación a la que se unió en 1967 la Concesión Cocorná 844 y en 1980 La Asociación Cocorná con el desarrollo de campo Teca, en ese tiempo operado por Texas Petroleum Company.

En 1994 la compañía OMIMEX RESOURCES INC adquiere el campo petrolero Velásquez por medio de una licitación y un año después adquirió el Oleoducto Velásquez-Galán.

En 2005, durante la ronda abierta de negociación las compañías OIL and Natural Gas Corporation Limited (ONGC) compañía petrolera de India y Petroleum & Chemical Corporation (SINOPEC Corp.) de la China, demuestran su interés por comprar las acciones de OMIMEX RESOURCES INC y fue hasta 2006, después

de varias rondas de negociación, que esta unión da nacimiento a MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTDA.

En 2006 MANSAROVAR desarrolla negocios en asocio con ECOPETROL denominados: Asociación NARE operando los campos Underriver-Nare, Jazmín, Girasol, Moriche, Abarco, Chicalá (campo descubierto no desarrollado). Además de manejar nuestras operaciones privadas en Campo Velázquez.

2. BOMBEO MECÁNICO³⁴

El bombeo mecánico es el sistema de levantamiento artificial más usado en el mundo. Consiste fundamentalmente de una bomba de subsuelo de acción reciprocante, abastecida de energía a través de una sarta de varillas. La energía proviene de un motor eléctrico, o de combustión interna, la cual mueve una unidad de superficie mediante un sistema de engranajes y correas. El bombeo mecánico convencional tiene su principal aplicación en el ámbito mundial en la producción de todo tipo de crudos. Para que ocurra la acción del bombeo, el pistón realiza un movimiento reciprocante dentro del barril, la tubería confina la sarta de varillas de succión que acciona a su vez la bomba en el subsuelo; posee válvulas fijas y viajera, las cuales son válvulas de bola y asiento de modo que solo permiten el flujo en una sola dirección hacia la superficie cuando trabajan al 100% de eficiencia.

El volumen encerrado entre estas dos válvulas constituye la denominada cámara de bombeo. Cuando el balancín está en el punto muerto inferior, la válvula fija y viajera se encuentran cerradas. Al comenzar la carrera ascendente, la presión de fondo y el efecto de succión del pistón permiten la apertura de la válvula fija, haciendo que el fluido pase del pozo hacia el interior de la bomba. Al mismo tiempo, la columna de fluido ejerce una presión sobre la válvula viajera la cual permanece cerrada. Durante la carrera ascendente la válvula fija continua permitiendo el paso de fluidos hasta que el pistón llega al punto muerto superior. En este instante, la válvula fija se cierra y comienza la carrera descendente. El pistón se mueve hacia abajo produciendo un punto de compresión. Cuando la presión interna de la cámara de bombeo es superior a la que existe en la válvula

³ORTEGA, Clímaco. Curso Bombeo Mecánico, Bucaramanga, Publicaciones UIS

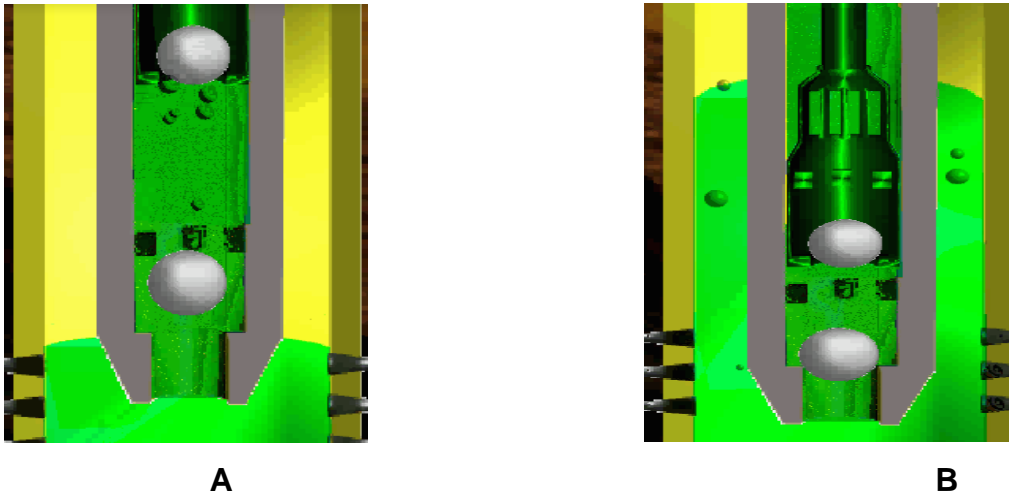
⁴HERNANDEZ, Florencio. Bombeo Mecánico. Bucaramanga, Publicaciones UIS

viejera, esta se abre y el fluido es transferido al pistón hasta llegar al punto muerto inferior, donde se repite el ciclo de bombeo como se muestra en la figura 5^a y 5^b.

2.1 COMPONENTES DEL EQUIPO

Los componentes que conforman el sistema de bombeo mecánico se dividen en dos categorías: Equipo de superficie, equipo de subsuelo y bombas de subsuelo. Estos se describen a continuación más detalladamente para más adelante en este trabajo poder identificar en cada una de las piezas su correcto funcionamiento y sus posibles fallas de causa.

Figura 5a y 5b. a) Acción ascendente de bombeo en bombas de subsuelo. b) Acción descendente de bombeo en bombas de subsuelo.



Fuente: Theta Enterprise, Inc.

2.1.1 Descripción del equipo de superficie

a) MOTOR

Es el encargado de suministrar la energía necesaria a la unidad de bombeo para levantar los fluidos de pozo. Los motores pueden ser de combustión interna o

eléctrica. En la actualidad el tipo de motor más utilizado en la industria petrolera es el motor eléctrico, el cual existe en dos versiones, uno que rota a velocidad constante (baja velocidad) y una potencia que varía entre 5 y 100 hp, el motor de velocidad variable (alta velocidad) cuya potencia varía entre los 10 y 200 hp este último utilizado para alto deslizamiento. (Ver figura 6)

Figura 6. Motor



b) CAJA REDUCTORA

Se utiliza para convertir energía del momento de rotación, de alta a baja velocidad. La máquina motriz se conecta al reductor de velocidad (caja reductora) mediante un juego de correas. El reductor de velocidad puede ser: Simple, doble o triple. La caja reductora doble es la más usada.

c) MANIVELA

Transmite el movimiento de la caja de engranaje a la biela del balancín, la cual está unida a ellos por pines, y están sujetas al eje de baja velocidad de la caja de engranajes, cada una de ellas tiene un número igual de orificios, los cuales generan una determinada carrera del balancín, en ellos se colocan los pines de sujeción de las bielas. El cambio de pines de un hueco a otro se llama cambio de recorrido. (Ver figura 7)

Figura 7. Manivela



d) PESAS O CONTRAPESOS

Se utilizan para balancear las fuerzas desiguales que se originan sobre el motor durante las carreras ascendente y descendente del balancín a fin de reducir la potencia máxima efectiva y el momento de rotación. Estas pesas generalmente, se colocan en la manivela y en algunas unidades sobre la viga principal en el extremo opuesto del cabezote. (Ver figura 8)

Figura 8. Contrapeso



e) PRENSA ESTOPA

Consiste en una cámara cilíndrica que contiene los elementos de empaque que se ajustan a la barra pulida permitiendo sellar el espacio existente entre la barra pulida y la tubería de producción, para evitar el derrame de los fluidos producidos. (Ver figura 9)

Figura 9. Prensa estopa



f) BARRA LISA

Fabricada de material resistente, generalmente se encuentran de diámetros de 1 1/4 y 1 1/2 pulgadas y longitudes de 15 y 22 pies. Soportan el peso de la sarta de varillas, de la bomba y del fluido dentro de la tubería. (Ver figura 10)

Figura 10. Barra lisa

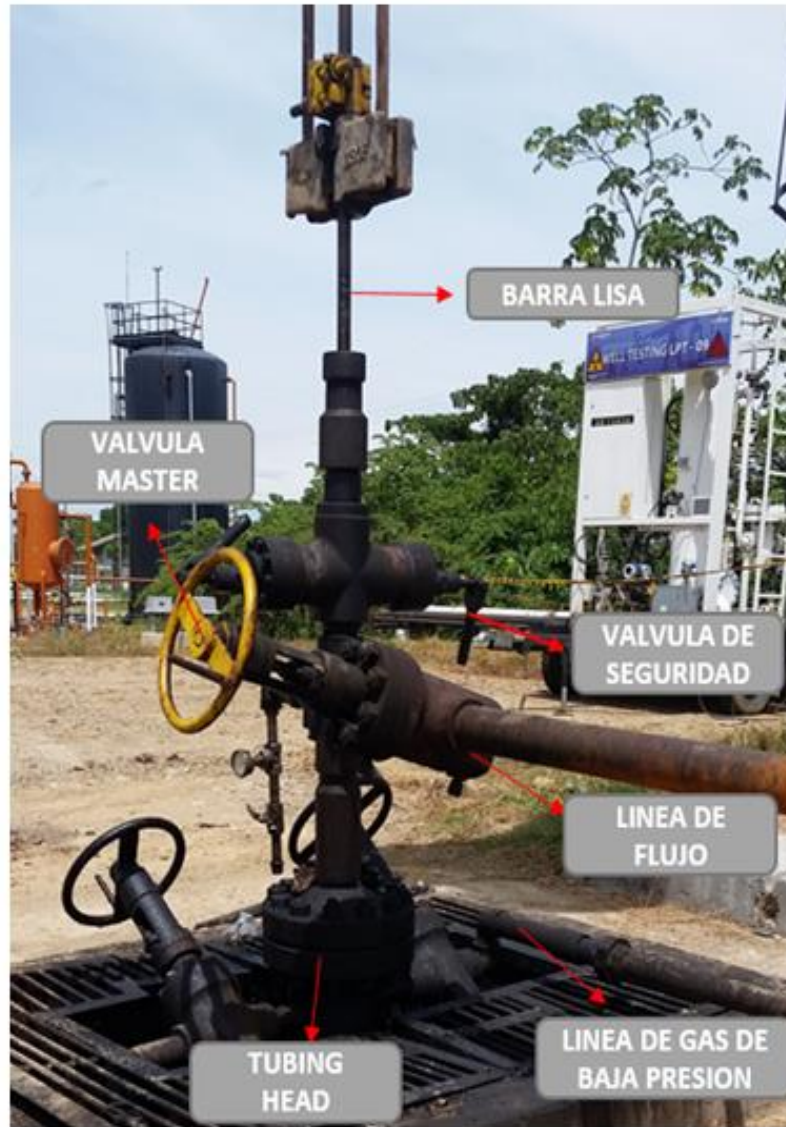


g) CABEZAL DE POZO

En la parte superior se encuentra una válvula de seguridad, más abajo observamos la válvula master que da paso al fluido desde la tubería de producción a la línea de producción la cual debe tener instalada una válvula check para evitar retorno del líquido de la línea de producción general hacia el pozo. Usualmente el anular está conectado con la línea de flujo de gas de baja presión la cual llegará a una estación donde posteriormente será tratado.

A continuación (ver figura 11), se mostrará la imagen del cabezal de pozo y al fondo se podrá observar la estación de tratamiento de la línea de baja.

Figura 11. Cabezal pozo



h) UNIDAD DE BOMBEO

Es una unidad integrada cuyo objetivo es cambiar el movimiento angular del eje del motor a reciproco vertical, a la velocidad apropiada con el propósito de accionar la sarta de varillas y la bomba de subsuelo. Su elemento principal es el balancín, el cual trabaja sobre el principio de una palanca mecánica. Su función

principal es proporcionar el movimiento recíprocante apropiado, con el propósito de accionar la sarta de varillas y estas a su vez a la bomba de subsuelo. Mediante la acción de correas y engranajes se logra reducir las velocidades de rotación. El movimiento rotatorio resultante se transforma en uno recíprocante, a través de la manivela, la biela y el propio balancín. (Ver figura 12)

Figura 12. Unidad de bombeo mecánico convencional



Fuente: El Autor

2.1.2 Descripción del equipo de subsuelo

a) TUBERÍA DE PRODUCCIÓN

Es una serie de tubos que se usan para trasportar el fluido y al mismo tiempo sirven de guía a la sarta de varillas que acciona la bomba. (Ver figura 13)

Figura 13. Tubería de producción



b) SARTA DE VARILLAS

Es el elemento de conexión entre la unidad de bombeo, instalada entre la superficie y la bomba de subsuelo. Mediante ésta se trasmite el movimiento reciproco a la bomba, generalmente son fabricadas en acero y por lo tanto, poseen propiedades de elasticidad, aunque existen varillas de fibra de vidrio y las continuas, cada una de ellas diseñadas para diferentes aplicaciones. (Ver figura 14)

Figura 14. Sarta de varillas



Fuente: Manual de varillas Shaanxi Gaoton Petroleum

c) CENTRALIZADORES

Los centralizadores de varilla de succión son herramientas desarrolladas recientemente, hechas de plástico, nylon, fibra de vidrio, sulfuro de polifenileno las cuales tienen como función:

- Reducir el desgaste excesivo en pozos desviados.
- Reducir cargas al centralizar la varilla, disminuyendo fallas.

Figura 15. Centralizadores



d) BARRAS DE PESO

Las barras de peso junto a los centralizadores, constituyen elementos rígidos que proporcionan al ensamblaje de fondo una gran resistencia al pandeo e incrementan el peso de la sarta. Esta característica es la que garantiza que el

taladro salga completamente recto sin barrigas, escalones y curvas. Es quizás la característica que más se debiera controlar en la configuración del ensamblaje de fondo. Otras de sus funciones son:

Figura 16. Barra de peso



2.1.3 Bombas de subsuelo Es el primer elemento que se debe considerar al diseñar una instalación de bombeo mecánico para un pozo, ya que del tipo, tamaño y ubicación de la bomba depende el resto de los componentes del sistema.

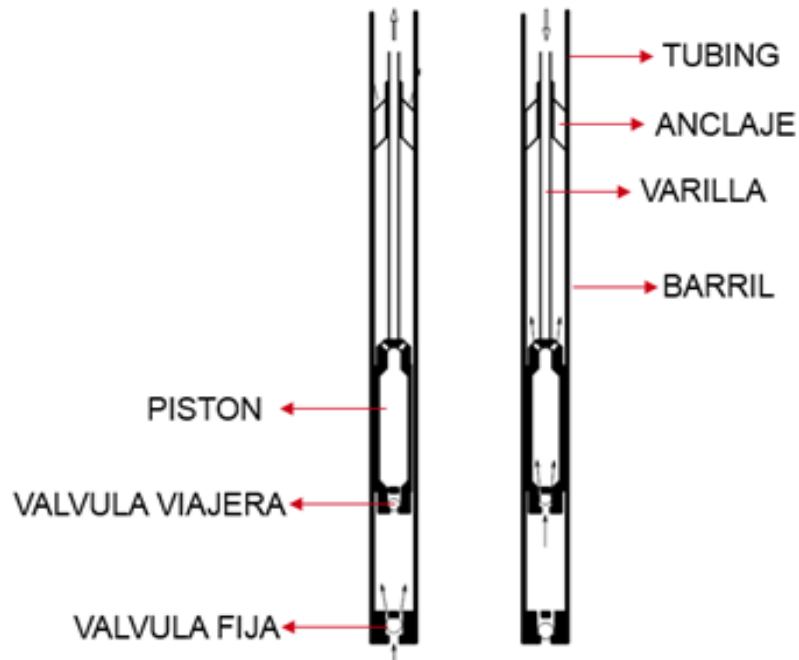
Sus componentes son:

- Barril
- Pistón
- Válvula fija
- Válvula viajera

Las válvulas son check y su acción de apertura y cierre durante el ciclo de bombeo permiten que el fluido sea desplazado a través de la tubería hacia la superficie.

a. COMPONENTES DE LA BOMBA DE SUBSUELO

Figura 17. Componentes de la bomba del subsuelo



Fuente: BOLLAND CIA. "Manual de bombas de subsuelo".

➤ BARRIL O CILINDRO DE LA BOMBA

Son piezas cilíndricas de metal pulido donde se almacena el fluido, y tienen una tolerancia específica, la pared interna es pulida para reducir la fricción con el pistón. El tamaño nominal de la bomba es exactamente el diámetro interno del barril, el espesor de pared es por lo general fabricado en diámetros de $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{8}$, el espesor de pared limita la máxima profundidad de instalación de la bomba, son fabricadas en longitudes de 20-24 Ft.

Existen dos tipos de barriles: barriles para bombas insertas y barriles para bombas de tubería. Estos elementos están disponibles en diferentes longitudes y diámetros que varían de 1-1/16" a 7-3/4".

Existen barriles de paredes delgadas para pozos medianamente profundos, y barriles de pared gruesa para bombas de mayor diámetro o para utilizarlos en pozos más profundos donde las cargas son mayores. (Ver figura 18)

Figura 18. Barril o cilindro de la bomba



Fuente: BOLLAND CIA. "Manual de bombas de subsuelo".

➤ **EMBOLO O PISTON**

Generalmente es el elemento movable dentro de la bomba. Su diámetro determina la capacidad de desplazamiento y su resistencia es menor que la del cilindro.

Los pistones no metálicos pueden ser de copas y de anillos, los cuales son hechos de un plástico especial impregnado de grafito para ayudar a auto lubricarse. Estos pistones tipo anillos se dividen en 2 tipos: Regular Width para utilizar hasta una profundidad de 5000 ft y Wide Design para pozos profundos, esta tiene 3 veces más área de sellado que los regular width. (Ver figura 19)

Figura 19. Émbolo o pistón



Fuente: BOLLAND CIA. "Manual de bombas de subsuelo".

Los pistones tipo copas están compuestos de copas plásticas ensambladas en un plunger mandrel con un espaciador metálico entre cada copa. La selección de estas copas se basa generalmente en la gravedad específica y la temperatura del fluido. Los pistones de este tipo son usados generalmente en pozos con profundidades menores a 3000 ft. Las ventajas de estos pistones es que compensan el desgaste del barril y el bajo costo de los mismos.

➤ **VÁLVULA VIAJERA**

La función principal de la válvula viajera es permitir la entrada de flujo hacia el pistón en su descenso y luego hacer un sello hermético en su carrera ascendente y así permitir que el crudo salga a la superficie.

➤ VÁLVULA FIJA

La función de ésta es facilitar la entrada del fluido desde el pozo hasta el barril de la bomba cuando el pistón inicia su carrera ascendente y cerrar el paso al flujo dentro del sistema tubería-bomba, cuando se inicia la carrera descendente del pistón. En pozos con problemas de arenamiento se recomienda utilizar válvulas y asientos de mayor dureza como son los de carburo de tungsteno o también un doble juego de válvulas y de esta manera aunque se deposite arena en una de las válvulas, el cierre será asumido por la otra, evitando una violenta descarga de fluido a través de la primera incrementando la vida útil de la bomba.

Figura 20. Válvulas viajeras y fijas



Fuente: BOLLAND CIA. "Manual de bombas de subsuelo".

b. TIPOS DE BOMBAS

Las bombas de subsuelo se clasifican de acuerdo a la instalación del Barril.

➤ BOMBA DE TUBERIA

El API ha designado a este tipo de bombas como TH o TP. Esta designación depende del tipo de pistón, y se caracterizan porque el barril hace parte de la sarta de tubería de producción y está conectado en el extremo inferior de la misma. Un nipple en la parte inferior del barril asegura la válvula fija, la cual puede ser instalada o removida con dispositivo, el pistón hace parte de la sarta de varillas, y el barril puede resistir cargas más grandes. Debido a su diseño las válvulas más grandes reducen pérdidas de presión y es más aplicable a fluidos viscosos, reemplazar el barril requiere de equipo de workover, esto ocasiona pérdidas adicionales de producción e incrementa los tiempos y los costos por servicios al pozo, el espacio muerto entre las válvulas es más grande, y es inadecuado para fluidos gaseosos. (Ver figura 21)

Figura 21. Bomba de tubería



Fuente: WEATHERFORD, "Subsurface Rods Pumps, Parts and Accessories", 2008.

➤ BOMBA TH

Son bombas de tubería, con barril de pared gruesa, usada con pistones metálicos, para pozos profundos o de mediana profundidad. Pueden obtenerse en diferentes tipos de metal para adaptarse a los tipos de fluido y las condiciones de servicio (profundidad del pozo, recorrido del pistón y producción deseada). El pistón se baja en la sarta de varillas junto con la válvula fija. Esta bomba es la mejor elección para alta producción con altos cortes de agua.

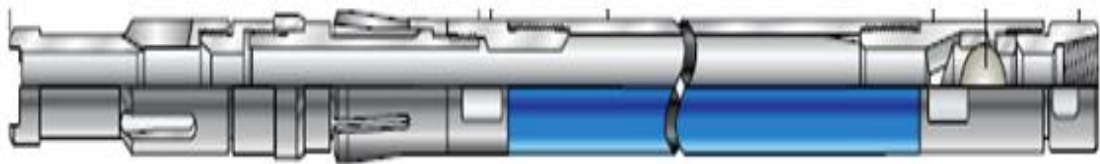
➤ **BOMBA TP**

Bomba de barril de pared gruesa usada con pistón con empaques blandos. El termino empaque blando se deriva del material utilizado para construir el pistón con las copas, o anillos de ajuste o anillo flexible. Se utiliza para bombear grandes volúmenes de fluido a profundidades moderadas.

➤ **BOMBA DE INSERTOS O DE VARILLAS**

Las bombas insertas son las más populares en la industria del petróleo, puesto que estas son las de más fácil instalación y servicio. La instalación de estas bombas se realiza colocando la bomba en el extremo de la sarta de varillas, y bajándola para asentarla en el nipple que se encuentra en el fondo de la tubería de producción. Según las especificaciones del API 11AX las bombas han sido clasificadas por letras, las bombas tipo varillas se denotan con la letra **R**. (ver figura 22)

Figura 22. Bomba de insertar o de varillas



Fuente: WEATHERFORD, "Subsurface Rods Pumps, Parts and Accessories", 2008.

➤ **BOMBA INSERTA CON BARRIL ESTACIONARIO ANCLADO EN EL TOPE**

Son una buena elección para pozos productores de arena, puesto que el fluido es descargado encima del anclaje superior. No se puede usar en pozos muy profundos ya que la bomba queda expuesta a la presión de formación y puede

colapsar el barril. Esta bomba producirá fluido desde un nivel más bajo que una bomba de anclaje inferior.

Las partículas sólidas no se acumulan en la válvula fija debido al movimiento de los fluidos bombeados, la profundidad de asentamiento es limitada debido a que durante el downstroke el barril está sometido a cargas de tensión, el anclaje superior limita el tamaño de la bomba, los separadores de gas o filtros de arena pueden ser conectados al barril de la bomba. (Ver figura 23)

➤ **BOMBA INSERTA CON BARRIL ESTACIONARIO ANCLADO EN LA BASE**

Son adecuadas para pozos que producen volúmenes bajos y moderadamente profundos. Tiene buen desempeño en pozos con alto GOR. Debido a que tiene el anclaje en fondo, la presión fuera de la bomba es igual a la presión hidrostática de la columna de fluido sobre la bomba.

Figura 23. Bomba de insertos de anclaje en el tope



Fuente: WEATHERFORD, "Subsurface Rods Pumps, Parts and Accessories", 2008.

El barril nunca está sometido a cargas de tensión, la válvula fija puede ser de diámetro mayor comparada con el de la bomba anclada en el tope, no suministra

buen soporte para barriles grandes, las partículas sólidas se pueden acomodar en el nipple. (Ver figura 24)

Figura 24. Bomba de insertos con anclaje en la base



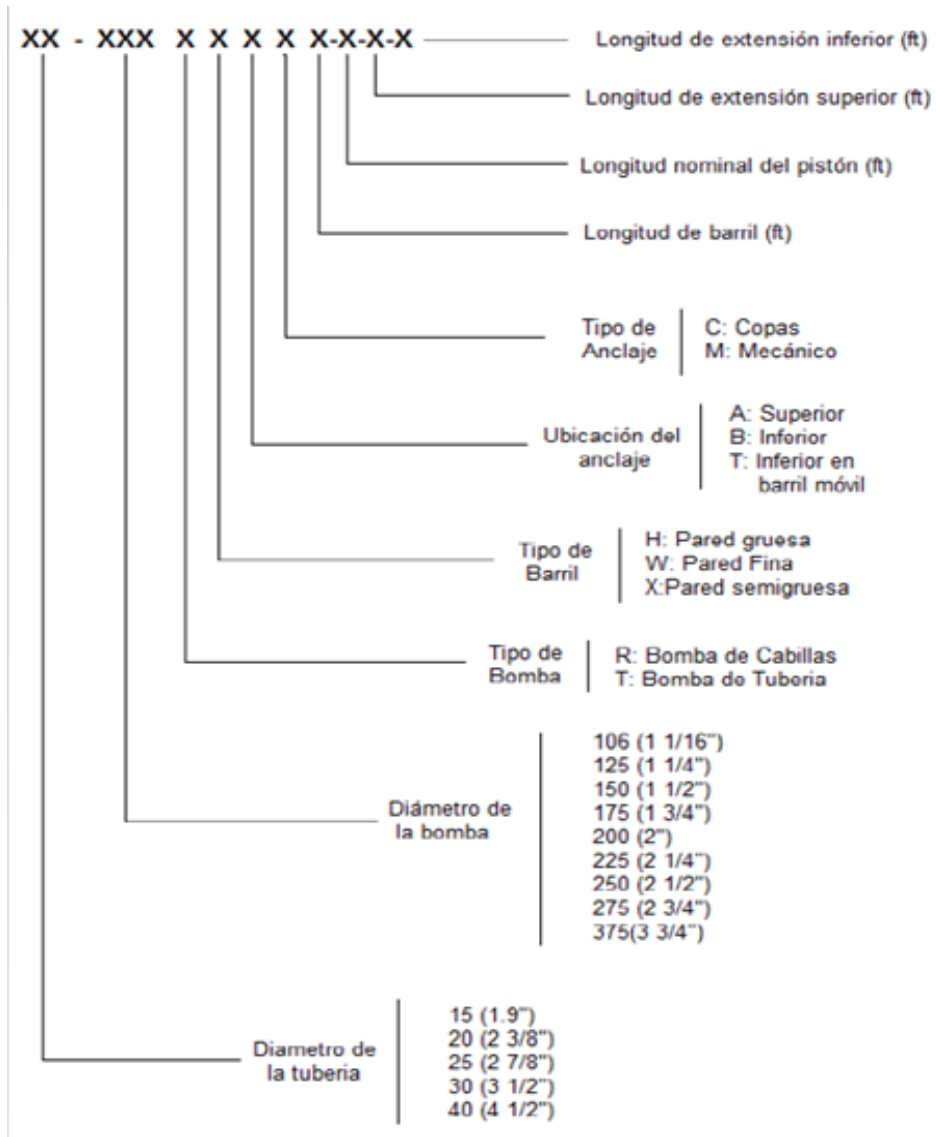
Fuente: WEATHERFORD, "Subsurface Rods Pumps, Parts and Accessories", 2008.

c. ESPECIFICACIONES API PARA LAS BOMBAS DE SUBSUELO API SPEC 11AX

La designación de la bomba como lo describe la norma API 11AX es una nomenclatura para clasificar bombas de varillas de succión API y bombas de tubería de acuerdo a sus características principales. Esta descripción presenta estos parámetros y explica cómo se determinan los campos de aplicación de una bomba determinada.

Está compuesta por siete partes, separadas por guiones como se muestra a continuación. (Ver figura 25)

Figura 25. Nomenclatura bombas de subsuelo



Fuente: BOLLAND CIA. "Manual de bombas de subsuelo".

2.2 UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO

2.2.1 Geometría de las unidades de bombeo Las unidades de bombeo generalmente usadas se clasifican según su punto de apoyo y el mecanismo de contrabalanceo, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Geometría de las unidades de bombeo

TIPO DE UNIDAD	CLASE	PUNTO DE APOYO	MECANISMO DE CONTRABALANCE
Convencional	I	Punto medio del balancín	Por contrapeso
Neumáticas	II	Extremo delantero del balancín	Por cilindro de aire
Mark II	II	Extremo trasero del balancín	Por contrapeso

Existen también otros varios tipos de unidad tales como las de bajo perfil, hidráulicas, de carreras largas (tales como Rota Flex), y otras unidades de geometría inusual.

2.2.2 Unidad de bombeo convencional La unidad convencional balanceada por manivelas es la más conocida y popular, de fácil manejo y mantenimiento mínimo. En este tipo de balancín la rotación de las manivelas origina que la viga principal oscile y mueva hacia arriba y hacia abajo la barra lisa.

Un limitante para este tipo de unidades es que su tamaño aumenta notablemente en función de la producción a extraer. Estas unidades basan su geometría en un sistema de palanca CLASE I, es decir con un punto de apoyo en el medio de la viga balancín.

Figura 26. Unidad de bombeo convencional



2.2.3 Unidad de bombeo balanceada por aire. La utilización de aire comprimido en vez de pesadas manivelas y contrapesos permite un control del contrabalanceo en forma manual. Como resultado, el tamaño de la unidad es considerablemente más pequeño y menos pesada (el peso de la unidad se reduce aproximadamente 40%), minimizando los costos de traslado y de montaje, también se presta para recorridos largos con diseños especiales; la unidad se balancea con cambios de presión del cilindro de aire, se puede proveer mucho contrabalanceo con relativamente pequeños aumentos de presión.

Figura 27. Unidad de bombeo balanceada por aire



2.2.4 Unidad de bombeo Mark II. Por su singular forma y contrapeso, este tipo de unidad reduce los picos de torsión y en muchos casos, cuando se usa debidamente requiere menos caballaje. La forma poco común del Mark II redundo en una carrera ascendente más rápida a aceleración baja, donde la carga es más alta, lo cual resulta en menores cargas máximas y en más duración de las varillas de bombeo.

Las unidades Mark II basan su geometría en tres características: La primera es la ubicación de la caja reductora. La cual está ubicada de tal manera que con un giro determinado de las manivelas crea una carrera ascendente de 195° de la rotación

de la manivela y una carrera descendente aproximadamente de 165° de la rotación de la manivela. La segunda es el punto de apoyo en el extremo de la unidad, colocando en ese lugar el cojinete ecualizador (llamado cojinete de cola), creando un sistema CLASE III, y la última característica es una manivela desfasada, la cual produce un contrabalanceo más efectivo el cual, al comienzo de la carrera ascendente, “arrastra” la carga en aproximadamente $7\frac{1}{2}$. Igualmente, en la carrera descendente, esta misma condición produce esta acción, también “llevando” el contrapesado aproximadamente $7\frac{1}{2}$ Independientemente de estos factores, las unidades Mark II producirán un torque uniforme trabajando en forma conjunta, reduciendo un 35% del torque en la caja reductora. Adicionalmente los costos de electricidad y del tamaño del motor pueden ser reducidos.

Figura 28. Unidad de bombeo MARK II



2.3 VENTAJAS DEL BOMBEO MECÁNICO

- El diseño es poco complejo.

- El sistema es eficiente, simple y fácil de operar por el personal de campo.
- Puede ser aplicado en levantamiento de todo tipo de crudos.
- Puede utilizar combustible o electricidad como fuente de energía.
- El equipo puede operar a temperatura elevadas.
- Permite variar la velocidad y la longitud de la carrera para el control de la tasa de producción.

2.4 DESVENTAJAS Y LIMITACIONES

- La efectividad del sistema puede verse afectada severamente por la presencia de gas.
- La presencia de arena ocasionan el desgaste severo del equipo.
- Requiere altos costos y mantenimiento.
- Posee profundidades limitadas.
- El equipo es pesado y ocupa mucho espacio.
- La tasa de producción declina rápidamente.

2.5 RANGO DE APLICACIÓN DE BOMBEO MECANICO

- Este método de levantamiento puede extraer tasas de fluidos entre 20 y 2000 (BPPD).
- Se pueden aplicar a una profundidad no mayor a 9000 pies.
- No se puede utilizar en pozos desviados.
- No debe existir presencia de arena.
- Su eficiencia es mayor en pozos verticales.
- Se utiliza en pozos con temperaturas no mayores a 500 °F.

3. METODOLOGÍA RIFTS

3.1 ANTECEDENTES

La metodología del sistema de información de confiabilidad y seguimiento de fallas RIFTS por sus siglas en inglés (Reliability Information and Tracking Failure System), fue desarrollada por la compañía C-FER inicialmente para Bombeo electrosumergible, basada en la estructura presentada por el estándar internacional ISO 14224 (Petroleum and Natural Gas Industries – Collection and Exchange of Reliability and Maintenance Data for Equipment) y la práctica recomendada API RP 11S1 (Recommended Practice for Electrical Submersible Pump Tear Down Report); estableciéndose como un estándar internacional en el manejo de información de confiabilidad para equipos de bombeo electrosumergible, en su constante actualización participan compañías operadoras y proveedores de este sistema.

Un sistema de información de fallas debe incluir registros tanto de los sistemas que han fallado como de los sistemas que están operando y los que han sido parados y/o retirados por condiciones diferentes a una falla del sistema, esta es una buena práctica que permite un análisis de confiabilidad más acertado debido al manejo de información censurada que se puede realizar.

La metodología cubre solamente equipo de subsuelo del sistema de bombeo mecánico por esta razón se debe establecer el límite del sistema, sin embargo es recomendable mantener información de los elementos de superficie pues su desempeño puede impactar el comportamiento del equipo de fondo, y puede afectar la información de consumo y calidad de energía del sistema.

3.2 DEFINICIONES

Los conceptos utilizados en este modelo están basados en el estándar internacional ISO 14224, las practicas recomendadas del API para sistemas de levantamiento artificial y definiciones propias de modelos de confiabilidad que aplican a este modelo.

- **FALLA:** Es la finalización de la habilidad de un Ítem para desempeñar una función requerida (ISO 14224).
- **RAZÓN DE PULLING:** Motivo para el retiro (total o parcial) de un sistema levantamiento del pozo.
- **ITEM:** Cualquier parte, componente, subsistema, unidad funcional, equipo o sistema que pueda ser considerado individualmente.
- **DESCRIPTOR DE FALLA:** Es la causa de falla aparente u observada de un ítem fallado.
- **CAUSA:** Circunstancia presentada durante el diseño, fabricación, transporte, instalación u operación que ha conllevado a una falla.
- **ESTADO OPERATIVO:** Estado en el cual un ítem está desempeñando una función requerida.
- **FUNCIÓN REQUERIDA:** Función o combinación de funciones de un ítem, las cuales se consideran necesarias para proveer un servicio.
- **CONFIABILIDAD:** Es la probabilidad de un ítem para desarrollar una función requerida, bajo unas condiciones dadas, para un intervalo de tiempo dado.

Las siguientes definiciones fueron incluidas específicamente para este modelo adaptado a Bombeo mecánico.

- **SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO:** Es el ensamble de componentes de subsuelo que conforman un conjunto de bombeo mecánico de fondo, integrado en términos generales por la bomba de fondo, la sarta de varillas incluida la barra lisa, centralizadores y barras de peso, y la sarta de tubería de producción incluyendo la nipplesilla; se encuentra delimitado en el capítulo 4 de este modelo.

- **FALLA REPARABLE:** Tipo de falla que puede ser reparada sin extraer el sistema de fondo de pozo, por medio de cambio de condiciones operativas, parámetros e intervenciones menores. No finaliza el conteo de tiempo de vida de la corrida instalada en el fondo del pozo.

- **FALLA NO REPARABLE:** Tipo de falla que implica extraer el sistema de fondo de pozo para su reemplazo por otro equipo. Finaliza el conteo de tiempo de vida de la corrida instalada en el fondo de pozo.

- **INTERVENCION MENOR:** Está asociada a la reparación de fallas reparables, restablecimiento del estado operativo sin la necesidad de extraer el equipo de fondo y a la modificación de las variables operativas; esta clasificación incluye pero no está limitada a re-espaciamentos, flushing de pozos, pruebas hidrostáticas, cambios de barra lisa, cambios de empaques y reparaciones de stuffing box y BOP, instalación y reparación de unidades de superficie.

- **INTERVENCION MAYOR:** Está asociada al retiro (Pulling) de equipos de fondo de pozo por falla de los mismos o por necesidad operativa; esta clasificación incluye pero no está limitada a retiros de sarta de varilla, retiro de

bomba y/o retiro de tubería de producción para cambio de los mismos o para operaciones de well service o workover.

- **TIEMPO DE ANALISIS:** La información y resultados serán presentados con corte al último día de cada mes y debe incluir toda la información de sistemas de levantamiento instalados, operativos, retirados o fallados en el último año, de acuerdo a los indicadores y cálculos establecidos en este modelo.
- **FUNCION DE CONFIABILIDAD R (t):** Define la posibilidad de un sistema para operar sin fallas durante un tiempo menor o igual a t.
- **MTBF (MEAN TIME BEFORE FAILING):** Estadísticamente, es interpretado como el tiempo esperado o con mayor probabilidad de ocurrencia de una falla.
- **MTBP (MEAN TIME BEFORE PULLING):** Es una estadística implementada por el autor debido a que en los campos de la Asociación Nare en algunos casos se hace Pulling del sistema sin necesidad de llevar el sistema a falla (Inyección de vapor, inyección de gel y Rediseños de tubería), es interpretado como el tiempo esperado o con mayor probabilidad de ocurrencia de desinstalación del sistema.

4. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE CONFIABILIDAD PARA BOMBEO MECÁNICO BASADO EN LA METODOLOGÍA RIFTS

4.1 FUNCIÓN REQUERIDA DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

La definición de la función requerida es el punto de partida del modelo de confiabilidad, pues hace referencia a la función que debe realizar el sistema para considerarse en estado operativo; es la función que al dejar de realizarse declara al sistema en falla (reparable o no reparable) y que si el sistema definitivamente no recupera esta función se declara en falla No reparable y debe retirarse del pozo finalizando el tiempo de la corrida.

La función requerida para sistemas de levantamiento Artificial en los campos de la Asociación Nare fue definida así:

“Mover el fluido aportado por el yacimiento, desde el fondo del pozo hasta la línea de producción, con presión suficiente para entregarlo al colector de producción, manteniendo el nivel del pozo en su mínimo permisible.”

Es decir, que el sistema de levantamiento proporcione la energía necesaria al fluido tal que este pueda tener la suficiente presión para entrar a la línea de recolección y a su vez el pozo quede con un nivel óptimo para seguir bombeando en presencia de fluido.

4.2 DELIMITACIÓN Y GENERALIDADES DEL MODELO DE CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO BOMBEO MECÁNICO

Los elementos que componen equipo de subsuelo del sistema de bombeo mecánico, y que forman parte del análisis a realizar dentro del modelo de confiabilidad, se encuentran resaltados en la Figura No 29 y son los siguientes:

a) Bomba de fondo y sus componentes.

- Barril
- Pistón
- Válvula fija
- Válvula viajera superior
- Válvula viajera inferior
- Jaulas

b) Elementos de entrada a la bomba.

- Strainer
- Ancla de gas
- Separadores
- Filtros

c) Accesorios de la bomba.

- Extensiones
- Pull tube
- Wiper

d) Sarta de varilla.

- Varillas
- Couplings
- Centralizadores

- Barras de peso
- Barra lisa

e) Tubería de Producción (No incluye el tubing hanger).

f) Niplesilla.

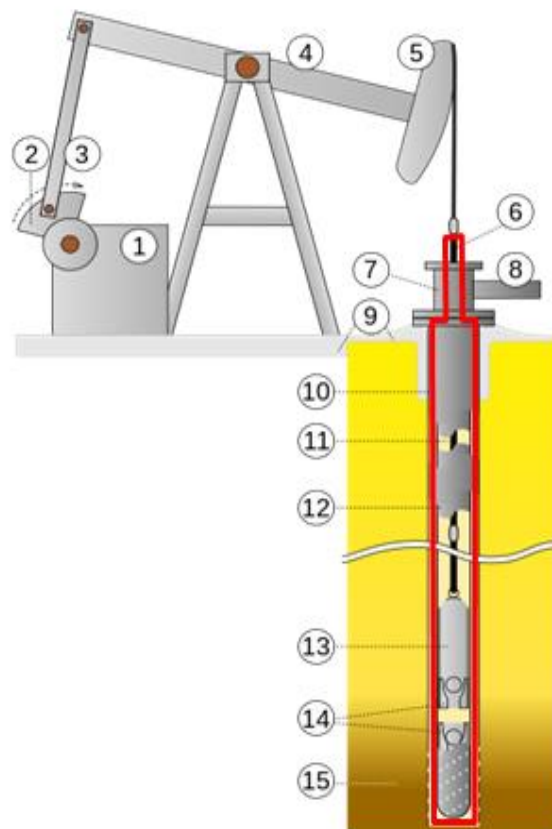
g) Sistema de sello.

- Anillos de sello
- Mandril
- Espaciador

4.3 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO

El primer paso dentro del modelo, corresponde a la descripción estructurada y detallada de los componentes del sistema de tal forma que permita hacer seguimiento, esta descripción debe incluir números seriales, material de construcción y cualquier otro elemento que se considere necesario para hacer análisis posteriores. También es recomendable la descripción de otros componentes que interactúan con el sistema de bombeo mecánico delimitado (BOP, Cabezal, Unidad de superficie, Motor, accesorios no incluidos en el sistema, etc.).

Figura 29. Delimitación del sistema de bombeo mecánico



Fuente: WIKI2 Petroleo [en línea] disponible en:
<https://es.wiki2.org/wiki/Petr%C3%B3leo>

La identificación del pozo en el que se instala el sistema, así como las fechas de instalación y arranque, falla y retiro del sistema de fondo son la información fundamental para los análisis posteriores de tiempo de vida, confiabilidad, MTBF, MTBP, Causa raíz, subcomponente fallado, run-life y costos por falla.

4.4 ESTRUCTURA DE LA INFORMACIÓN DE FALLA.

Antes de iniciar el modelo es necesario definir si la falla es reparable o no reparable, esto para llevar un registro de las intervenciones que sufre la corrida de un sistema dentro del pozo.

4.4.1 falla Reparable (intervención menor) Las fallas reparables están asociadas a intervenciones menores realizadas para restablecer el estado operativo que NO implican extraer el sistema del fondo del pozo.

A continuación, se consideraron las siguientes intervenciones menores posibles en los campos de la Asociación Nare y en algunas la opción de la posible causa.

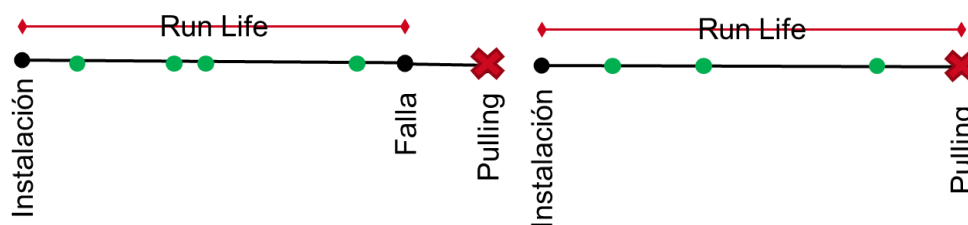
Tabla 4. Lista de intervenciones menores

INTERVENCION MENOR (NO HAY RETIRO DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL)	
TRABAJO REALIZADO	CAUSA
FLUSHING	BLOQUEO POR GAS
	ARENAMIENTO
REESPACIAMIENTO	INTERFERENCIA POR GAS
	DECLINACION DE TEMPERATURA
	NO LEVANTA PRESION
PRUEBA HIDROSTATICA	
INTENTO DE SERVICIO A POZO	
CAMBIO DE BARRA LISA	
CAMBIO DE STUFFING BOX	
CAMBIO DE EMPAQUES DE ESTUFFING BOX	
CAMBIO/INSTALACION DE BOP	
POST INYECCION	
CAMBIO DE UNIDAD DE SUPERFICIE	

INTERVENCION MENOR (NO HAY RETIRO DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL)	
TRABAJO REALIZADO	CAUSA
CAMBIO DE PUMPING TEE	
INSTALACION DE SISTEMA DE LEVANTAMIENTO	
POST INYECCION CON SARTA LEVANTADA	

El registro de intervenciones menores debe llevarse para calcular los índices de intervención relativos al tipo de intervención realizada y al sistema de levantamiento afectado, pero **NO** afecta el modelo de confiabilidad ni los cálculos de tiempo de vida de las corridas, confiabilidad y supervivencia de los sistemas de levantamiento como se muestra en la Figura 30.

Figura 30. Falla Reparable y Falla no Reparable



- Intervención Menor: Respaciamento, Flushing, cambio de empaque de Stuffing box (Cualquiera que NO implique retirar el sistema del pozo)
- ✘ Intervención Mayor: Pulling o retiro del equipo causado por falla o por condición operativa que finaliza la corrida de la bomba en el pozo (Censura de falla)

4.4.2 Falla no reparable (intervencion mayor) Las fallas No reparables, implican la extracción del sistema (total o parcial) y la finalización del conteo de tiempo de vida de la corrida debido al cambio de piezas y/o revisión que sufre el sistema en

superficie, es allí donde inicia el modelo RIFTS para el sistema de levantamiento que finaliza run-life.

Las intervenciones mayores (Pulling) realizadas por condición operativa y no por falla del sistema, también son tenidas en cuenta en el modelo y en los cálculos estadísticos.

De esta manera en el árbol de información se explica el procedimiento que se aplicara en la base de datos Avocet Production Operations. (Ver Anexo 1)

En el modelo de confiabilidad basado en RIFTS y en ISO 14224, la información específica de fallas de sistemas de levantamiento debe ser clasificada de acuerdo a los siguientes atributos:

- Razón de Pulling.
- Ítem o componente fallado.
- Descriptor de falla.
- Causa de falla.
- Censura de falla.

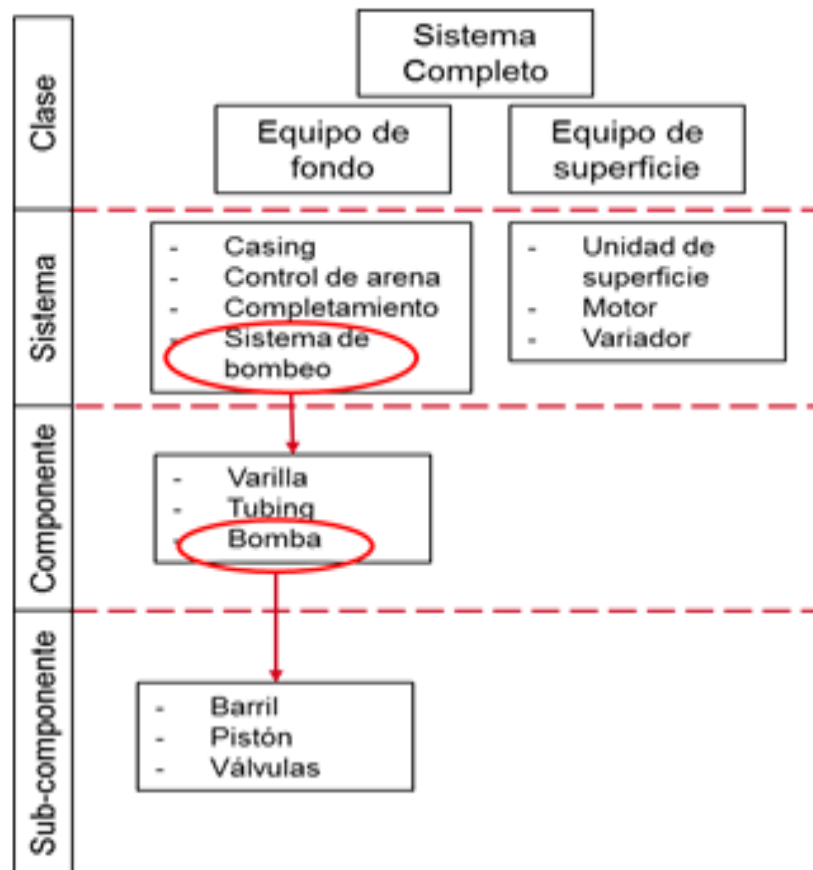
4.4.2.1 Razon del pulling Fueron definidas las siguientes razones de pulling generales y específicas, esta tabla hace referencia a las intervenciones mayores, así como permite registrar un trabajo adicional que se realice en el pozo, durante la intervención para extraer el SLA de fondo de pozo.

Tabla 5. Lista de intervenciones mayores

INTERVENCION MAYOR (IMPLICA RETIRO TOTAL O PARCIAL DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO-PULLING)	
RAZON DEL PULLING	RAZON DEL PULLING ESPECIFICA
FLUJO	NO HAY FLUJO EN SUPERFICIE
	POCO FLUJO EN SUPERFICIE
	DECLINACION DE PRODUCCION
	DESCONOCIDO
SERVICIO A POZO/MANTENIMIENTO	FALLA DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO
	FALLA DE VARILLA
	FALLA DE TUBING
	FALLA DE BOMBA
	PREINYECCION DE VAPOR
	LIMPIEZA DE ARENA
	CAMBIO DE SISTEMA DE LEVANTAMIENTO
	CAMBIO DE DISEÑO DE BOMBA DE FONDO
	CAMBIO DE DISEÑO DE SARTA DE VARILLAS
	CAMBIO DE PROFUNDIDAD
	RETIRO DE EMPAQUE TERMICO
	CHEQUEO DE FONDO
	DESPEGAR SARTA
	PRUEBA DE TUBERIA
	CORTE DE TUBERIA
PESCA DE TUBERIA	
REPARACION DE OTRO ELEMENTO	
DESCONOCIDO	
SUSPENSION	ABANDONO PERMANENTE
	ABANDONO TEMPORAL
	CIERRE
OTRO	BAJA RENTABILIDAD
	REGISTRO DE POZO
	OTRO
DESCONOCIDA	DESCONOCIDA

4.4.2.2 Item o componente fallado El modelo RIFTS basado en ISO 14224, presenta cada equipo a analizar dentro de un árbol donde se considera la clase, la cual a su vez se compone de sistemas donde cada sistema tiene una serie de componentes y cada componente una serie de subcomponentes.

Figura 31. Árbol de clasificación de componentes y subcomponentes



4.4.2.3 Subcomponentes fallado Esta descripción es presentada en la siguiente tabla de subcomponentes.

Tabla 6. Lista de componentes y subcomponentes

COMPONENTE Y SUBCOMPONENTE FALLADO	
COMPONENTE FALLADO	SUB-COMPONENTE FALLADO
NO HAY ELEMENTO FALLADO	
BOMBA	BARRIL
	PISTON
	VALVULA FIJA
	VALVULA VIAJERA
	VALVULA INTERMEDIA
	JAULA
	STRAINER
	ANCLA DE GAS
	SEPARADOR
	FILTRO
SUCCION DE LA BOMBA	
	EXTENSION
	PULL TUBE
ACCESORIOS	WIPER
	VARILLA
	COUPLING
SARTA DE VARILLAS	CENTRALIZADOR
	BARRA DE PESO
	BARRA LISA
	ANILLOS
	MANDRIL
SISTEMA DE SELLO	ESPACIADOR
TUNERIA DE PRODUCCION	
NIPLESILLA	
COMPONENTE EXTERNO AL SISTEMA	CASING
	LINER
	CONTROL DE ARENA
	CABEZAL DE POZO
	OTRO

4.4.2.4 Descriptor de falla Fueron definidos los siguientes descriptores de falla y sus categorías asociadas, normalmente son evidentes al momento de retirar el

sistema del pozo o en el proceso de desensamble (Tear Down) de las bombas en taller.

Tabla 5. Lista de descripciones de falla

DESCRIPTOR DE FALLA	
CATEGORIA	DESCRIPTOR
MATERIALES	RAYADO
	QUEMADO
	CORROIDO
	DESGASTADO
	AGRIETADO
	RASGADO
	ASTILLADO
	ESCAMACION
	FRACTURADO
MECANICA	DAÑO EN ROSCA
	DESENROSCADO
	PEGADO
	ESTALLADO
	COLAPSADO
	PANDEADO
	GOLPEADO
	CON FUGA
	SUELTO
	PERFORADO
	FALLA EN PRUEBA DE PRESION
	FALLA DE TOLERANCIA
	ELEMENTOS EXTERNOS
SCALE-INCRUSTACION	
LODO	
PARAFINA	
MATERIAL EXTRAÑO	
DESCONOCIDO	DESCONOCIDO

4.4.2.5 Causa raíz de la falla Fueron establecidas las siguientes causas raíz de falla; la definición de esta causa debe obedecer a un procedimiento objetivo de análisis de falla o de causa raíz.

Tabla 6. Lista de causas raíz de la falla

CAUSA DE FALLA	
CAUSA DE FALLA: GENERAL	CAUSA DE FALLA:ESPECIFICA
DISEÑO Y SELECCIÓN DEL EQUIPO	SELECCIÓN DEL MATERIAL
	CAPACIDAD DE PRESION
	CAPACIDAD VOLUMETRICA
	CONFIGURACION DEL SISTEMA
	ERROR EN LOS DATOS DE DISEÑO Y SELECCIÓN
MANUFACTURA	PRUEBA DE COMPONENTES
	CONTROL DE CALIDAD
	SELECCIÓN DE MATERIALES
	PROBLEMAS DE FABRICACION
	DISEÑO MECANICO
ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE	CONDICIONES DE TRANSPORTE
	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO
	EMPAQUES Y CONTENEDORES
INSTALACION	ENSAMBLE DEL SISTEMA DE FONDO
	LIMPIEZA DEL POZO
	CORRIDA DEL EQUIPO USADO O DAÑADO
OPERACIÓN	ESTRATEGIA DE PRODUCCION
	MONITOREO INADECUADO
	PROCEDIMIENTO OPERATIVO
	OPERACIÓN DE OTROS POZOS
	TRATAMIENTO DEL POZO
	METODO DE RECUPERACION MEJORADA
YACIMIENTO O FLUIDOS	ASFALTENOS
	TEMPERATURA DE FONDO

CAUSA DE FALLA	
CAUSA DE FALLA: GENERAL	CAUSA DE FALLA: ESPECIFICA
	GAS LIBRE
	ARENA
	FALLA DE YACIMIENTO
	SCALE-INCRUSTACION
	PARAFINA
	CORTE DE AGUA
	ALTO INFLUJO
	BAJO O NO INFLUJO
COMPLETAMIENTO	FALLA DE PERFORACIONES/LINER/OPEN HOLE
	FALLA DE SISTEMA DE CONTROL DE ARENA
	FALLA DE COMPLETAMIENTO DEL POZO
	FALLA DE OTRO COMPONENTE
DESGASTE NORMAL O ESPERADO	

4.4.2.6 Censura de la falla De acuerdo a las necesidades y al punto de vista analizado es posible censurar los resultados de cada corrida como falla "1" o No falla "0".

- Caso 1: Es el caso más común donde la causa de Pulling es definida como una falla o no del sistema de bombeo mecánico delimitado, censurando con "1" los Pulling causados por fallas y con "0" los Pulling que no fueron causados por una falla.
- Caso 2: En este caso el punto de análisis se presenta solo en la bomba y no en el sistema, donde una falla de la bomba es censurada con "1" y las fallas en otros componentes del sistema, así como las no fallas son censuradas con "0".

- Caso 3: Es el caso más usado por proveedores de los sistemas pues utiliza como punto de análisis la causa raíz de la falla, si la falla es atribuible a la bomba o a alguno de los elementos suministrados es censurada como "1", mientras que si la causa raíz de la falla no es atribuible a la bomba o a alguno de los elementos suministrados se califica como una no falla y se censura como "0".

La censura es muy importante pues define el tratamiento que el dato de run-life de cada corrida tendrá dentro del análisis estadístico, los cálculos de MTBF y de la función de confiabilidad $R(t)$. Para efectos de estandarización en este modelo se va a utilizar la definición del caso 1.

5. INDICADORES DE CONFIABILIDAD

El objetivo final del modelo de confiabilidad es tener información estructurada, objetiva y estandarizada para realizar los análisis correspondientes de tiempo de vida de las bombas de subsuelo.

La información inicial a calcular es la siguiente:

- Número de pozos totales del campo, al final del periodo analizado.
- Número de pozos totales activos en cada sistema de levantamiento, al final del periodo analizado.
- Número de fallas de cada sistema de levantamiento, en el periodo analizado.
- Número de fallas por componente de cada sistema, en el periodo analizado.
- Número de pozos con cada sistema de levantamiento, intervenidos en el periodo analizado, discriminando intervenciones mayores e intervenciones menores.

5.1 ÍNDICE DE FALLA

Este indicador permite dimensionar en forma porcentual el impacto de las fallas No reparables de un sistema de levantamiento artificial o sus componentes en la operación del campo durante un periodo de tiempo establecido; la interpretación de su resultado permite definir la tendencia de la cantidad de equipos y trabajos

necesarios para atender fallas No reparables del sistema de levantamiento artificial.

La relación se expresa como:

$$IF = \frac{\text{Número de fallas de SLA (durante el periodo analizado)}}{\text{Número de pozos activos (Promedio del periodo analizado)}} \quad (1)$$

Dónde:

- El número de fallas del SLA puede estar referido a un sistema en particular, o a todas las fallas presentadas sin importar el sistema, o a las fallas asociadas a un componente en particular presentadas en el campo o área analizada durante el periodo de tiempo objeto de análisis.
- El número de pozos activos puede ser referido al número de pozos con el sistema de levantamiento analizado o al número de pozos totales en el campo.

5.2 ÍNDICE DE PULLING (INTERVENCIÓN MAYOR)

Este indicador permite dimensionar en forma porcentual el impacto del retiro de los sistemas de levantamiento artificial (sin importar su causa) en la operación del campo durante un periodo de tiempo establecido; la interpretación de su resultado permite definir la tendencia de la cantidad de equipos y trabajos necesarios para atender el retiro (Pulling o Intervención mayor) de sistemas de levantamiento artificial.

La relación se expresa como:

$$IP = \frac{\text{Número de SLA retirados (durante el periodo analizado)}}{\text{Número de pozos activos (Promedio del periodo analizado)}} \quad (2)$$

Dónde:

- El número de SLA retirados puede estar referido a un sistema en particular, o a todos los SLA retirados sin importar el sistema, o a los equipos retirados sin falla, o asociadas al tipo de equipo usado para realizar el retiro, en el campo o área analizada durante el periodo de tiempo objeto de análisis.
- El número de pozos activos puede ser referido al número de pozos con el sistema de levantamiento analizado o al número de pozos totales en el campo.

5.3 ÍNDICE DE INTERVENCIÓN MENOR

Este indicador permite dimensionar en forma porcentual el impacto de todas las intervenciones menores a pozos con sistema de levantamiento artificial en la operación del campo durante un periodo de tiempo establecido; la interpretación de su resultado permite definir la tendencia de la cantidad de equipos y trabajos necesarios para atender las intervenciones menores a pozos con sistemas de levantamiento artificial.

La relación se expresa como:

$$Im = \frac{\text{Número de intervenciones menores (durante el periodo analizado)}}{\text{Número de pozos activos (Promedio del periodo analizado)}} \quad (3)$$

Dónde:

- El número de intervenciones menores puede estar referido a un sistema en particular, o a todas las intervenciones realizadas sin importar el sistema, en el campo o área analizada durante el periodo de tiempo objeto de análisis.

- El número de pozos activos puede ser referido al número de pozos con el sistema de levantamiento analizado o al número de pozos totales en el campo.

5.4 DISTRIBUCIÓN Y PROMEDIO DE RUNLIFE DE LOS SISTEMAS RETIRADOS

Este indicador permite observar en un histograma la distribución del run-life de los sistemas retirados (incluye fallados y no fallados) en el periodo de tiempo analizado y el promedio aritmético de dichos run-life. La recomendación del intervalo de presentación de información en el histograma, es de 30 días. En este proyecto se trabajará con un periodo de tiempo de tres meses (90 Días):

- FEBRERO
- MARZO
- ABRIL

De acuerdo a la información obtenida se pueden hacer los filtros necesarios para analizar la distribución de run-life, por equipos fallados y No fallados, causa de Pulling, y todas las combinaciones que permita el modelo RIFTS. Se espera para este proyecto interno de la compañía poder hacer una base con datos de un año.

5.5 DISTRIBUCIÓN Y PROMEDIO DE RUNLIFE DE LOS SISTEMAS FALLADOS

Este indicador permite observar en un histograma la distribución del run-life de los sistemas fallados en el periodo de tiempo analizado y el promedio aritmético de dichos run-life.

De acuerdo a la información obtenida se pueden hacer los filtros necesarios para analizar la distribución de run-life, por causas de falla, elementos fallados, y todas las combinaciones que permita el modelo de confiabilidad.

5.6 DISTRIBUCIÓN Y PROMEDIO DE RUNLIFE DE LOS SISTEMAS OPERATIVOS.

Este indicador permite observar en un histograma la distribución del run-life de los sistemas que se encuentran operando a la fecha del análisis, y permiten observar la distribución de edad de los sistemas instalados y su promedio aritmético.

5.7 FUNCIÓN DE CONFIABILIDAD Y MTBF

Después de tener los tiempos de vida de cada corrida, y agrupados para pozos fallados, no fallados y corriendo, el siguiente paso es calcular un valor de run-life promedio para el campo que sea consistente con la información obtenida, asignando peso o probabilidad a cada uno de los valores obtenidos anteriormente.

De acuerdo al estudio realizado por B.Brookbank, el MTBF (Mean Time Before Failure) es el mejor indicador estadístico para medir tiempo operativo esperado o run-life de una población de equipos o sistemas, orientado a sistemas de levantamiento artificial.

El análisis de curva de supervivencia fue usado inicialmente por la comunidad médica para conducir estudios de supervivencia de grupos humanos, este modelo va a considerar la técnica propuesta por Herd-Johnson, presentado en el trabajo de Rafael Lastra y Armando Rueda bajo el modelo de curva de supervivencia

aplicado a sistemas de levantamiento artificial para el cálculo de la función de confiabilidad y a partir de ella el MTBF.

El modelo toma los datos de tiempo de vida de cada corrida (fallada, retirada-no fallada, y corriendo) en un tiempo establecido que forman un grupo de datos, y de acuerdo a la censura de cada uno tiene un tratamiento dentro del modelo, se explica a continuación:

El método consiste en el ordenamiento ascendente de los tiempos de vida $t_1, t_2, t_3 \dots t_N$ para N datos, en una muestra que incluye tanto fallas como N_0 fallas y equipos corriendo. La función de distribución acumulativa de falla $F(t)$ para cada dato se define así:

$$F(t_i) = \frac{i}{N+1} \quad (4)$$

De donde se obtiene la función de confiabilidad, así:

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

Y

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

Basado en estas expresiones, una relación recursiva para $R(t_i)$ puede ser calculada en términos de $R(t_{i-1})$ obteniendo así:

$$\frac{R(t_i)}{R(t_{i-1})} = \frac{N+1-i}{N+2-i} \quad (6)$$

Si el dato en el tiempo t_i corresponde a un dato censurado (Censura = 0, para un sistema no fallado o corriendo), la probabilidad condicional será 1, pues en una condición donde no hay falla, se da:

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

En general, la probabilidad condicional se define así:

$$R(t_i/t_{i-1}) = \begin{cases} \frac{N+1-i}{N+2-i} & \text{para censura} = 1 \text{ (falla en } t_i) \\ 1 & \text{para censura} = 0 \text{ (NO falla en } t_i) \end{cases} \quad (8)$$

Esta expresión indica la probabilidad de que un sistema continúe operando entre t_i y t_{i-1} asumiendo que se encontraba operando en t_{i-1} .

La función de confiabilidad para cualquier t_i se describe como:

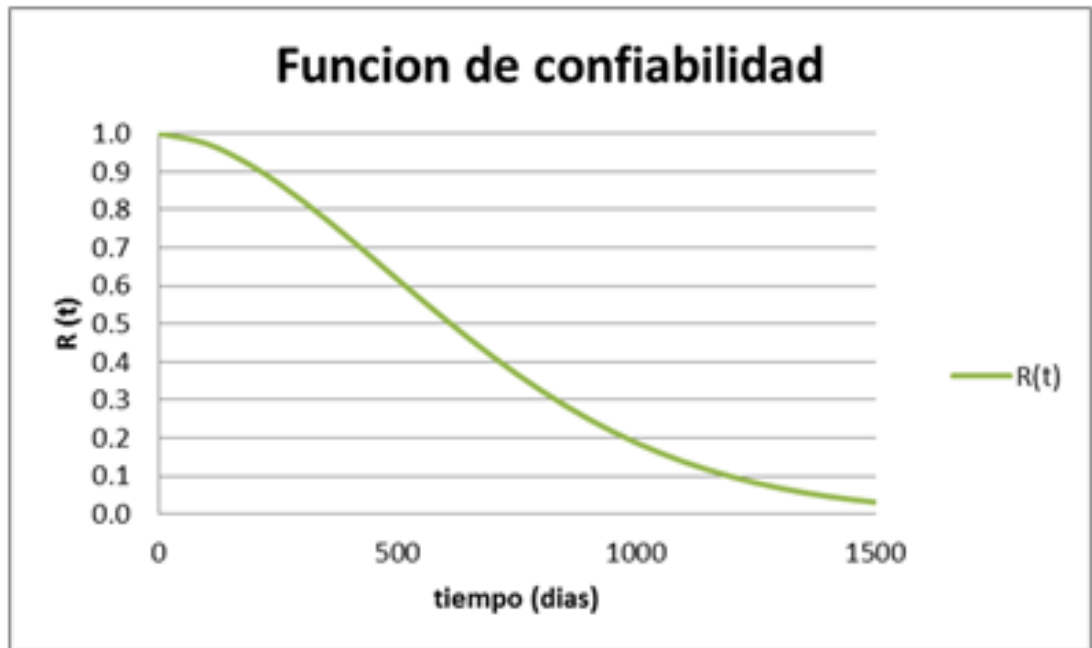
$$R(t_i) = R(t_i/t_{i-1})R(t_{i-1}) \quad (9)$$

Y recursivamente

$$R(t_i) = R(t_i/t_{i-1})R(t_{i-1}/t_{i-2})R(t_{i-2}/t_{i-3}) \dots R(t_1/t_0) \quad (10)$$

La función de confiabilidad define la posibilidad de un sistema para operar sin fallas durante un tiempo menor o igual a t .

Figura 32. Gráfica de confiabilidad

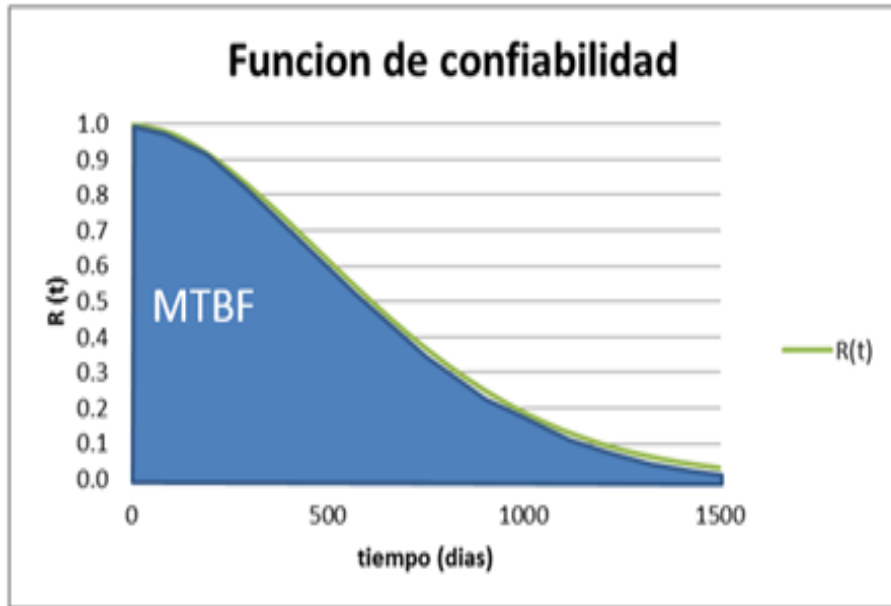


A partir de la función de confiabilidad se puede calcular el MTBF, estadísticamente definido como el tiempo esperado o con mayor probabilidad de ocurrencia de una falla, así:

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)dt = \sum_{i=1}^N R(t_{i-1})(t_i - t_{i-1}) \quad (11)$$

Lo cual en esencia corresponde al área bajo la curva de la función de confiabilidad $R(t)$.

Figura 33. Área bajo la curva de la función de confiabilidad MTBF



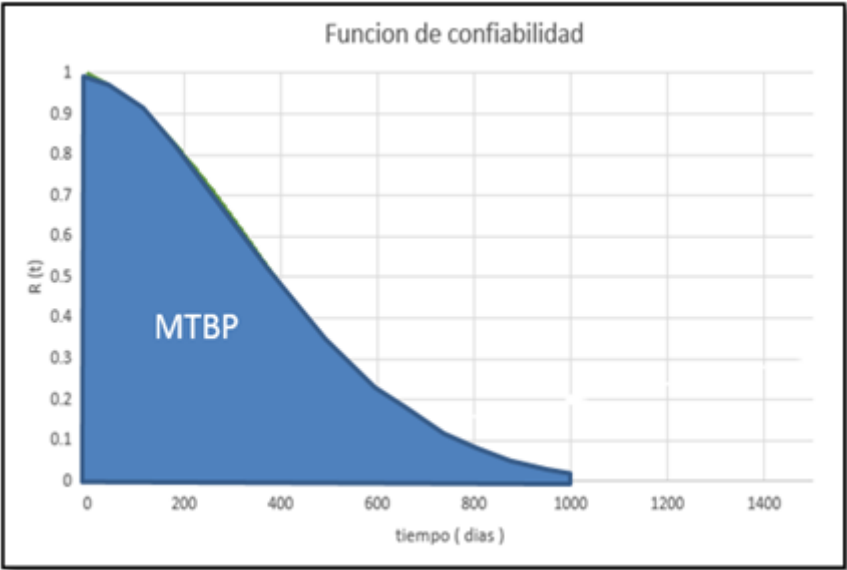
Este análisis de supervivencia solo requiere de los tiempos de vida de cada corrida y de la censura de falla, y es fácilmente programable.

5.8 MTBP (MEAN TIME BEFORE PULLING)

El MTBP (Mean Time Before Pulling) es un nuevo parámetro que se tuvo en cuenta por el autor y el Codirector del proyecto debido a que en los campos de la Asociación Nare, la mayoría de las desinstalaciones de los sistemas se deben a inyección de vapor, por tal motivo se pretende determinar el tiempo de vida esperado de los sistemas antes de ser desinstalada, el cual será menor que el MTBF.

Esta estadística sigue el mismo principio matemático del MTBF con la diferencia que todos aquellos Pulling, independientemente de que si fue falla o no del sistema su censura será "1".

Figura 34. Área bajo la curva de la función de confiabilidad MTBP



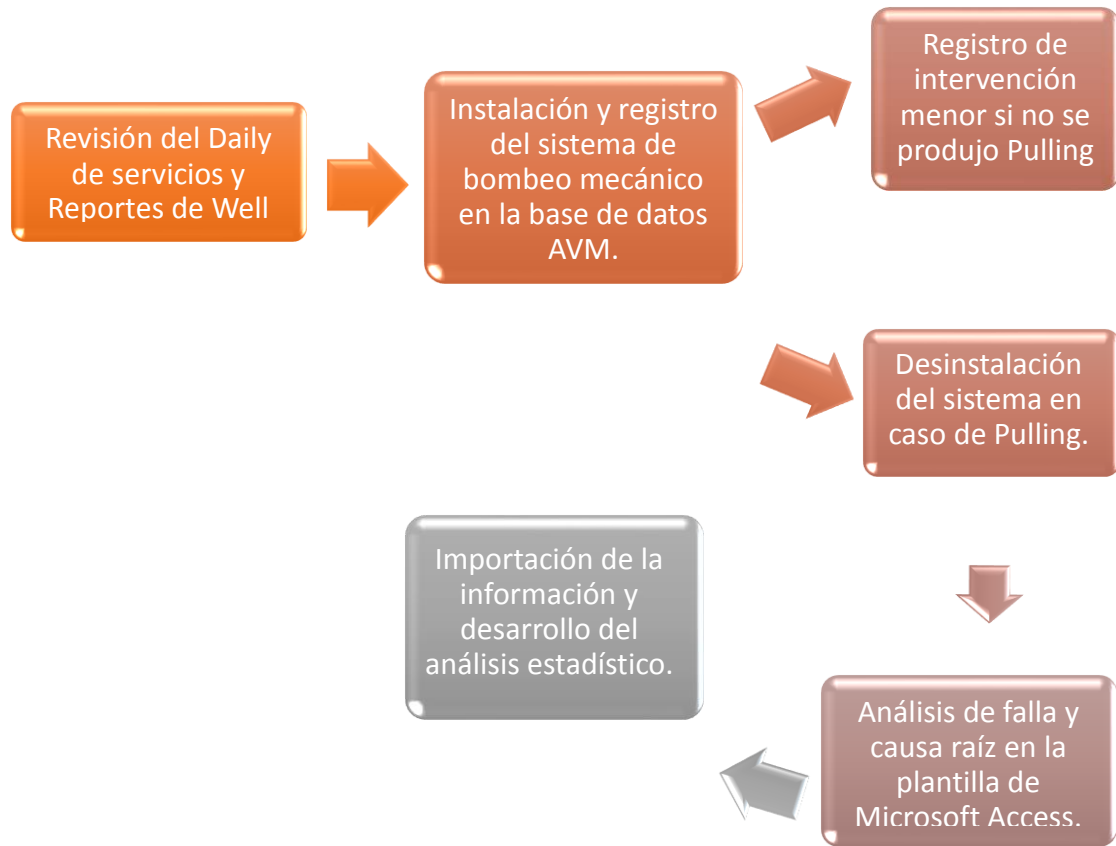
6. APLICACIÓN DEL MODELO DE CONFIABILIDAD PARA BOMBEO MECÁNICO BASADO EN LA METODOLOGÍA RIFTS EJECUTADO CON EL SOFTWARE AVOCET PRODUCTIONS OPERATIONS

1.

El modelo de confiabilidad para bombeo mecánico fue aplicado en los campos de la Asociación Nare como una estrategia del departamento de Ingeniería de Mansarovar Energy Ltda encabezado por el Ingeniero Álvaro Cañas Morales (Actualmente Coordinador de este departamento) para llevar de manera organizada los eventos de falla que se presentaban en los sistemas de levantamiento instalados, con el fin de extraer información valiosa para tener un punto de referencia de cómo se estaba trabajando en este ámbito y que mejoras se podían implementar en pro de optimizar la operación y disminuir costos debido a los tiempos de crisis que se viven en la industria petrolera.

Este proyecto consto inicialmente de un entrenamiento intensivo para el autor de este trabajo de grado, con una duración de 1 mes en el taller de bombas ubicado en campo Jazmín, con el fin de familiarizar todos los componentes y subcomponentes de las bombas de subsuelo, su funcionamiento, las fallas más comunes y como estas se pudieron ocasionar, ya que más adelante esta fundamentación iba a ser valiosa para ejecutar los análisis de falla y causa raíz de los sistemas fallados. El periodo de tiempo que se evaluó en el modelo comprende del trimestre febrero, marzo y abril del año 2016, el software utilizado para llevar la base de datos fue el Avocet Production Operations (AVM) el cual consta de una interface que se pudo acoplar a las necesidades del modelo, de fácil interacción y de gran ayuda a la hora de importar la información almacenada. En la figura 38, se mostrará cada una de las etapas para la ejecución del modelo.

Figura 35. Diagrama de ejecución de modelo de confiabilidad para bombeo mecánico



6.1 REPORTE DE SERVICIOS

Los campos de la Asociación Nare cuentan con el departamento de Drilling & Well Services propio de Mansarovar el cual está dividido en dos equipos de trabajo: Well Services Moriche-Abarco y Well Services Jazmín-Girasol-Underriver los cuales está encargado de todos los servicios a pozo que ameriten la operación, proporcionando los informes de servicio de los cuales se basa el modelo como fuente de información.

Figura 36. Logo del departamento de Drilling & Well Services.



Fuente: Mansarovar.

6.1.1 Daily Operational Brief Report Este es un informe el cual es enviado al correo corporativo todos los días a las 6 a.m. por cada equipo de servicios. En este reporte están resumidos los servicios que hicieron los equipos el día inmediatamente anterior y los pozos intervinieron. (Ver figura 37)

6.1.2 RSS Corporativo Es aquel reporte de servicio reportado en el Operational Brief Report pero ya con todos sus pasos y complementos (desinstalación de la bomba fallada instalación de la nueva bomba). Este se encuentra en Internet Explorer en la siguiente URL:
http://rss_corporativo/Reports/Pages/Report.aspx?ItemPath=%2fREPORTES_PEFORACION_WS%2fREPORT+WELL+SERVICES

Figura 37. Visualización del Daily Operational Brief Report.

Presenting Daily Well Services Operational Brief Report Moriche & Abarco Fields – Jun 13th, 2016.

JS-04: ABA PH1HZ01		NU BOP STACK	START	FINISH	HOURS
·	ABA PH3HZ08	PUMP CHANGE COMPLETE	06/12/16 21:00	06/13/16 22:00	25.0
·	ABA PH1HZ01	COMPLETE CHANGE PUMP + SLOTTED TBG	06/13/16 22:00	Present	8.0
MEC-1: MOR AO-08		INSTALL HORSEHEAD	START	FINISH	HOURS
·	MOR AO-08	COMPLETE CHANGE PUMP / RUNLIFE	06/12/16 22:30	Present	31.5
FB-MECL-01: MOR I-04		PERFORM PUMP ACTION TEST	START	FINISH	HOURS
·	MOR C-02	ADD PONY	06/12/16 20:00	06/13/16 02:00	6.0
·	MOR BM-08	NOT PUMP/ DEFICIENCY	06/13/16 02:00	06/13/16 05:00	3.0

Fuente: Mansarovar.

Este consta de 5 páginas: La primera es la portada, en la segunda encontramos información sobre el equipo que realizó el servicio y los tiempos de inicio-finalización de este, en la tercera se encuentra el reporte paso a paso, en la cuarta se encuentra el historial de servicios pasados y en la quinta página se encuentra el estado mecánico de cómo se entregó el pozo. (Ver figura 38)

6.2 INSTALACIÓN Y REGISTRO DEL SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO DE FONDO EN LA BASE DE DATOS AVM.

Una vez seleccionado el pozo con su respectivo servicio del Daily Operational Brief Report, procedemos hacer el registro de la información de instalación del sistema de fondo en la base de datos AVM. La información general del registro se encuentra en el reporte anteriormente mencionado (RSS Corporativo).

Figura 38. Visualización del reporte RSS Corporativo.

Inido > REPORTES_PERFORACION_WS > REPORT WELL SERVICES

Field: MORICHE Cluster: CLUSTER A

Well: MOR A 06 Event_Type: MNT - PUMP CHANGE - INSERT PUMP/ONLY ROD - 30/05/2016

Duracion: 8,5

3 de 4 ? 100% Buscar | Siguiete

DATE mm/dd/yyyy	TIME START	TIME END	DURATION	PHAS E	CODE	CLASS	OPERATION
05/30/2016	14:00	14:30	0.5	WS	MOB	P	MOVED FLUSH BY MECL 1 UNIT FROM MOR R-07 WELL TO MOR A-06 WELL TO PERFORM CHANGE SBP PUMP (DISTANCE 3.8 KM).
05/30/2016	14:30	15:30	1	WS	RU	P	RIGGED UP UNIT 100%
05/30/2016	15:30	16:30	1	WS	USIWT	P	REMOVED HORSE HEAD. INSTALLED WORKING TABLE AND HANDLING ROD TOOLS. TESTED HYDRAULIC INTEGRITY OF TUBING STRING WITH 500/500 PSI X10 MIN, OK. PERFORMED PUMPING ACTION TEST, SV ISSUE. REMOVED STUFFING BOX AND NU ROD BOP. (WEIGHT STRING: 7.5 KIPS, OVERPULL: 10.0 KIPS)
05/30/2016	16:30	18:30	2	WS	PULLS R	P	PULLED PUMPING STRING, FROM 3060.75 FT TO SURFACE AS FOLLOW: 1 POLISHED ROD 1-1/4" x 26 FT 3 PONY ROD 7/8" x 10 FT + 10 FT + 6 FT (26 FT) 96 SUCKER ROD 7/8" x 30 FT (2880 FT) 23 ROD GUIDE FOR TUBING 2-7/8" x 7/8" PIN x 2.25 FT (51.75 FT) 3 SINKER BARS 1-1/2" x 2.5 FT (75 FT) 1 PONY ROD 7/8" x 2 FT 1 INSERT PUMP 2.5-200 RWAM 18-2-0=6 TYPE: SBP CONVENTIONAL S/N # WM 0236 M REMARKS: - WEIGHT OF THE STRING: 7.5 KIPS
							RUNNING ROD STRING FROM SURFACE TO 3060.75 FT AS FOLLOW: 1 POLISHED ROD 1-1/4" x 26 FT 3 PONY ROD 7/8" x 10 FT + 10 FT + 6 FT (26 FT) 96 SUCKER ROD 7/8" x 30 FT (2880 FT) 23 ROD GUIDE FOR TUBING 2-7/8" x 7/8" PIN x 2.25 FT (51.75 FT)

Fuente: Mansarovar.

La información adicional de la marca de las piezas y su metalurgia se deberá pedir al proveedor que para MANSAROVAR es la empresa Weatherford International el cual maneja las metalurgias mostradas en la tabla 8 para los componentes de las bombas de subsuelo de los campos de la Asociación. (Ver tabla 8)

Al final del registro, este debe quedar diligenciado en el programa usado como base de datos como se observará en la figura número 39, el cual se hará de la siguiente manera. (Ver figura 39)

Tabla 7. Metalurgia de los componentes de las bombas de subsuelo usados en los campos de la Asociación Nare.

	PART	METALLURGY
PLUNGER ASSEMBLY	GUIDE, ROD SPRL 2-7/8	STEEL UNSG1XXX0
	CAGE, TOP OPEN LONG TYPE 2-7/8	STEEL UNSG1XXX0
	VALVE, BALL AND SEAT 2.250	BALL: TITANIUM CARBIDE SEAT: TUNGSTEN CARBIDE
	COUPLING, PULL TUBE LOWER	STEEL UNSG1XXX0
	PULL TUBE 1-1/2 OD X 269 IN.	STEEL UNSG1XXX0
	CONNECTOR, LOWER STM BP PULL TUBE	STEEL UNSG1XXX0
	PLUNGER, PIN-BOX, 2.000 X 2 - 0.005	OUTSIDE SURFACE CONDITION: SPRAY METAL. 0.010 IN. MIN THICKNESS, 595 HARDNESS VICKERS200 MIN HARDNESS. BASE MATERIAL: UNSG10XX0, G4XXX0
	PLUNGER, PIN-BOX, 2.000 X 2 - 0.008	OUTSIDE SURFACE CONDITION: SPRAY METAL. 0.010 IN. MIN THICKNESS, 595 HARDNESS VICKERS200 MIN HARDNESS. BASE MATERIAL: UNSG10XX0,

	PART	METALLURGY
		G4XXX0
	CAGE, PLUNGER CLOSED 2.000 FULL FLOW HIGH COMPRESSION	STEEL UNSG1XXX0
	VALVE, BALL AND SEAT 2.000	BALL: TITANIUM CARBIDE SEAT: TUNGSTEN CARBIDE
	PLUG, SEAT 2.000	STEEL UNSG1XXX0
BARREL ASSEMBLY	NIPPLE, EXTENSION, 2.00 X 72 IN. TO STEAM INJECTION	STEEL UNSG1XXX0
	BARREL, RW 2 X 18	CHROME PLATE ON STEEL INSIDE SURFACE CONDITION: 0.003 IN. MIN THICKNESS, 900 TO 1600 HARDNESS VICKERS100 BASE MATERIAL: UNSG10XX0
	CAGE, BARREL CLOSED 2.250 FULL FLOW	STEEL UNSG1XXX0
	VALVE, BALL AND SEAT 2.250	BALL: TITANIUM CARBIDE SEAT: TUNGSTEN CARBIDE
	BUSHING, SEATING BARRIL CAGE	STEEL UNSG1XXX0
SEATING ASSEMBLY	GUIDE, HVR, PULL TUBE	STEEL UNSG1XXX0
	SEATING MANDREL, FRICTION RING 2-7/8	STEEL UNSG1XXX0
	FRICTION RING 2-7/8 OD 2.307	
	SPACER, FRICTION RING 2-7/8	
	SEATING NIPPLE OD 2- 7/8" ID 2.291	STEEL UNSG1XXX0
	HOLD DOWN WITH FRICTION RINGS FOR SEATING NIPPLE ID 2.291	STEEL UNSG1XXX1

Fuente: WEATHERFORD.

Figura 39. Visualización Registro de Instalación de Bomba Mecánica en la base de datos AVM diligenciado

Modelo Confiabilidad Bombas - MOR-A0006		
Fecha	30/05/2016	Pagina 2 del rss
Fecha Final	30/05/2016 III	
Numero de Corrida	1	Consecutivo de Instalacion
Equipo (RIG o FB)	FB	Pagina 2 del rss
Nombre de Equipo	MECL-01	
Marca (Fondo)	WEATHERFORD	Pagina 3 del rss
Tipo	SBP	
Nomenclatura API (Fondo)	25-200 RWAM 18-2-6	
Metalurgia (Barril)	CHROME PLATE	
Serial (Barril)	MW-0169-M	
Barril (Marca)	WEATHERFORD	Tabla 7
Metalurgia (Piston)	SPRAY METAL	
Piston (Marca)	WEATHERFORD	Tabla 7
Serial ((Piston)	-	
Valvula Fija (Metalurgia)	TITCAR-TUNCAR	Tabla 7
Valvula Fija (Serial)	-	Pagina 3 del rss cuando es bomba tipo THM
Valvula Fija (Marca)	WEATHERFORD	
Valvula Superior (Metalurgia)	TITCAR-TUNCAR	Tabla 7
Valvula Superior (Serial)	-	
Valvula Viajera Superior (Marca)	WEATHERFORD	Tabla 7
Valvula Inferior (Metalurgia)	TITCAR-TUNCAR	
Valvula Inferior (Serial)	-	Tabla 7
Valvula Viajera Inferior (Marca)	WEATHERFORD	
Gas Breaker (Serial)	NO	Pagina 5 del rss
Extension Wiper (SI/NO)	NO	
Niple Strainer (SI/NO)	NO	
Profundidad de Asentamiento	3.086,80	

Fuente: MANSAROVAR.

6.3 REGISTRÓ DE INTERVENCIONES MENORES EN LA BASE DE DATOS AVM.

Las intervenciones menores son aquellos servicios a pozo que se hacen para corregir alguna falla reparable del sistema sin necesidad de hacer Pulling, este parámetro también es usado en la instalación de la bomba después de la inyección de vapor para tener en cuenta este servicio en los análisis estadísticos.

La información necesaria del registro de intervenciones menores también se encuentra se encuentra en el reporte anteriormente mencionado (RSS Corporativo).

Al final del registro de intervención menor, este debe quedar diligenciado de la siguiente manera.

Figura 40. Visualización Registro intervenciones menores en la base de datos AVM diligenciado.

Modelo Confiabilidad Bombas - MOR-A0006	
Fecha	08/10/2015
Trabajo Realizado	RS-REESPACIAMIENTO
Causa	03-NO LEVANTA PRESION
Equipo (Rig o FB)	FLUSH BY
Nombre del Equipo	MECL-01
Observaciones y Anotaciones	EL POZO QUEDA CON GOLPE LEVE

Fuente: MANSAROVAR.

6.4 REGISTRO DE PULLING DE BOMBAS DE SUBSUELO EN LA BASE DE DATOS AVM.

Las intervenciones de mayor frecuencia las cuales ameritan hacer desinstalación del sistema de fondo para los pozos de la Asociación Nare son:

- Cambios de bomba sencillos (Solo varilla).
- Cambios de bomba completos (Tubería y varilla).
- Pozo arenado y/o despegar sarta de varilla.

- Pulling de sarta para pozos esperando Workover o baja rentabilidad.
- Falla en la nipplesilla.
- Acondicionamiento a vapor.
- Inyección de Geles.
- Re-diseños de Tubería.
- Cambio de sistema de levantamiento (PCP a BM ó BM a PCP).
- Cambio de diseño de bomba de subsuelo.

La información necesaria del registro de Pulling también se encuentra se encuentra en el reporte RSS Corporativo.

Cuando la falla es atribuida a falla por tubería o a falla por varilla se pueden completar todas las casillas del Pulling y de análisis de falla ya que el reporte RSS Corporativo nos suministra la información necesaria. En la figura 41, se puede visualizar el registro de Pulling y la causa raíz por falla en las tuberías. (ver figura 41)

Para el registro de los demás Pulling solo se llenará hasta la casilla Razón específica ya que la información del reporte solo nos da para llenar hasta allí. Las demás casillas se diligenciarán una vez se haga el análisis de falla y causa raíz del sistema fallado. (Ver figura 42)

6.5 ANÁLISIS DE FALLA Y CAUSA RAZ EN PLANTILLA DE MICROSOFT ACCESS

Con el fin de llevar un informe de falla de cada pozo con sus respectivas evidencias fotográficas se tomó la decisión de hacer una plantilla en Microsoft Access ya que en el AVM no se podía anexar tal evidencia vital.

Antes de diligenciar el documento de Access se debe tener a la mano la siguiente información:

- Evidencias fotográficas: Para generar estos análisis es necesario pedir a los encargados del taller de bombas proporcionar cada semana las evidencias fotográficas del desarme de piezas de cada bomba las cuales son entregadas de manera organizada, es decir, cada juego de fotos con su serial y su respectivo día (el día corresponde a la fecha del desarme y no a la fecha de falla).
- Identificación del pozo: Una vez se tenga el serial de la bomba fallada con sus respectivas evidencias fotográficas se importara la información del ítem **8.2** (Instalación y registro del sistema de bombeo mecánico de fondo) en un documento Excel el cual, filtrando por el serial de la bomba, nos ayudara a identificar a que pozo pertenece esta.
- Metodología de los 5 porqués: La técnica de los 5 Porqués es un método basado en realizar preguntas para explorar las relaciones de causa-efecto que generan un problema en particular. El objetivo final de los 5 Porqué es determinar la causa raíz de un defecto o problema.

Se basa en un proceso de trazabilidad, se analizan las posibles causas al problema caminando hacia atrás, hasta llegar a la última causa que originó el problema. (Teniendo en cuenta que no tiene por qué ser exactamente 5 preguntas, pues esto va a depender de la longitud del proceso causal del problema).

Una vez identificado el pozo se ingresa al reporte del RSS Corporativo y se revisa la razón del servicio de desinstalación. Si su desinstalación no fue por falla (Inyección de vapor, Rediseños, Cambio de Niplesilla, Abandonos

temporales, entre otros.) seguimos al siguiente serial de la carpeta de fotos, es decir no necesita de una Análisis de causa raíz aun así sus piezas se hallan encontrado en mal estado ya que hasta el último día la bomba estuvo trabajando bien. Si por el contrario el Pulling se debió a falla se debe diligenciar la plantilla de análisis de falla y causa raíz como se explica a continuación:

- *NUMERO DE REGISTRO*: Es un consecutivo que se lleva de los Análisis de falla y causa raíz que se han hecho.
- *FECHA DEL TEAR DOWN*: Es la fecha de la carpeta de donde se sacó el serial de la bomba a evaluar.
- Los datos *CAMPO, POZO, FECHA DE INSTALACION, FECHA DE FALLA, NOMENCLATURA, RAZON GENERAL Y ESPECIFICA DEL PULLING* se encuentran en el AVM los cuales fueron anteriormente cargados en las pestañas del Modelo de confiabilidad de bombas.
- *RUNLIFE*: Es la resta de la fecha de desinstalación con la de instalación del sistema de levantamiento de fondo.
- En las casillas de evidencias se anexan las 4 fotos más relevantes del desarme de la bomba, válvula fija y/o pistón.
- *OBSERVACIONES TEAR DOWN*: Se escribe todo aquello observable en las evidencias.
- Los datos *COMPONENTE PRIMARIO, SUBCOMPONENTE PRIMARIO, SUBCOMPONENTE SECUNDARIO, CATEGORIA DE LA FALLA Y DESCRIPTOR DE LA FALLA* es información que se saca dependiendo de las evidencias.

- *OBSERVACIONES ANALISIS DE FALLA*: Es la falla que se presentó la cual es justificable con las evidencias y los ítems anteriores.
- La metodología de los 5 porqués tiene como el objetivo descubrir información vital de modo sistemático, analizar las causas ocultas y desarrollar soluciones a las preguntas planteadas. Se puede aplicar a la resolución de un conflicto, toma de diagnóstico o la toma de decisiones.
- *CAUSA GENERAL DE FALLA y CAUSA ESPECÍFICA DE LA FALLA*: Esta casilla deben estar relacionada con el último “porque” de la secuencia anterior.
- *CENSURA DE FALLA POR SISTEMA*: Siempre estará censurada con el numero 1 ya que con el hecho de estar haciendo este Análisis es porque se hizo Pulling por Falla.
- *CENSURA DE FALLA POR BOMBA*: Se censurara con 1 si la falla se debió a la bomba o con 0 si la falla fue de algún elemento del sistema diferente a la bomba.
- *CONCLUSION DEL ANALISIS DE CAUSA RAIZ*: Se resumirá por qué la causa que definimos en el quinto “porque” pudo generar el daño de los componentes mostrados en las evidencias.

Para los costos de falla se deberán hacer los siguientes pasos:

- *BRENT*: El precio en dólares del barril de crudo de esta referencia en el mercado el día de la falla.
- *TRM*: Es la Tasa Representativa del Mercado, es decir el precio en pesos de 1 dólar el día de la falla.

- *COSTO DE REPARACION*: Es el precio en pesos que cobra la empresa contratista encargada del lavado, desarme y arme de las bombas de subsuelo en el taller de bombas, en este caso PARKO Services.
- *COSTO DE PIEZAS*: Es el precio en dólares de las piezas afectadas por la falla.
- *PRODUCCION DEL POZO*: Es el número de barriles producidos de la última prueba cargada del pozo.
- *DIAS DE PARADA DEL POZO*: Es el número de horas que el pozo estuvo parado por la falla más el número de horas que duró el servicio del equipo convertidas a días.
- *COSTO DE EQUIPO*: Es el precio en dólares que cuesta el equipo (Flush By o RIG) por 1 hora de servicio. Este dato deberá ser preguntado al personal de Drilling & Well Services.
- *HORAS DE SERVICIO*: Es el número de horas que el equipo duro en el pozo corrigiendo la falla. Este dato se podrá encontrar en el informe del RSS Corporativo en la página 2.

Al final del registro de análisis de falla y causa raíz, este debe quedar diligenciado en Microsoft Access de la siguiente manera. (Ver figura 43)

Figura 41. Visualización Registro de Pulling y causa raíz por falla de Tubería en la base de datos AVM diligenciado totalmente.

Modelo Confiabilidad Bombas - MOR-A0006	
Fecha	30/05/2016
Fecha Final	30/05/2016 III
Fecha de Falla o Parada	15/06/2016 III
Fecha de Pulling	14/06/2016 III
Run Life de la Corrida	
Numero de Corrida	1
Razon General	SRM-SERVICIO A POZO / MANTENIMIENTO
Razon Especifica	03-FALLA DE TUBING
Componente Primario (Componente Fallado)	TUBERIA DE PRODUCCION
Subcomponente Primario (Componente Fallado)	TUBERIA DE PRODUCCION
Subcomponente Secundario (Componente Fallado)	
Descriptor de Falla (Categoria Primaria)	MC-MECANICA
Descriptor de Falla (Categoria Secundaria)	01-DANO EN ROSCA
Causa de Falla (General)	DG-DESGASTE NORMAL O ESPERADO
Causa de Falla (Especific)	01-DESGASTE NORMAL O ESPERADO
Censura de Falla por Sistema	1 CENSURA 1 YA QUE FALLO UNA PIEZA DEL SISTEMA
Censura de Falla por Bomba	0 CENSURA 0 YA QUE LA FALLA NO FUE DE LA BOMBA
Costo reparacion de bomba	124
Costo diferida de produccion	1.200
Costo de intervencion	6.380
Otros costos	

Fuente: MANSAROVAR

Figura 42. Visualización Registro de Pulling por fallas diferente a tubería y varilla en la base de datos AVM diligenciado.

Modelo Confiabilidad Bombas - MOR-M005	
Fecha	21/11/2015
Fecha Final	22/11/2015 III
Fecha de Pulling	05/04/2016 III
Fecha de Falla o Parada	04/04/2016 III
Run Life de la Corrida	136
Pulling de tubería (SI/NO)	NO
Numero de Corrida	1
Equipo (RIG o FB)	FB
Nombre de Equipo	TTP-01
Razon General	FL-FLUJO
Razon Especifica	02-POCO FLUJO EN SUPERFICIE
Componente Primario (Componente Fallado)	
Subcomponente Primario (Componente Fallado)	
Subcomponente Secundario (Componente Fallado)	
Trabajo adicional al Pulling	

Fuente: MANSAROVAR.

Figura 43. Visualización Registro análisis de falla y causa raíz en plantilla de Microsoft Access.

MANSAROVAR			
DATOS BÁSICOS			
Numero de registro	226	Fecha de Tear Down	4/28/2016
Campo	MORICHE	Fecha de Instalación	15/11/2015
Pozo	SA-014	Fecha de falla	4/26/2016
		RUNTIME (hrs)	221
DESCRIPCION DE LA BOMBA			
Referencia en Actos	25-200-EWAA-18-2-0		
Serial BARRIL	MW-0023-M	Serial PISTON	Serial VALVULA
RAZON DE PULLING			
Razon General del Pulling	FLUIDO	Razon especifica del pulling	FLU - POCO FLUIDO EN SUPERFICIE
EVIDENCIA ENCONTRADA DURANTE EL TEAR DOWN			
Evidencia Fotografica 1		Evidencia Fotografica 2	
Evidencia Fotografica 3		Evidencia Fotografica 4	
OBSERVACIONES TEAR DOWN	ANILLOS DE FROCCION RAYADOS, PISTON Y GUJA DEL PULL TUBE PRESENTAN DESGASTE ABRASIVO, LOS DEMAS COMPONENTES EN BUEN ESTADO Y SE VUELVEN A ENSAMBLAR.		
ANALISIS DE FALLA			
Componente Primario	BOM - BOMBA	Categoria de falla primaria	MATERIALES
Subcomponente primario	BOM - PISTON	Descriptor de falla primaria	MT - RAYADO
Subcomponente secundario	BOM - PULL TUBE	Descriptor de falla secundaria	MT - RAYADO
OBSERVACIONES ANALISIS DE FALLA	LA FALLA SE DA POR FUGA DE FLUIDO EN EL FIT QUE HAY ENTRE EL BARRIL Y EL PISTON OCASIONADO POR EL DESGASTE EN EL MATERIAL DE ESTE ULTIMO.		
ANALISIS DE CAUSA RAIZ			
METODOLOGIA 5 PORQUE?			
¿ Porque? 1	LA FALLA DE LA BOMBA SE DA POR FUGA DE FLUIDO.	Causa general de falla	YAC - SACRIFICIO O FLUIDOS
¿ Porque? 2	ESTA FUGA FUE OCASIONADA POR AUMENTO DEL FIT ENTRE EL BARRIL Y EL PISTON.	Causa especifica de falla	YAC - ARENA
¿ Porque? 3	ESTO DEBIDO A QUE EL PISTON PRESENTABAN DESGASTE ABRASIVO.	Causa de falla por sistema	1
¿ Porque? 4	POR QUE EL POZO ENABADO CON PRESENCIA DE ARENA.	Causa de falla por bomba	1
¿ Porque? 5			
CONCLUSIONES ANALISIS DE CAUSA RAIZ	SE DETERMINA QUE LA CAUSA RAIZ DE LA FALLA SE DA POR PRESENCIA DE ARENA EN EL POZO EL CUAL GENERO DESGASTE EN LAS PARTES INTERNAS DE LA BOMBA CAUSANDO FUGA DE FLUIDO.		
COSTO DE FALLA			
PRECIO (USD/HR)	45		
TRM (COP/USD)	2942		
Costo de reparacion (COP)	273000	Produccion del pozo (BOPO)	50
Costo de piezas (USD)	221	Dias de parada del pozo	1.40
COSTO TOTAL DE REPARACION DE BOMBA (USD)	226.39	COSTO TOTAL DE OPERACION (USD)	2285
OTROS COSTOS	0	COSTO DE INTERVENCIÓN (USD)	10800
		COSTO TOTAL DE FALLA USD	14472
RECOMENDACIONES			
1. SE RECOMIENDA DE LO POSIBLE PARA ESTOS POZOS CON PRESENCIA DE ARENA UTILIZAR ACCESORIOS EN LA BOMBA PARA MANEJO DE ESTA. 2. REVISAR EL ESTADO MECANICO DEL POZO PARA REVISAR EL TOPE DEL AVANCE Y ASI AUMENTAR EL BOLSILLO. 3. POR ULTIMO EVALUAR LAS CONDICIONES DE ESTOS POZOS ANTES DE HACER UNA INYECCION DE VAPORES.			
SUDAMBA BANCOS Estudiante en Práctica		ALVARO CAJAS Coordinador de Ingeniería	

Fuente: MANSAROVAR.

Por último, se procede a pasar la información del documento Access a la base de datos del modelo de confiabilidad en el AVM en la pestaña *Registro de Análisis de Falla BM*.

Figura 44. Visualización Registro análisis de falla y causa raíz en la base de datos AVM diligenciado.

Modelo Confiabilidad Bombas - MOR-BA014	
Fecha	18/10/2015
Fecha Final	19/10/2015
Fecha de Falla o Parada	23/04/2016
Fecha de Pulling	27/04/2016
Run Life de la Corrida	188
Numero de Corrida	1
Razon General	FL-FLUJO
Razon Especifica	02-POCO FLUJO EN SUPERFICIE
Componente Primario (Componente Fallado)	BOMBA
Subcomponente Primario (Componente Fallado)	02-PISTON
Subcomponente Secundario (Componente Fallado)	08-PULL TUBE
Descriptor de Falla (Categoria Primaria)	MT-MATERIALES
Descriptor de Falla (Categoria Secundaria)	01-RAYADO
Causa de Falla (General)	YAC-YACIMIENTO O FLUIDOS
Causa de Falla (Especificas)	04-ARENA
Censura de Falla por Sistema	1
Censura de Falla por Bomba	1
Costo reparacion de bomba	337
Costo diferida de produccion	3.285
Costo de intervencion	10.850
Otros costos	
Observaciones y Anotaciones	<p>SE DETERMINA QUE LA CAUSA RAIZ DE LA FALLA SE DA POR PRESENCIA DE ARENA EN EL POZO EL CUAL GENERO DESGASTE EN LAS PARTES INTERNAS DE LA BOMBA CAUSANDO FUGA DE FLUIDO.</p> <p>COSTO TOTAL DE LA FALLA: \$14472 USD.</p>

Fuente: MANSAROVAR.

6.6 IMPORTACIÓN DE LA INFORMACIÓN ALMACENADA Y DESARROLLO DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Al tener ya todos los análisis de falla montados en la base de datos AVM, intervenciones (Mayores y Menores) y demás se procedió a solicitar a través del departamento de Datamanagement Mansarovar la importación de toda la información que se ingresó al AVM en un documento Excel el cual se podrá manejar de manera más organizada, filtrando la información detallada que sea necesaria para implementar el modelo.

Las pestañas importadas de la base de datos AVM en el documento Excel se muestran a continuación:

- Pestaña Registro de instalación de bombeo mecánico.

Figura 45. Visualización pestaña registro de instalación de bombeo mecánico.

CAMPO	POZO	NUMERO CORRIDA	EQUIP	NOMBRE	MARCA (FONDO)	TIPO	NOMENCLATURA API (Fondo)	METALURGIA (BARR)
ABARCO	ABA-0001	1	FB	TTP-01	WEATHERFORD	SBP	25-200-RWAM-18-2-0	CHROME PLATE
ABARCO	ABA-AH03	1	RIG	MEC-01	WEATHERFORD	SBP	25-200-RWAM-18-2-6	CHROME PLATE
ABARCO	ABA-AH03	2	FB	TTP-01	WEATHERFORD	SBP	200-RWAM-18-2-6	CHROME PLATE
ABARCO	ABA-AW007	1	FB	MECL-01	WEATHERFORD	THM	25-225-THM-16-2	CHROME PLATE
ABARCO	ABA-P4H10	1	RIG	JS-04	WEATHERFORD	THM	30-275-THM-20-2	CHROME PLATE
ABARCO	ABA-P4H11	1	FB	MECL-01	WEATHERFORD	THM	25-225-THM-16-2	CHROME PLATE
ABARCO	ABA-P5H11	1	FB	TTP-01	WEATHERFORD	THM	30-2750THM-20-2	CHROME PLATE
ABARCO	ABA-P5H11	2	FB	TTP-01	WEATHERFORD	THM	30-275-THM-20-2	CHROME PLATE
ABARCO	ABA-P5H12	1	FB	MECL-01	WEATHERFORD	THM	30-275-THM-20-2	CHROME PLATE

- Pestaña Registro de desinstalación del sistema de fondo (Pulling).

Figura 46. Visualización pestaña registro de desinstalación del sistema de fondo.

CAMPO	POZO	FECHA	FECHA FINAL	FECHA DE PULLING	FECHA DE FALLA O PARADA
ABARCO	ABA-0001	jueves, 18 de febrero de 2016	jueves, 18 de febrero de 2016		
ABARCO	ABA-AH03	martes, 27 de octubre de 2015	jueves, 29 de octubre de 2015	martes, 23 de febrero de 2016	martes, 23 de febrero de 2016
ABARCO	ABA-AH03	sábado, 5 de marzo de 2016	domingo, 6 de marzo de 2016		
ABARCO	ABA-AW007	sábado, 31 de octubre de 2015	sábado, 31 de octubre de 2015		
ABARCO	ABA-P4H10	jueves, 7 de enero de 2016	jueves, 7 de enero de 2016		
ABARCO	ABA-P4H11	miércoles, 23 de diciembre de 2015	miércoles, 23 de diciembre de 2015		
ABARCO	ABA-P5H11	domingo, 8 de noviembre de 2015	domingo, 8 de noviembre de 2015	jueves, 25 de febrero de 2016	jueves, 25 de febrero de 2016
ABARCO	ABA-P5H11	domingo, 6 de marzo de 2016	domingo, 6 de marzo de 2016		
ABARCO	ABA-P5H12	domingo, 29 de noviembre de 2015	domingo, 29 de noviembre de 2015	jueves, 31 de marzo de 2016	miércoles, 30 de marzo de 2016
ABARCO	ABA-P5H12	martes, 12 de abril de 2016	martes, 12 de abril de 2016		

- Pestaña Registro Intervenciones menores.

Figura 47. Visualización pestaña registro de intervenciones menores.

POZO	FECHA	CODIGO TRABAJO REALIZADO	DETALLE TRABAJO REALIZADO	CODIGO CAUS	DETALLE CAUSA
ABA-0001	martes, 1 de marzo de 2016	FLU	FLU-FLUSHING	FLU02	02-ARENAMIENTO
ABA-0001	martes, 19 de abril de 2016	FLU	FLU-FLUSHING	FLU01	01-BLOQUEO POR GAS
ABA-0001	lunes, 9 de mayo de 2016	FLU	FLU-FLUSHING	FLU01	01-BLOQUEO POR GAS
ABA-AH03	domingo, 6 de marzo de 2016	PI	PI-POST INYECCION		
ABA-P5H11	domingo, 6 de marzo de 2016	PI	PI-POST INYECCION		
ABA-P5H11	miércoles, 16 de marzo de 2016	RS	RS-REESPACIAMIENTO		
ABA-P5H12	domingo, 24 de enero de 2016	FLU	FLU-FLUSHING	FLU01	01-BLOQUEO POR GAS

En este proceso se utilizara la información que ha sido almacenada en el modelo de confiabilidad para realizar la parte final de este proyecto como son estadísticas de Índice de Pulling, Índice de Falla, Índice de Intervenciones menores, Índice de Intervenciones totales, run-life promedio de Pulling, run-life promedio de Fallas, run-life promedio de los sistemas corriendo a la fecha del corte, Graficas de MTBF, Graficas de MTBP y graficas estadísticas de las fallas evaluados en este caso en el trimestre Febrero-Marzo-Abril.

A continuación se describirá el procedimiento aplicado para un solo campo de la Asociación Nare y al final se repetirá el procedimiento a los demás campos con el fin de realizar las gráficas estadísticas.

El primer paso antes hallar los índices estadísticos fue hacer el conteo de número de Pulling, número de fallas, número de intervenciones menores, número de intervenciones totales y numero de pozos activos con bombeo mecánico de cada campo de la Asociación Nare.

Se creó una nueva pestaña en el Excel la cual se llamara *Estadísticas* para el manejo organizado de la información.

6.6.1 Numero de pulling Es el número de desinstalaciones de los sistemas ejecutados por cada campo y cada mes del periodo evaluado, organizados en la tabla 8.

Los pasos para diligenciar la tabla 8 se describen a continuación:

Tabla 8. Número de Pulling.

PULLING				
CAMPO	No. PULLING FEBRERO	No. PULLING MARZO	No. PULLING ABRIL	TOTAL CADA CAMPO TRIMESTRE
ABARCO				
GIRASOL				
JAZMIN				
MORICHE				
NARE-UNDERRIVER				
TOTAL ASOCIACION POR MES				

- Estos datos se extraen de la pestaña *Registro de desinstalación del sistema de fondo (Pulling)* filtrando primero por la columna **CAMPO**.
- Luego filtrando en la columna **FECHA DE PULLING** cada uno de los meses del trimestre a evaluar y se contabiliza el número de Pulling correspondiente al mes de la casilla a diligenciar.
- Al final, cuando el cuadro tenga todos los datos (casillas blancas) se procede hacer la suma de las filas y de las columnas (casillas azules) para facilitar futuras operaciones.

A continuación, se presenta la tabla 9 diligenciada con base a la información recaudada en el modelo de confiabilidad durante el trimestre evaluado para bombeo mecánico en los campos de la Asociación Nare.

Tabla 9. Pulling de los meses de febrero, marzo y abril.

PULLING				
CAMPO	No. PULLING FEBRERO	No. PULLING MARZO	No. PULLING ABRIL	TOTAL CADA CAMPO TRIMESTRE
ABARCO	18	26	27	71
GIRASOL	18	22	17	57
JAZMIN	40	64	66	170
MORICHE	98	134	110	342
NARE- UNDERRIVER	6	12	8	26
TOTAL ASOCIACION POR MES	180	258	228	

6.6.2 Numero de fallas Es el número de fallas diagnosticadas de los sistemas por cada campo y cada mes del periodo evaluado, organizadas en la tabla 10.

Tabla 10. Número de Fallas.

FALLAS				
CAMPO	No. FALLAS FEBRERO	No. FALLAS MARZO	No. FALLAS ABRIL	TOTAL CADA CAMPO TRIMESTRE
ABARCO				
GIRASOL				
JAZMIN				
MORICHE				
NARE- UNDERRIVER				
TOTAL ASOCIACION POR MES				

Los pasos para diligenciar la tabla 10 se describen a continuación:

- Estos datos se extraen de la pestaña *Registro de desinstalación del sistema de fondo (Pulling)* filtrando primero por la columna **CAMPO**.
- Luego filtrando en la columna **FECHA DE PULLING** el primer mes del trimestre a evaluar.
- Después se filtra en la columna **DETALLE RAZON ESPECIFICA** las razones que ya anteriormente hemos definido como falla y se contabilizan las fallas correspondientes a este mes y así cada uno de los meses del trimestre.
- Después se quitan los filtros y se vuelve a filtrar por el siguiente Campo y Mes hasta completar el cuadro.
- Al final, cuando el cuadro tenga todos sus datos (casillas blancas) se procede hacer la suma de las filas y de las columnas (casillas azules) para facilitar futuras operaciones.

A continuación, se presenta la tabla 11 diligenciada en base a la información recaudada en el modelo de confiabilidad durante el trimestre evaluado para bombeo mecánico en los campos de la Asociación Nare.

Tabla 11. Fallas de febrero, marzo y abril

FALLAS				
CAMPO	No. FALLAS FEBRERO	No. FALLAS MARZO	No. FALLAS ABRIL	TOTAL CADA CAMPO TRIMESTRE
ABARCO	4	8	9	21
GIRASOL	5	5	5	15
JAZMIN	24	39	31	94
MORICHE	40	57	49	146
NARE- UNDERRIVER	4	6	7	17
TOTAL ASOCIACION POR MES	77	115	101	

6.6.3 Numero de intervenciones menores Es el número de intervenciones menores diagnosticadas de los sistemas por cada campo y cada mes del periodo evaluado, organizadas en la tabla 12.

Tabla 12. Número de intervenciones menores.

INTERVENCIONES MENORES				
CAMPO	No. Im FEBRERO	No. Im MARZO	No. Im ABRIL	TOTAL CADA CAMPO TRIMESTRE
ABARCO				
GIRASOL				
JAZMIN				
MORICHE				
NARE- UNDERRIVER				
TOTAL ASOCIACION POR MES				

Los pasos para diligenciar la tabla 12 se describen a continuación:

- Estos datos se extraen de la pestaña *Registro de intervenciones menores* filtrando primero por la columna **CAMPO**.
- Luego filtrando en la columna **FECHA** cada uno de los meses del trimestre y se contabiliza el número de intervenciones menores correspondiente a este mes.
- Al final cuando el cuadro tenga todos sus datos (casillas blancas) se procede hacer la suma de las filas y de las columnas (casillas azules) para facilitar futuras operaciones.

A continuación, se presenta la tabla 13 diligenciada en base a la información recaudada en el modelo de confiabilidad durante el trimestre evaluado para bombeo mecánico en los campos de la Asociación Nare.

Tabla 13. Intervenciones menores de febrero, marzo y abril.

INTERVENCIONES MENORES				
CAMPO	No. Im FEBRERO	No. Im MARZO	No. Im ABRIL	TOTAL CADA CAMPO TRIMESTRE
ABARCO	22	22	16	60
GIRASOL	16	19	19	54
JAZMIN	23	29	37	89
MORICHE	86	83	62	231
NARE- UNDERRIVER	2	4	7	13
TOTAL ASOCIACION POR MES	149	157	141	

6.6.4 Número de intervenciones totales Es el número de intervenciones totales diagnosticadas de los sistemas por cada campo y cada mes del periodo evaluado, organizadas en la tabla 14.

Los pasos para diligenciar la tabla 14 se describen a continuación:

- Es la suma de la tabla 9 (Pulling) y la tabla 13 (Intervenciones menores) anteriormente presentadas por cada campo y cada mes.
- Al final cuando el cuadro tenga todos sus datos (casillas blancas) se procede hacer la suma de las filas y de las columnas (casillas azules) para facilitar futuras operaciones.

Tabla 14. Número de intervenciones totales.

INTERVENCIONES TOTALES				
CAMPO	No. INTERVENCIONES FEBRERO	No. INTERVENCIONES MARZO	No. INTERVENCIONES ABRIL	TOTAL CADA CAMPO TRIMESTRE
ABARCO	40	48	43	131
GIRASOL	34	41	36	111
JAZMIN	63	93	103	259
MORICHE	184	217	172	573
NARE-UNDERRIVER	8	16	15	39
TOTAL ASOCIACION POR MES	329	415	369	

A continuación, se presenta la tabla 15 diligenciada en base a la información recaudada en el modelo de confiabilidad durante el trimestre evaluado para bombeo mecánico en los campos de la Asociación Nare.

Tabla 15. Intervenciones totales de febrero, marzo y abril

INTERVENCIONES TOTALES				
CAMPO	No. INTERVENCIONES FEBRERO	No. INTERVENCIONES MARZO	No. INTERVENCIONES ABRIL	TOTAL CADA CAMPO TRIMESTRE
ABARCO				
GIRASOL				
JAZMIN				
MORICHE				
NARE-UNDERRIVER				
TOTAL ASOCIACION POR MES				

6.6.5 Numero de pozos activos con sistema de levantamiento bombeo mecánico Es el número de pozos activos totales con bombeo mecánico por cada campo y cada mes del periodo evaluado, organizadas en la tabla 16.

Tabla 16. Número de pozos activos con bombeo mecanico

NUMERO DE POZOS ACTIVOS CON BOMBEO MECANICO				
CAMPO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	PROMEDIO
ABARCO				
GIRASOL				
JAZMIN				
MORICHE				
NARE-UNDERRIVER				

Los pasos para diligenciar la tabla 16 se describen a continuación:

- El número de pozos por cada mes de acuerdo al campo se encuentra en el reporte de las formas Ministeriales, la cual se encuentra en la siguiente

página:http://rss_corporativo/Reports/Pages/Folder.aspx?ItemPath=%2fMSV&ViewMode=List

- Estando en el reporte mencionado, se busca en cada campo el cuadro 7 y se filtra por cada mes a evaluar, seleccionando el valor de la casilla **BM**

Figura 48. Visualización cuadro 7 de las formas Ministeriales.

DISTRIBUCION DE COPIAS ORIGINAL Y COPIA SH 1 COPIA OFICINA DE ZONA COPIAS OPERADOR		MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA DIRECCION GENERAL DE HIDROCARBUROS SUBDIRECCION DE HIDROCARBUROS										Cuadro 7 REVISADA: OCT-73	
PRODUCCION NETA Y ESTADO DE LOS POZOS A FINAL DEL MES													
OPERADOR: MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTD.		CONTRATO: CONTRATO DE ASOCIACION NARE				MES: Marzo		AÑO: 2016					
CAMPOS	PRODUCCION BM*NETOS	POZOS ACTIVOS		POZOS INACTIVOS					POZOS INYECTORES			TOTAL	
		PCP	BM	ACDA	TRA	SAP	ANW	OTROS	IAR	IVC	IV		
ABARCO COMERCIAL	178032.64	3	65	10	0	2	5	7	0	10	0	102	
TOTALES	178032.64	3	65	10	0	2	5	7	0	10	0	102	

Fuente: MANSAROVAR

- Al tener todos los pozos por cada campo y cada mes se procede hacer el promedio de pozos en el periodo evaluado (en este caso el trimestre Febrero-marzo-abril) en la columna de celdas azules.

A continuación, se presenta la tabla 17 diligenciada en base a la información recaudada en el modelo de confiabilidad durante el trimestre evaluado para bombeo mecánico en los campos de la Asociación Nare.

Tabla 17. Número de pozos activos con bombeo mecánico Asociación Nare

NUMERO DE POZOS ACTIVOS CON BOMBEO MECANICO ASOCIACION NARE				
CAMPO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	PROMEDIO
ABARCO	79	77	85	80,3
GIRASOL	138	138	138	138,0
JAZMIN	355	355	355	355,0
MORICHE	504	496	538	512,7
NARE-UNDERRIVER	126	124	124	124,7

Una vez organizados los parámetros anteriores en sus respectivas tablas se procederá a generar los índices a continuación.

6.6.6 Índice de pulling En este parámetro tendremos en cuenta la fórmula de la ecuación (2) del ítem 5 junto con las tablas 9 y tabla 17, al final tendremos el índice de Pulling de cada mes, del trimestre y de acuerdo a la tendencia que lleva el campo un índice de Pulling proyectado a un año expresado en decimal, valor el cual al ser multiplicado por 100% nos dará el porcentaje de sistemas desinstalados.

El Índice de Pulling por cada campo y cada mes del periodo evaluado serán organizadas en la tabla 18.

Tabla 18. Índice de Pulling.

INDICE DE PULLING					
CAMPO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	TRIMESTRE	ANUAL PROYECTADO
ABARCO					
GIRASOL					
JAZMIN					
MORICHE					
NARE-UNDERRIVER					

Los pasos para diligenciar la tabla 18 se describen a continuación:

- Para hallar el Índice de Pulling para cada mes, se divide el número de Pulling del mes a evaluar (Tabla 9) dividido en el número de pozos activos de ese campo en el mes que se está evaluando (Tabla 17).
- En la columna del trimestre se dividirá el número de Pulling totales de cada campo (Columna azul derecha de la Tabla 9) con el número de pozos promedio de cada campo (Columna azul derecha de la Tabla 17).
- En la columna ANUAL PROYECTADO (columna azul) se tomará la columna del trimestre y se multiplicara por 4.

Si el índice de Pulling del mes de febrero nos da un valor de 0.2195 al ser multiplicado por 100% no da un resultado de 21.25% el cual se lee de la siguiente manera: *“En febrero, en el campo X, el 21.25% de los sistemas de bombeo mecánico fueron desinstalados”*.

A continuación, se presenta la tabla 19 diligenciada en base a la información recaudada en el modelo de confiabilidad durante el trimestre evaluado para bombeo mecánico en los campos de la Asociación Nare.

Tabla 19. Índice de Pulling Asociación Nare

INDICE DE PULLING ASOCIACION NARE					
CAMPO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	TRIMESTRE	ANUAL PROYECTADO
ABARCO	0,227848	0,337662	0,317647	0,883817	3,535270
GIRASOL	0,130434	0,15942	0,123188	0,413043	1,652174
JAZMIN	0,112676	0,18028	0,185915	0,478873	1,915493
MORICHE	0,194444	0,27016	0,204460	0,66710	2,668401
NARE- UNDERRIVER	0,047619	0,096774	0,064516	0,20855	0,834225

6.6.7 Índice de falla En este parámetro tendremos en cuenta la fórmula de la ecuación número 1 del ítem 5 junto con las tabla 10 y tabla 17, al final tendremos el índice de falla de cada mes, del trimestre y de acuerdo a la tendencia que lleva el campo un índice de falla proyectado a un año expresado en decimal, valor el cual al ser multiplicado por 100% nos dará el porcentaje de sistemas fallados. El Índice de falla por cada campo y cada mes del periodo evaluado serán organizadas en la tabla 20.

Tabla 20. Índice de falla.

INDICE DE FALLA					
CAMPO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	TRIMESTRE	ANUAL PROYECTADO
ABARCO					
GIRASOL					
JAZMIN					
MORICHE					
NARE- UNDERRIVER					

Los pasos para diligenciar la tabla 20 se describen a continuación:

- Para hallar el Índice de falla para cada mes, se divide el número de fallas del mes a evaluar (Tabla 11) dividido en el número de pozos activos de ese campo en el mes que se está evaluando (Tabla 17).
- En la columna del trimestre se dividirá el número de fallas totales de cada campo (Columna azul derecha de la Tabla 11) con el número de pozos promedio de cada campo (Columna azul derecha de la Tabla 17).
- En la columna ANUAL PROYECTADO (columna azul) se tomará la columna del trimestre y se multiplicara por 4.

Si el índice de falla del mes de febrero nos da un valor de 0.2195 al ser multiplicado por 100% no da un resultado de 21.25% el cual se lee de la siguiente manera: “En febrero, en el campo X, el 21.25% de los sistemas de bombeo mecánico fallaron”.

A continuación se presenta la tabla 21 diligenciada en base a la información recaudada en el modelo de confiabilidad durante el trimestre evaluado para bombeo mecánico en los campos de la Asociación Nare.

Tabla 21. Índice de falla Asociación Nare

INDICE DE FALLA ASOCIACION NARE					
CAMPO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	TRIMESTRE	ANUAL PROYECTADO
ABARCO	0,050632	0,103896	0,105882	0,261410	1,045643
GIRASOL	0,036231	0,036231	0,036231	0,108695	0,434783
JAZMIN	0,067605	0,109859	0,087323	0,264788	1,059155
MORICHE	0,079365	0,114919	0,091078	0,284785	1,139142
NARE- UNDERRIVER	0,031746	0,048387	0,056451	0,136363	0,545455

6.6.8 Índice de intervenciones menores En este parámetro tendremos en cuenta la fórmula de la ecuación (3) del ítem 5 junto con las tablas 13 y tabla 17, al final tendremos el índice de intervenciones menores de cada mes, del trimestre y de acuerdo a la tendencia que lleva el campo un índice de intervención menor proyectado a un año expresado en decimal, valor el cual al ser multiplicado por 100% nos dará el porcentaje de sistemas que tuvieron alguna intervención menor.

El Índice de intervención menor por cada campo y cada mes del periodo evaluado serán organizadas en la tabla 22.

Tabla 22. Índice de intervenciones menores.

INDICE DE INTERVENCIONES MENORES					
CAMPO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	TRIMESTRE	ANUAL PROYECTADO
ABARCO					
GIRASOL					
JAZMIN					
MORICHE					
NARE- UNDERRIVER					

Los pasos para diligenciar la tabla 22 se describen a continuación:

- Para hallar el Índice de intervenciones menores para cada mes, se divide el número de intervenciones menores del mes a evaluar (Tabla 13) dividido en el número de pozos activos de ese campo en el mes que se está evaluando (Tabla 17).
- En la columna del trimestre se dividirá el número de intervenciones menores totales de cada campo (Columna azul derecha de la Tabla 13) con el número de pozos promedio de cada campo (Columna azul derecha de la Tabla 17).
- En la columna ANUAL PROYECTADO (columna azul) se tomará la columna del trimestre y se multiplicará por 4.

Si el índice de intervenciones menores del mes de febrero nos da un valor de 0.2195 al ser multiplicado por 100% no da un resultado de 21.25% el cual se lee de la siguiente manera: *“En febrero, en el campo X, el 21.25% de los sistemas de bombeo mecánico tuvieron alguna intervención menor”*.

A continuación, se presenta la tabla 23 diligenciada en base a la información recaudada en el modelo de confiabilidad durante el trimestre evaluado para bombeo mecánico en los campos de la Asociación Nare.

Tabla 23. Índice de intervalos menores Asociación Nare

INDICE DE INTERVENCIONES MENORES					
CAMPO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	TRIMESTRE	ANUAL PROYECTADO
ABARCO	0,278481	0,285714	0,188235	0,746887	2,987552
GIRASOL	0,115942	0,137681	0,137681	0,391304	1,565217
JAZMIN	0,064788	0,081690	0,104225	0,250704	1,002817
MORICHE	0,170634	0,16733	0,115241	0,450585	1,802341
NARE- UNDERRIVER	0,015873	0,032258	0,056451	0,104278	0,417112

6.6.9 Índice de intervenciones totales En este parámetro tendremos la tabla 15 y tabla 17, al final tendremos el índice de intervenciones totales de cada mes, del trimestre y de acuerdo a la tendencia que lleva el campo un índice de intervenciones totales proyectado a un año expresado en decimal, valor el cual al ser multiplicado por 100% nos dará el porcentaje de sistemas que tuvieron algún tipo de intervención.

El Índice de intervenciones totales por cada campo y cada mes del periodo evaluado serán organizadas en la tabla 24.

Tabla 24. Índice de intervenciones totales.

INDICE DE INTERVENCIONES TOTALES					
CAMPO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	TRIMESTRE	ANUAL PROYECTADO
ABARCO					
GIRASOL					
JAZMIN					
MORICHE					
NARE- UNDERRIVER					

Los pasos para diligenciar la tabla 24 se describen a continuación:

- Para hallar el Índice de intervenciones totales para cada mes, se divide el número de intervenciones totales del mes a evaluar (Tabla 15) dividido en el número de pozos activos de ese campo en el mes que se está evaluando (Tabla 17).
- En la columna del trimestre se dividirá el número de intervenciones totales de cada campo (Columna azul derecha de la Tabla 15) con el número de pozos promedio de cada campo (Columna azul derecha de la Tabla 15).
- En la columna ANUAL PROYECTADO (columna azul) se tomara la columna del trimestre y se multiplicara por 4.

Si el índice de intervenciones totales del mes de febrero nos da un valor de 0.2195 al ser multiplicado por 100% no da un resultado de 21.25% el cual se lee de la siguiente manera: *“En febrero, en el campo X, el 21.25% de los sistemas de bombeo mecánico tuvieron algún tipo de intervención”*.

A continuación se presenta la tabla 25 diligenciada en base a la información recaudada en el modelo de confiabilidad durante el trimestre evaluado para bombeo mecánico en los campos de la Asociación Nare.

Tabla 25. Índice de intervenciones totales Asociación Nare

INDICE DE INTERVENCIONES TOTALES ASOCIACION NARE					
CAMPO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	TRIMESTRE	ANUAL PROYECTADO
ABARCO	0,506329	0,623376	0,505882	1,630705	6,522822
GIRASOL	0,246376	0,297101	0,260869	0,804347	3,217391
JAZMIN	0,177464	0,261971	0,290140	0,729577	2,918310
MORICHE	0,365079	0,4375	0,319702	1,117685	4,470741
NARE	0,063492	0,129032	0,120967	0,312834225	1,251337

Después de haber hallado los índices anteriores, el siguiente paso será hallar los run-life para cada campo en una nueva pestaña en Excel llamada *runlife-Campo* y a su vez con dicha información, hallar los datos de MTBF y MTBOP como se presenta a continuación.

6.6.10 Run life de los sistemas retirados En este parámetro tendremos en cuenta el tiempo de vida de los sistemas que fueron retirados (sin importar el motivo) en el periodo evaluado de cada campo de la Asociación Nare, y se hallara de la siguiente manera para un campo, repitiendo así mismo con cada uno de los restantes.

- Se creará la tabla 26, la cual nos ayudará a organizar mejor la información necesaria para este parámetro.

Tabla 26. Run-Life de los sistemas retirados.

POZO	FECHA DE L PULLING	RUNLIFE	RAZON DEL PULLING	CENSURA

- Luego nos vamos a la pestaña *Registro de desinstalación del sistema de fondo (Pulling)* en la cual primero filtramos por el campo que vamos a analizar y luego en la columna **FECHA DE PULLING** filtramos por los meses del periodo el cual estamos trabajando el modelo (en este ejemplo Febrero-Marzo-Abril).
- Con los datos arrojados después de hacer el paso anterior llenamos la tabla 27. La columna Censura se deberá llenar con “1” si el Pulling se debió a una

falla o con un “0” si el Pulling se debió a otra razón diferente de falla como anteriormente se estipuló.

- El dato de run-life de los sistemas retirados se hallara sacando un promedio de todos los datos de la columna **RUNLIFE**.
- Se volverá a repetir este procedimiento para halla el run-life de los sistemas retirados con el siguiente campo.

A continuación se presenta la tabla 27 con los datos de run-life promedio de sistemas retirados en base a la información recaudada en el modelo de confiabilidad durante el trimestre evaluado para bombeo mecánico en los campos de la Asociación Nare.

Tabla 27. Run-Life promedio de los sistemas retirados en los campos de la Asociación Nare.

CAMPO	RUNLIFE PROMEDIO DE LOS SISTEMAS RETIRADOS (DIAS)
MORICHE	116,1
ABARCO	96,8
JAZMIN	151,1
GIRASOL	141,1
NARE-UNDERRIVER	198,1

6.6.11 Run life de los sistemas fallados En este parámetro tendremos en cuenta el tiempo de vida de los sistemas que fallaron en el periodo evaluado de cada campo de la Asociación Nare, y se hallara de la siguiente manera para un campo, repitiendo así mismo con cada uno de los restantes.

- Usando los datos de la tabla 27 del inciso anterior filtramos en la columna **CENSURA** los valores de “1” cuales están relacionados a los sistemas fallados.

- Después de hacer anterior filtro, el dato de Run-life de los sistemas fallados se hallará sacando un promedio de los datos de la columna **RUNLIFE**.
- Se volverá a repetir este procedimiento para halla el run-life de los sistemas fallados con el siguiente campo.

A continuación, se presenta la tabla 28 con los datos de run-life promedio de sistemas fallados en base a la información recaudada en el modelo de confiabilidad durante el trimestre evaluado para bombeo mecánico en los campos de la Asociación Nare.

Tabla 28. Run-life promedio de los sistemas fallados en los campos de la Asociación Nare.

CAMPO	RUNLIFE PROMEDIO DE LOS SISTEMAS FALLADOS (DIAS)
MORICHE	95,4
ABARCO	94,9
JAZMIN	146,5
GIRASOL	82
NARE-UNDERRIVER	222

6.6.12 Run life de los sistemas operativos En este parámetro tendremos en cuenta el tiempo de vida de los sistemas que se encontraban operativos al final del periodo evaluado de cada campo de la Asociación Nare, y se hallara de la siguiente manera para un campo, repitiendo así mismo con cada uno de los restantes.

- Se creará la tabla 29, la cual nos ayudará a organizar mejor la información necesaria para este parámetro.

Tabla 29. Run-life de los sistemas operativos.

PULLING DESPUES DE TRIMESTRE O NO HAN FALLADO E INSTALADAS ANTES DEL TRIMESTRE			
POZO	FECHA INSTALACION	FECHA PULLING	RUNLIFE HASTA FIN DE SEMESTRE

- Luego nos vamos a la pestaña *Registro de desinstalación del sistema de fondo (Pulling)* en donde cambiaremos el filtro de la columna **FECHA DE PULLING** por los espacios en blanco es decir aquellos sistemas que no han fallado (Pozos Running).
- Con los datos arrojados después de hacer el filtro anterior diligenciamos las columnas **POZO** y **FECHA INSTALACION** de la tabla 31. La columna **FECHA DE PULLING** se dejara en blanco y la columna **RUNLIFE HASTA FIN TRIMESTRE** será restar el último día del trimestre evaluado (En este ejemplo sería el Saturday, April 30, 2016) menos la fecha de instalación de cada pozo de esta tabla.
- El dato de run-life de los sistemas operativos se hallaron sacando un promedio de los datos de la columna **RUNLIFE HASTA FIN DE TRIMESTRE**.

A continuación, se presenta la tabla 30 con los datos de run-life promedio de sistemas operativos en base a la información recaudada en el modelo de confiabilidad durante el trimestre evaluado para bombeo mecánico en los campos de la Asociación Nare.

Tabla 30. Run-life promedio de los sistemas operativos en los campos de la Asociación Nare.

CAMPO	RUNLIFE PROMEDIO DE LOS SISTEMAS OPERATIVOS (DIAS)
MORICHE	154,6
ABARCO	96,3
JAZMIN	162,8
GIRASOL	151,4
NARE-UNDERRIVER	256,5

6.6.13 Run life promedio total del trimestre En este parámetro tendremos en cuenta el tiempo de vida de los sistemas que se encontraban operativos y el tiempo de vida de los sistemas que fueron desinstalados al final del periodo evaluado de cada campo de la Asociación Nare, y se hallara de la siguiente manera para un campo, repitiendo así mismo con cada uno de los restantes.

- Se sumaran los datos de la columna **RUNLIFE** de la tabla 27, más los datos de la columna **RUNLIFE HASTA FIN TRIMESTRE** de la tabla 30 y el resultado se dividirá en el número de datos de esta operación.
- Se volverá a repetir este procedimiento para halla el run-life promedio total del trimestre con el siguiente campo.

A continuación, se presenta la tabla 31 con los datos de run-life promedio total del trimestre en base a la información recaudada en el modelo de confiabilidad durante el trimestre evaluado para bombeo mecánico en los campos de la Asociación Nare.

Los promedios a ciencia cierta no son el mejor método para pronosticar el tiempo de vida de una población (en este caso bombas de subsuelo), por tal motivo se implementaron los análisis estadísticos a continuación.

Tabla 31. Run-life promedio total del trimestre en los campos de la Asociación Nare

CAMPO	RUNLIFE PROMEDIO TOTAL DEL TRIMESTRE (DIAS)
MORICHE	137,6
ABARCO	96
JAZMIN	158,7
GIRASOL	148,3
NARE-UNDERRIVER	245,1

6.6.14 MTBF (Mean Time Before Failure) Es el tiempo de vida esperado antes de que un sistema sufra una falla, este parámetro tendremos en cuenta las censuras de los eventos de desinstalación de los sistemas junto con su run-life al final del periodo evaluado de cada campo de la Asociación Nare. Se explicaran los pasos para un campo y se deberá repetir para los demás.

- Se creara la tabla 32, la cual nos ayudara a organizar mejor la información necesaria para este parámetro.

Tabla 32. Censura MTBF.

RL MTBF	CENSURA

- Nos vamos a la tabla 26 y filtraremos por la columna **CENSURA** los valores de “1”. Seleccionamos los datos de las columnas **RUNLIFE** y **CENSURA** y los pegamos en la tabla 32.
- Volvemos a realizar el paso anterior con la diferencia que esta vez filtraremos por censura “0”. Seleccionamos nuevamente los datos de las columnas **RUNLIFE** y **CENSURA** y los pegamos también en la tabla 32.
- Luego tomamos los datos de la columna RUNLIFE HASTA FIN DE TRIMESTRE de la tabla 29 y pegamos estos datos en la tabla 32 con una censura de “0” ya que el sistema está operativo, es decir no han sufrido falla.
- Una vez diligenciada la tabla 32 con el procedimiento ya mencionado se procederá a organizar de menor a mayor los datos de run-life con su respectiva censura.

Figura 49. Visualización Organización de la tabla 32

RL MTBF	CENSURA
0	1
4	0
4	0
5	1
5	1
6	0
7	1
8	0
8	0

Nota: El paso anterior se hace con el fin de que si en la columna RL MTBF quedan seguidos varios datos con el mismo número, en la Columna CENSURA queden primero los “1” y luego los “0” como se muestra en el recuadro rojo.

- A continuación, se creará una nueva pestaña en Excel llamada MTBF y se creara la tabla 33 la cual los datos de las primeras dos columnas serán tomados de la tabla 32 y las demás celdas estarán programada con las formulas explicadas en el inciso 5

Tabla 33. Formulario MTBF.

Consecutivo	RunLife	Censura	F(ti)	R(ti)	R(ti)/R(ti-1)	CONDICIONAL	$R(ti/ti-1)*R(ti-1)$	dt	R(ti)*d	MTBF(Acumulado)

- Al final el dato de MTBF será el último dato de la columna MTBF (ACUMULADO).
- Se volverá a repetir este procedimiento para halla el MTBF del trimestre con el siguiente campo.

A continuación se presenta la tabla 34 con los datos de MTBF del trimestre en base a la información recaudada en el modelo de confiabilidad durante el trimestre evaluado para bombeo mecánico en los campos de la Asociación Nare.

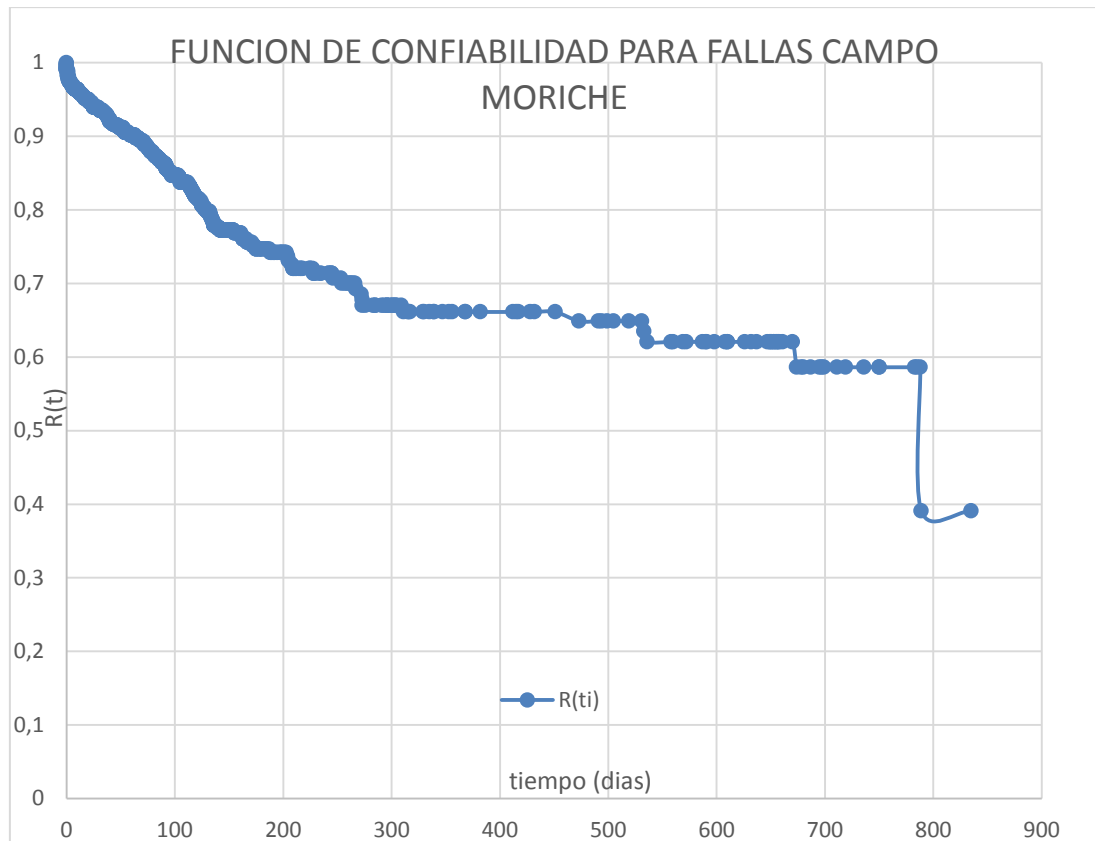
Tabla 34. MTBF de cada campo de la Asociación Nare.

MTBF	
CAMPO	MTBF (DIAS)
MORICHE	565
ABARCO	362
JAZMIN	518
GIRASOL	470
NARE-UNDERRIVER	676

Se presentarán también las gráficas de MTBF de cada campo de la Asociación Nare.

➤ Grafica de la función de confiabilidad basado en fallas de Campo Moriche.

Figura 50. Grafica de función de confiabilidad para fallas Campo Moriche.



De la anterior grafica se sacaron las siguientes observaciones:

1. Fallas infantiles: El 3.5% de los sistemas instalados fallan antes de los 7 días.
2. Fallas Prematuras: El 6.2% de los sistemas fallan antes de 30 días.
3. El 16.3% de los sistemas fallan entre los 30 y los 140 días.

➤ Grafica de la función de confiabilidad basado en fallas de Campo Abarco.

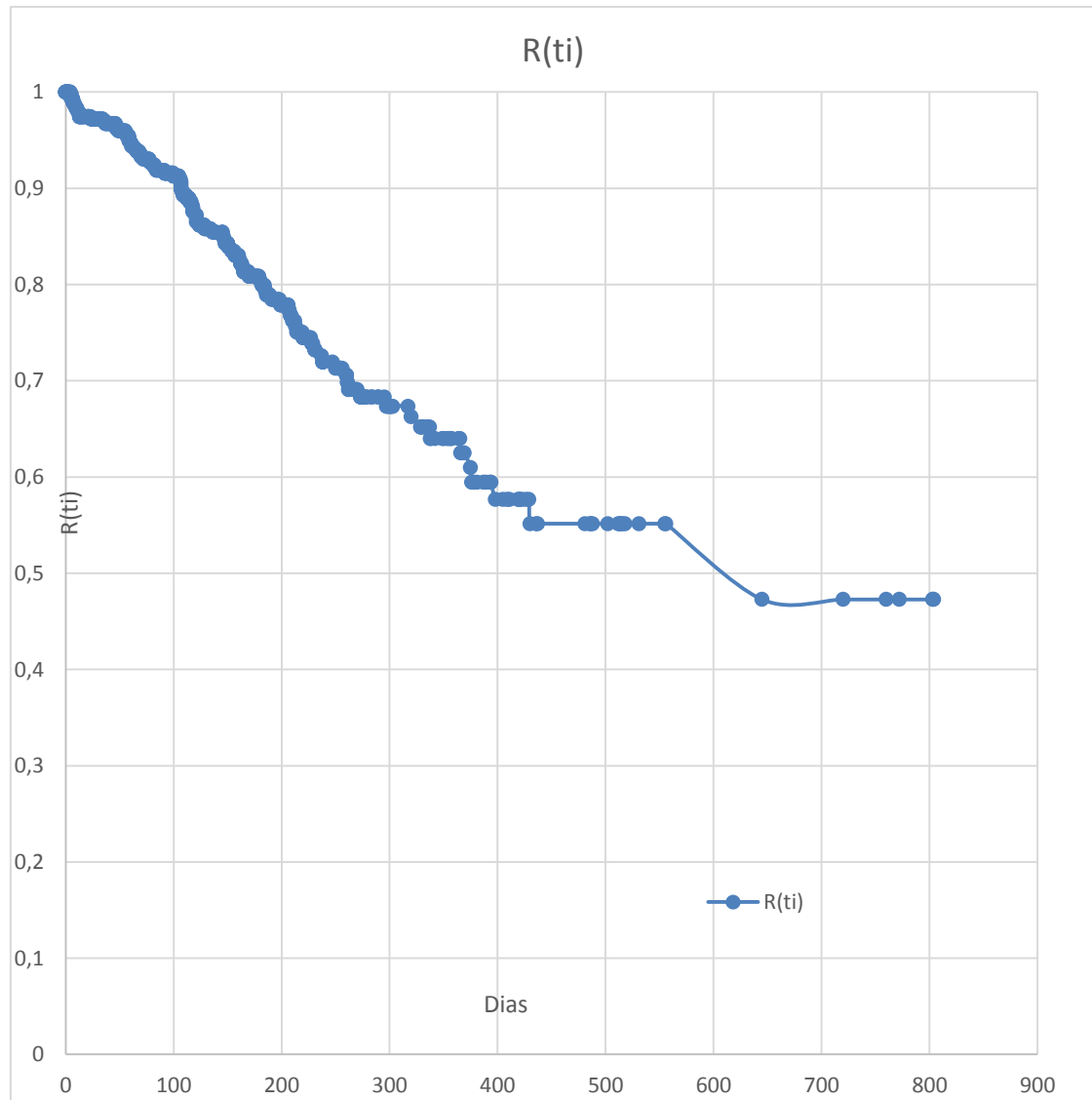
Figura 51. Grafica de función de confiabilidad para fallas Campo Abarco



3. El 12.5% de los sistemas fallan entre los 30 y los 87 días.

➤ Grafica de la función de confiabilidad basado en fallas de Campo Jazmín.

Figura 52. Grafica de función de confiabilidad para fallas Campo Jazmin



De la anterior grafica se sacaron las siguientes observaciones:

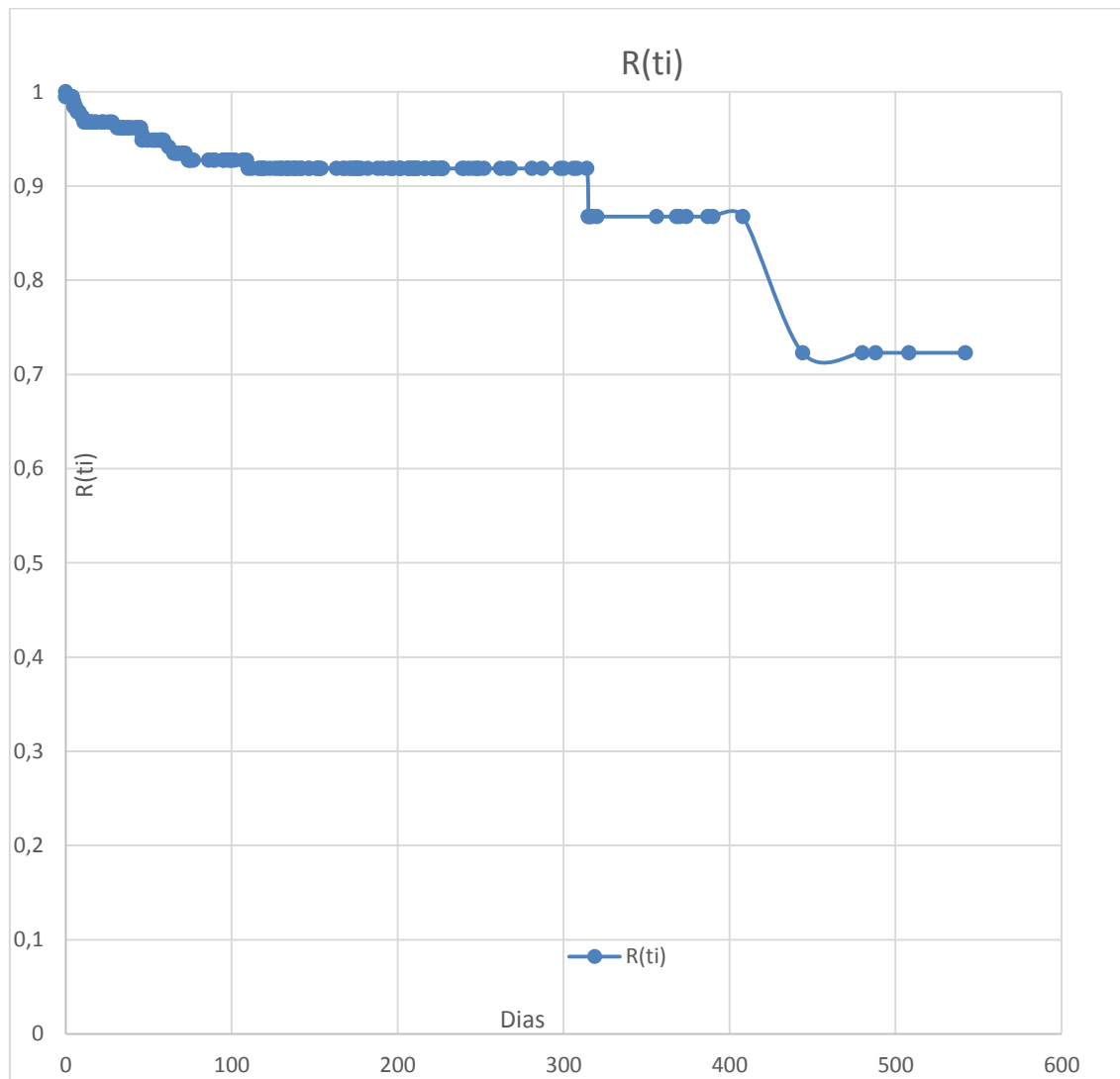
1. Fallas infantiles: El 0.8% de los sistemas instalados fallan antes de los 7 días.

2. Fallas Prematuras: el 2.8% de los sistemas fallan antes de 30 días.

3. 14.5% de los sistemas fallan entre los 30 y los 273 días.

➤ Grafica de la función de confiabilidad basado en fallas de Campo Girasol.

Figura 53. Grafica de función de confiabilidad para fallas Campo Girasol.

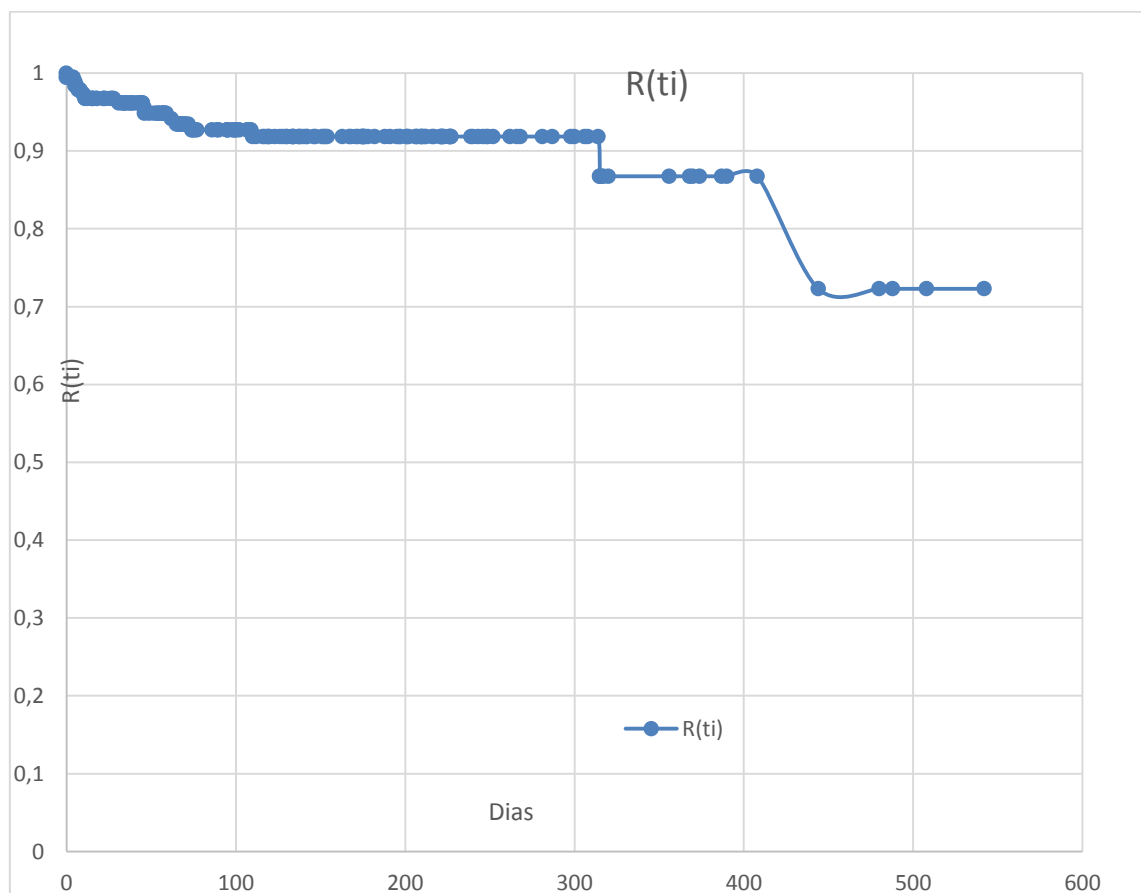


De la anterior grafica se sacaron las siguientes observaciones:

1. Fallas infantiles: El 2.1% de los sistemas instalados fallan antes de los 7 días.
2. Fallas Prematuras: El 3.8% de los sistemas fallan antes de 30 días.
3. El 3.4% de los sistemas fallan entre los 30 y los 80 días.

➤ Grafica de la función de confiabilidad basado en fallas de Campo Nare-Underriver.

Figura 54. Grafica de función de confiabilidad para fallas Campo Nare-Underriver

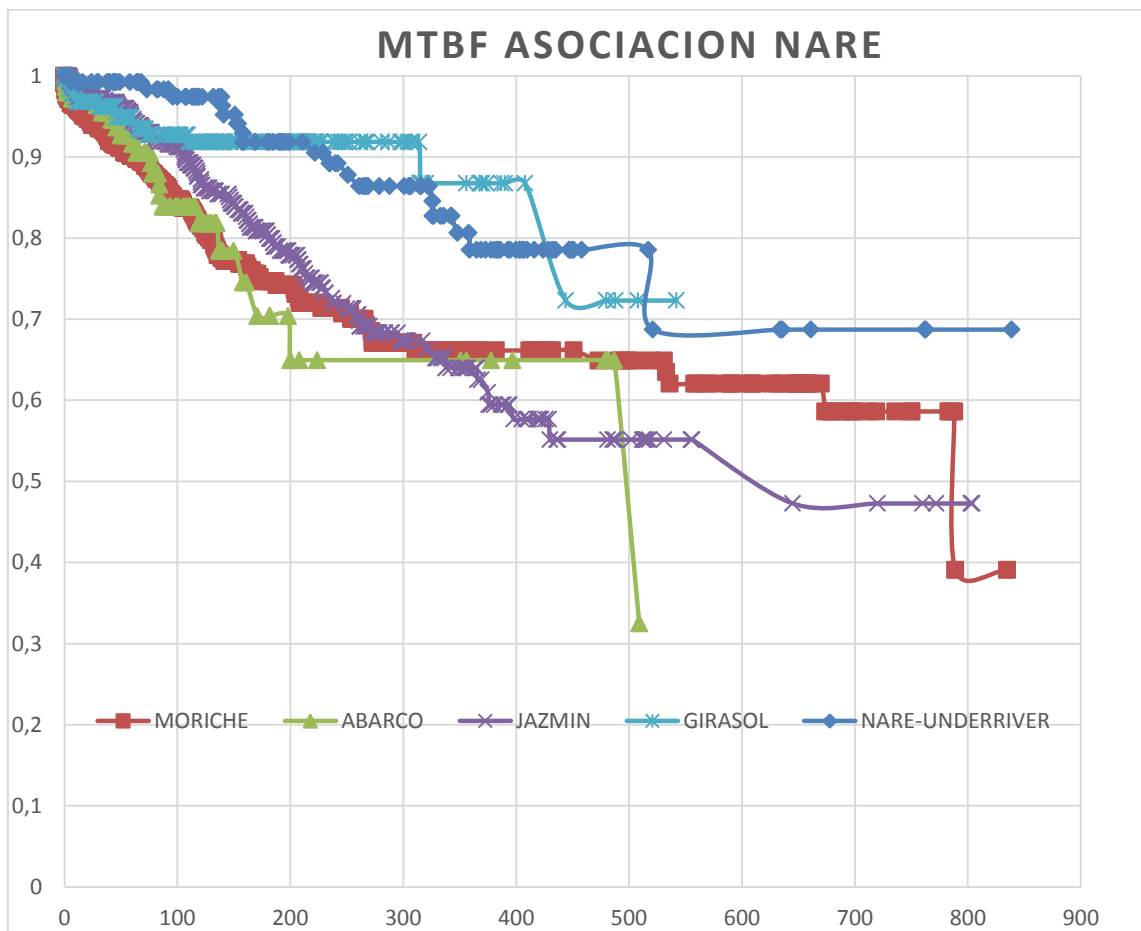


De la anterior grafica se sacaron las siguientes observaciones:

1. Fallas infantiles: El 0.8% de los sistemas instalados fallan antes de los 7 días.
2. Fallas Prematuras: El 1.7% de los sistemas fallan antes de 30 días.
3. 11.9% de los sistemas fallan entre los 30 y los 270 días.

A continuación se mostrara en un solo grafico cada una de las gráficas MTBF de cada campo de la Asociación Nare.

Figura 55. Graficas de función de confiabilidad para fallas de cada Campo de la Asociación Nare.



6.6.15 MTBP (Mean Time Before Pulling) Es el tiempo de vida esperado antes de que un sistema sufra desinstalación, en este parámetro tendremos en cuenta las censuras de los eventos de desinstalación de los sistemas junto con su run-life al final del periodo evaluado de cada campo de la Asociación Nare con la diferencia del MTBF que toda desinstalación indiferentemente de si fue falla o no, tendrá una censura de “1”. Se explicaran los pasos para un campo y se deberá repetir para los demás.

- Se creará la tabla 35, la cual nos ayudará a organizar mejor la información necesaria para este parámetro.

Tabla 35. Censura MTBP.

RL MTBP	CENSURA

- Nos vamos a la tabla 26 y filtraremos por la columna **CENSURA** los valores de “1”. Seleccionamos los datos de las columnas **RUNLIFE** y **CENSURA** y los pegamos en la tabla 35.
- Volvemos a realizar el paso anterior con la diferencia que esta vez filtraremos por censura “0”. Seleccionamos nuevamente los datos de las columnas **RUNLIFE** y los pegamos también en la tabla 35 pero esta vez le asignamos una censura de “1”.
- Luego tomamos los datos de la columna **RUNLIFE HASTA FIN DE TRIMESTRE** de la tabla 29 y pegamos estos datos en la tabla 35 con una censura de “0” ya que el sistema está operativo, es decir no han sufrido falla.

- Una vez diligenciada la tabla 35 con el procedimiento ya mencionado se procederá a organizar de menor a mayor los datos de run-life con su respectivas censuras.
- A continuación se creara una nueva pestaña en Excel llamada MTBP y se creara la tabla 36 la cual los datos de las primeras dos columnas serán tomados de la tabla 35 y las demás celdas estarán programada con las formulas explicadas en el inciso 5.

Tabla 36. Formulario MTBP.

Consecutivo	RunLife	Censura	F(ti)	R(ti)	R(ti)/R(ti-1)	CONDICIONAL	$R(ti/ti-1)*R(ti-1)$	dt	R(ti)*d	MTBP(Acumulado)

- Al final el dato de MTBP será el último dato de la columna MTBP (ACUMULADO).
- Se volverá a repetir este procedimiento para halla el MTBP del trimestre con el siguiente campo.

A continuación, se presenta la tabla 37 con los datos de MTBP del trimestre en base a la información recaudada en el modelo de confiabilidad durante el trimestre evaluado para bombeo mecánico en los campos de la Asociación Nare.

Tabla 37. MTBP de cada campo de la Asociación Nare.

MTBP	
CAMPO	MTBP (DIAS)
MORICHE	319
ABARCO	181
JAZMIN	369
GIRASOL	312
NARE-UNDERRIVER	618

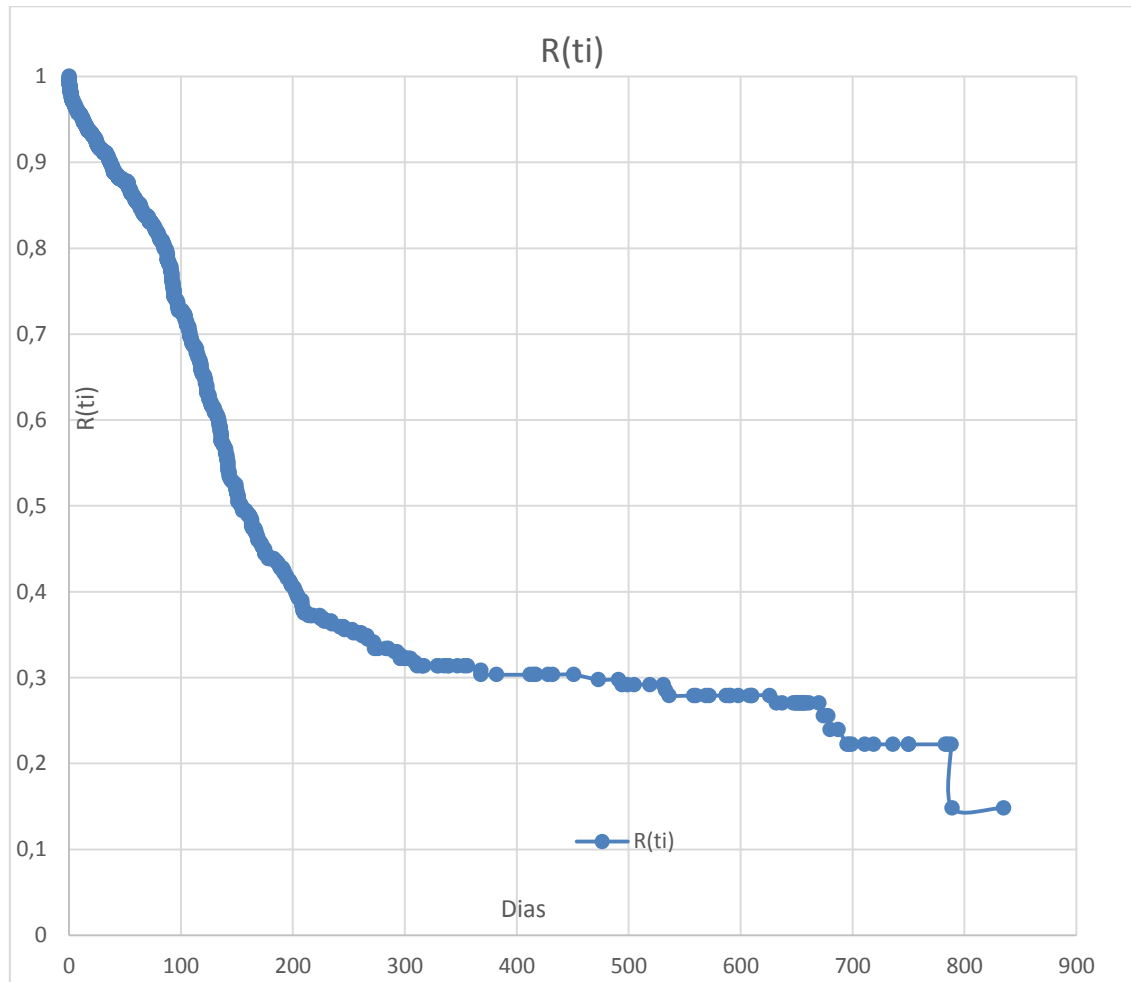
Se presentarán también las gráficas de MTBP de cada campo de la Asociación Nare.

- Grafica de la función de confiabilidad basado en Pulling de Campo Moriche.

De la gráfica 56 se sacaron las siguientes observaciones:

1. Pulling Infantiles: El 3.9% de los sistemas son retirados antes de 7 días, de los cuales solo el 3.5% de los está asociado a falla.
2. Pulling Prematuros: El 8.6% de los sistemas son retirados antes de 30 días, de los cuales solo el 6.2 % está asociado a falla.
3. El 53.9% de los sistemas son retirados entre los 30 y los 210 días, de los cuales solo el 16.3% está asociada a falla.

Figura 56. Grafica de función de confiabilidad para Pulling de Campo Moriche.



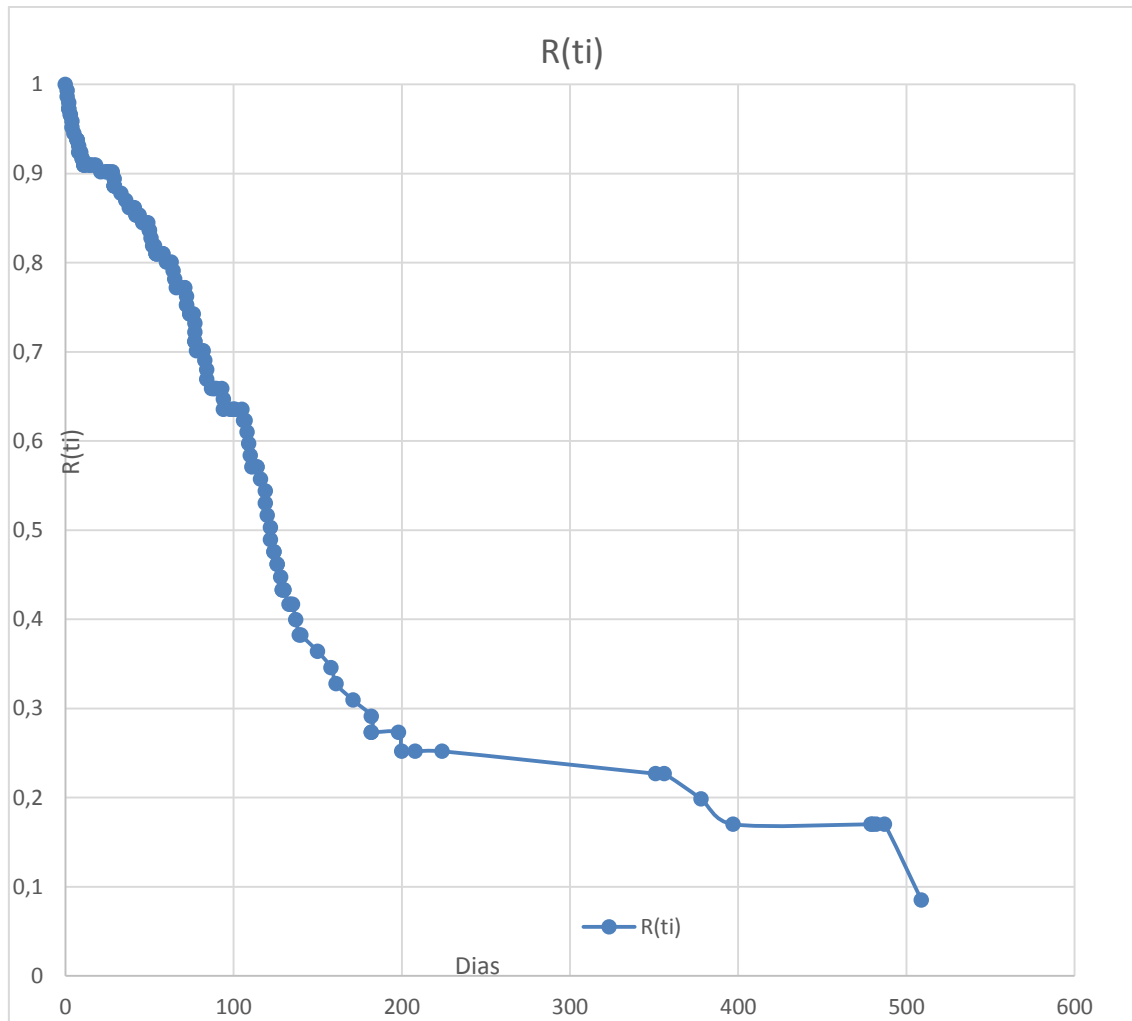
➤ Grafica de la función de confiabilidad basado en Pulling de Campo Abarco.

De la gráfica 57 se sacaron las siguientes observaciones:

1. Pulling Infantiles: El 6.2% de los sistemas son retirados antes de 7 días, de los cuales solo el 2.8% de los está asociado a falla.
2. Pulling Prematuros: el 11.4% de los sistemas son retirados antes de 30 días, de los cuales solo el 3.6 % está asociado a falla

3. El 63.4% de los sistemas son retirados entre los 30 y los 200 días, de los cuales el 31.6% está asociada a falla.

Figura 57. Grafica de la función de confiabilidad para Pulling de Campo Abarco.

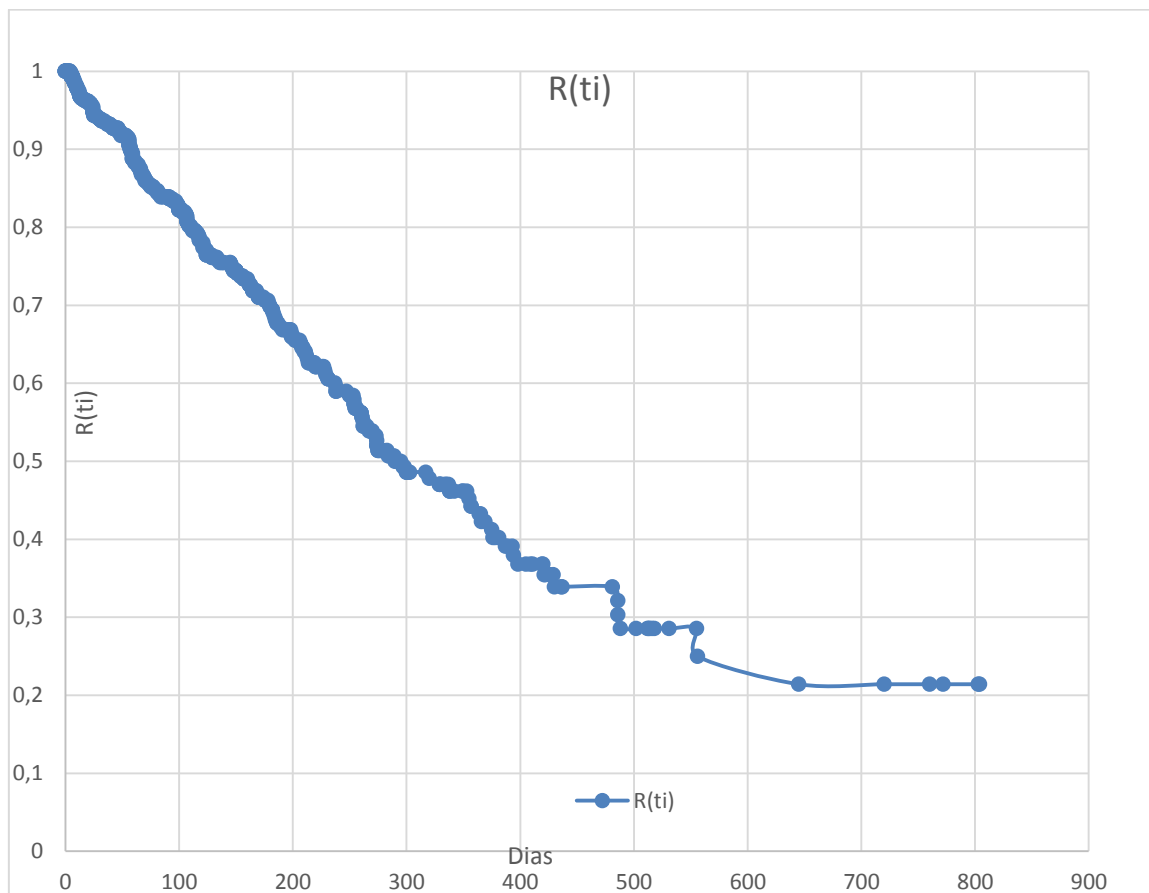


- Grafica de la función de confiabilidad basado en Pulling de Campo Jazmín.

De la gráfica 58 se sacaron las siguientes observaciones:

1. Pulling Infantiles: El 0.8% de los sistemas son retirados antes de 7 días, de los cuales solo el 0.8% de los está asociado a falla.
2. Pulling Prematuros: El 6.1% de los sistemas son retirados antes de 30 días, de los cuales solo el 2.8 % está asociado a falla.
3. El 24.1 % de los sistemas son retirados entre los 30 y los 310 días, de los cuales solo el 14.5% está asociada a falla.

Figura 58. Grafica de la Función de confiabilidad para Pulling de Campo Jazmín.

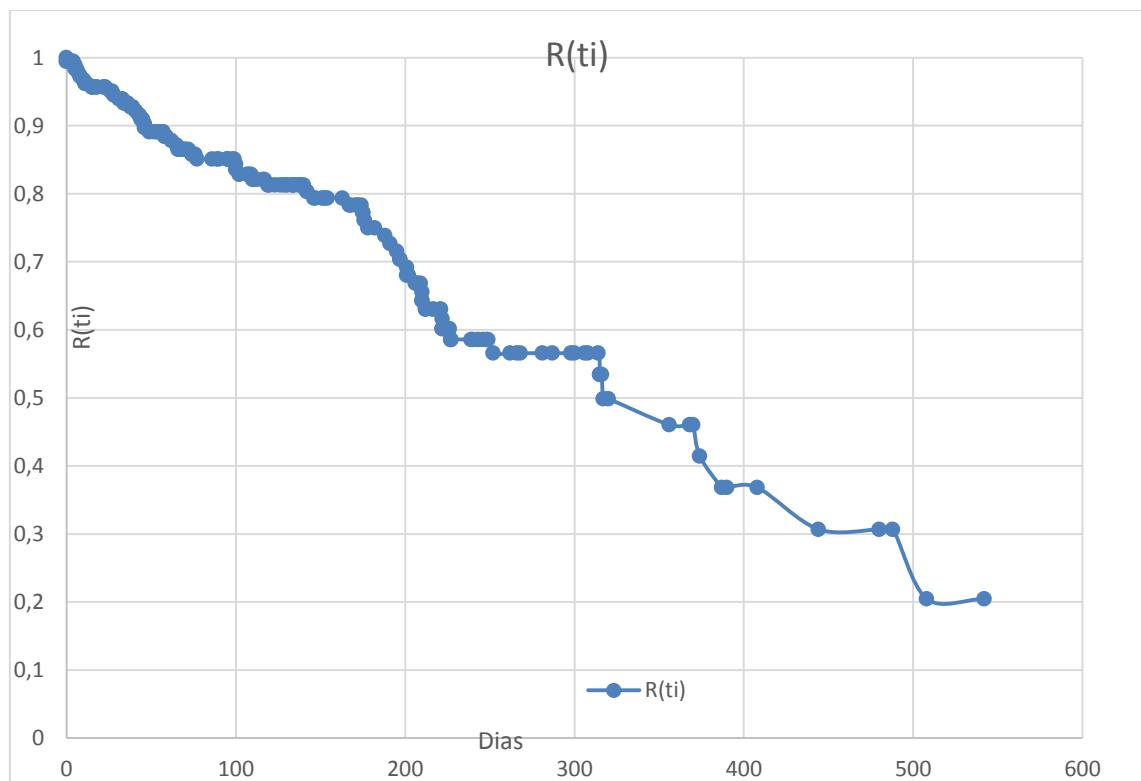


➤ Grafica de la función de confiabilidad basado en Pulling de Campo Girasol.

De la gráfica 59 se sacaron las siguientes observaciones:

1. Pulling Infantiles: El 2.1% de los sistemas son retirados antes de 7 días, de los cuales solo el 2.1% de los está asociado a falla.
2. Pulling Prematuros: El 6.6% de los sistemas son retirados antes de 30 días, de los cuales solo el 3.8 % está asociado a falla.
3. El 8.2% de los sistemas son retirados entre los 30 y los 80 días, de los cuales el 3.4% está asociada a falla.

Figura 59. Grafica de la Función de confiabilidad para Pulling de Campo Girasol.

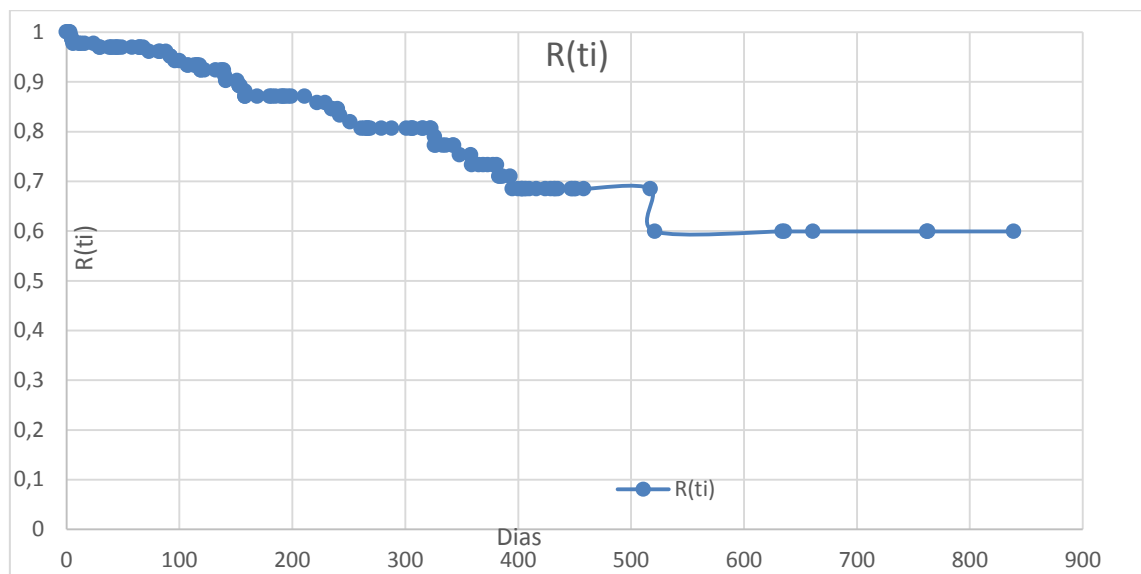


- Grafica de la función de confiabilidad basado en Pulling de Campo Nare-Underriver.

De la gráfica 60 se sacaron las siguientes observaciones:

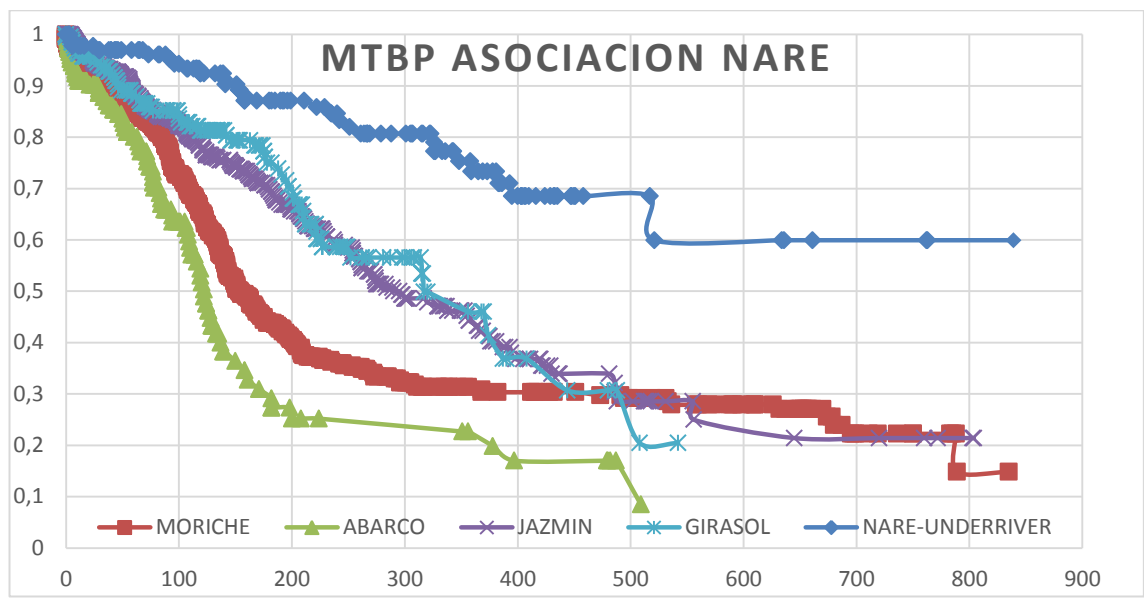
1. Pulling Infantiles: El 2.2% de los sistemas son retirados antes de 7 días, de los cuales solo el 0.8% de los está asociado a falla.
2. Pulling Prematuros: El 3% de los sistemas son retirados antes de 30 días, de los cuales solo el 1.7 % está asociado a falla.
3. El 16.3% de los sistemas son retirados entre los 30 y los 270 días, de los cuales el 11.9% está asociada a falla.

Figura 60. Grafica de la Función de confiabilidad para Pulling de Campo Nare-Underriver.



A continuación se mostrara en la figura 61, cada una de las gráficas MTBP de cada campo de la Asociación Nare.

Figura 61. Graficas de función de confiabilidad para Pulling de cada Campo de la Asociación Nare.



7. ESTADÍSTICAS ADICIONALES

En este inciso Final se realizarán las gráficas de toda la información recaudada en el Modelo de confiabilidad, para aquellas desinstalaciones acreditadas a falla. Estas graficas se realizarán para cada campo y así concluir este proyecto con el fin de tomar acciones correctivas en las fallas más comunes.

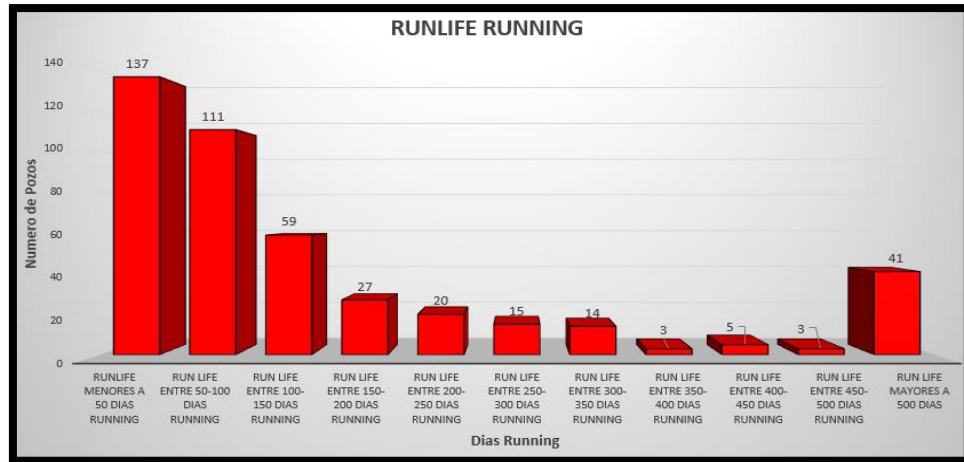
7.1 CAMPO MORICHE

7.1.1 Esquema de pozos operativos En esta grafica se dejará plasmado el tiempo de vida de los pozos con su última instalación de bomba con corte al último día del periodo evaluado. Los datos se sacarán de la tabla 29 en la columna **RUNLIFE HASTA FIN DE SEMESTRE** y se organizarán en la Tabla 38 de la cual se plasmará en una gráfica tipo barras.

Tabla 38. Run-life status de los pozos de Campo Moriche.

RUNNLIFE RUNING	
RUNLIFE MENORES A 50 DIAS RUNNING	137
RUN LIFE ENTRE 50-100 DIAS RUNNING	111
RUN LIFE ENTRE 100-150 DIAS RUNNING	59
RUN LIFE ENTRE 150-200 DIAS RUNNING	27
RUN LIFE ENTRE 200-250 DIAS RUNNING	20
RUN LIFE ENTRE 250-300 DIAS RUNNING	15
RUN LIFE ENTRE 300-350 DIAS RUNNING	14
RUN LIFE ENTRE 350-400 DIAS RUNNING	3
RUN LIFE ENTRE 400-450 DIAS RUNNING	5
RUN LIFE ENTRE 450-500 DIAS RUNNING	3
RUN LIFE MAYORES A 500 DIAS	41

Figura 62. Grafica de Run-life status de los pozos de Campo Moriche.

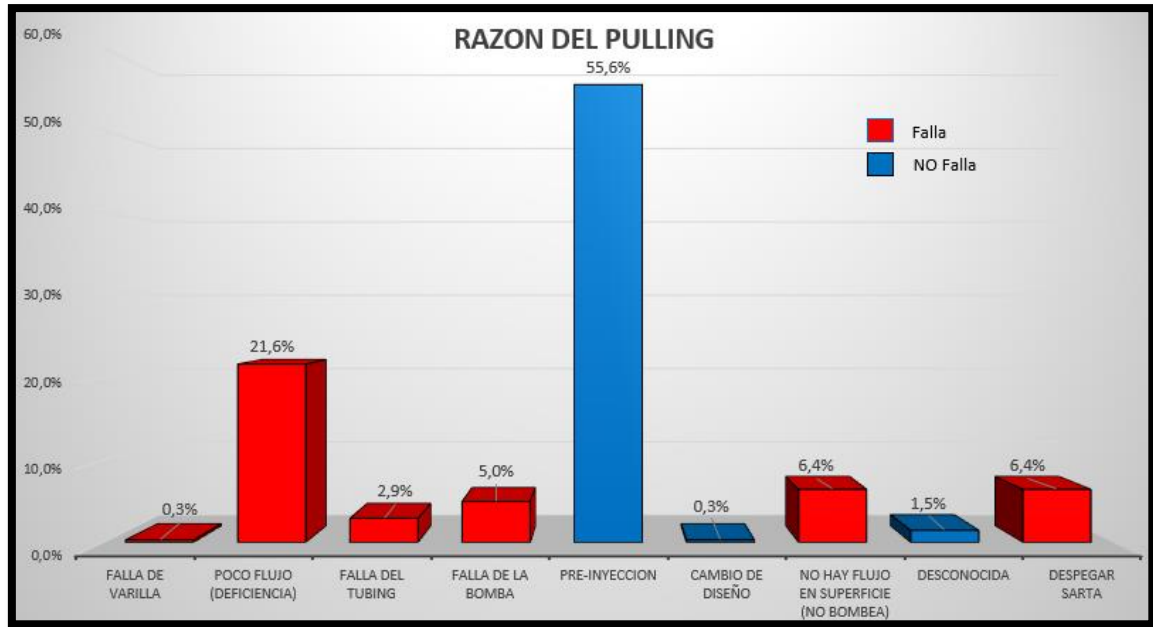


7.1.2 Razón del pulling Esta grafica tendrá en cuenta la Razón del Pulling con el fin de evidenciar los servicios más frecuentes en cada campo, estos se sacarán de la tabla 26 contabilizando cada dato de la columna **RAZON DEL PULLING**. Al tener contados los servicios se sumarán y se pasarán a porcentaje para tener un estimado general en una tabla que llamaremos tabla 39. Cabe anotar que el número de Pulling totales debe ser acorde al registrado en la tabla 8.

Tabla 39. Razón del Pulling de Campo Moriche con corte al final del periodo evaluado.

RAZON DEL PULLING		PORCENTAJE
FALLA DE VARILLA	1	0,3%
POCO FLUJO (DEFICIENCIA)	74	21,6%
FALLA DEL TUBING	10	2,9%
FALLA DE LA BOMBA	17	5,0%
PRE-INYECCION	190	55,6%
CAMBIO DE DISEÑO	1	0,3%
NO HAY FLUJO EN SUPERFICIE (NO BOMBEA)	22	6,4%
DESCONOCIDA	5	1,5%
DESPEGAR SARTA	22	6,4%
TOTAL	342	
FALLA	146	

Figura 63. Grafica de Razón del Pulling de los pozos de Campo Moriche.

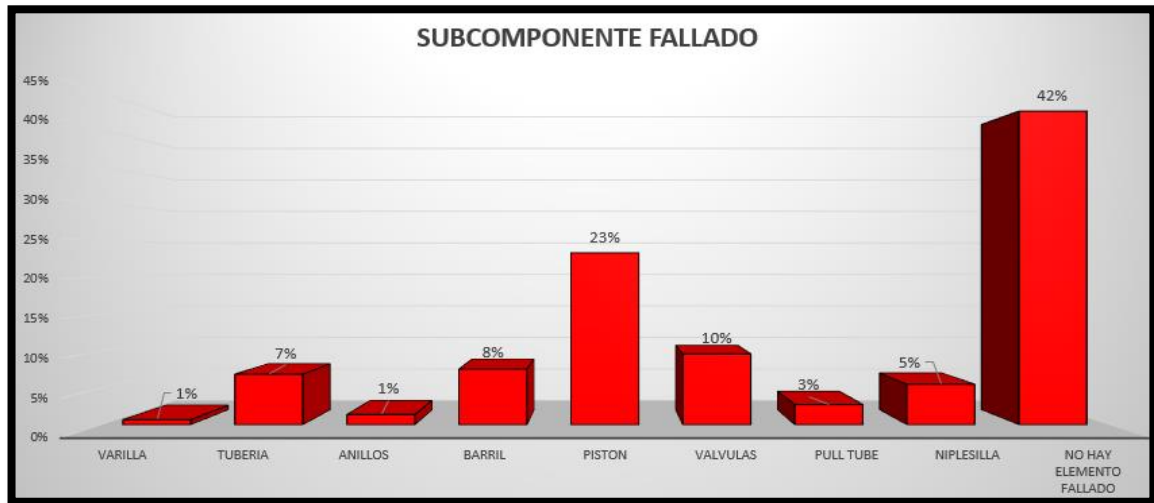


7.1.3 Subcomponente fallado En esta grafica se presentarán los elementos del sistema que más presentaron falla en el periodo evaluado, organizados en la tabla 40 en forma de porcentajes.

Tabla 40. Subcomponente fallado en Campo Moriche con corte al final del periodo evaluado.

SUBCOMPONENTE FALLADO		PORCENTAJE
VARILLA	1	1%
TUBERIA	10	7%
ANILLOS	2	1%
BARRIL	11	8%
PISTON	34	23%
VALVULAS	14	10%
PULL TUBE	4	3%
NIPLESILLA	8	5%
NO HAY ELEMENTO FALLADO	62	42%
TOTAL	146	

Figura 64. Grafica de Subcomponente Fallado de los pozos de Campo Moriche.

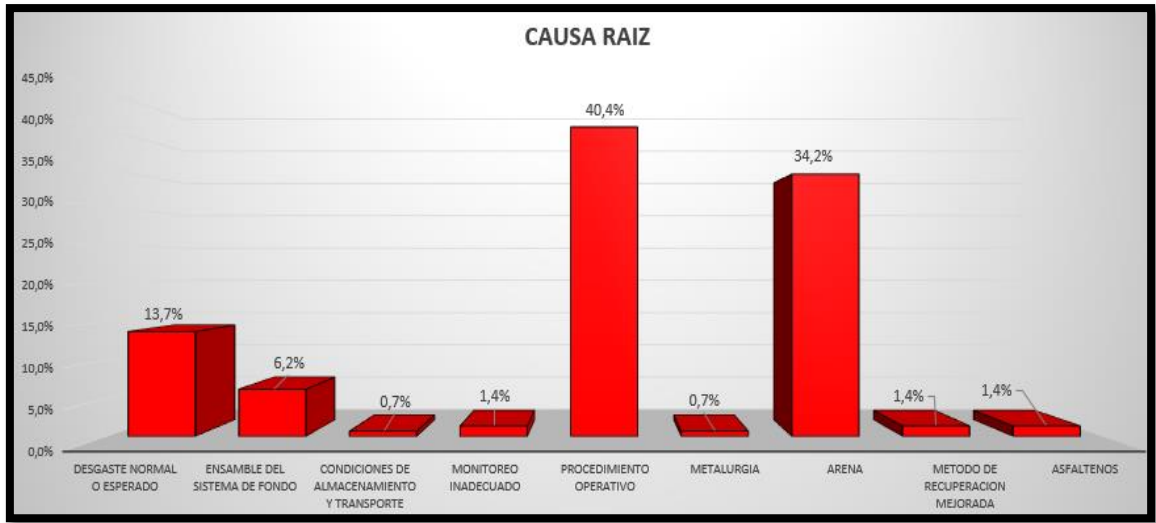


7.1.4 Causa raíz En esta grafica se presentarán las causas fuente más frecuentes de las fallas que se presentaron en el periodo evaluado para así poder atacarlas e ir aumentando el run-life de los sistemas, organizados en la tabla 41 en forma de porcentajes.

Tabla 41. Causa raíz en Campo Moriche con corte al final del periodo evaluado.

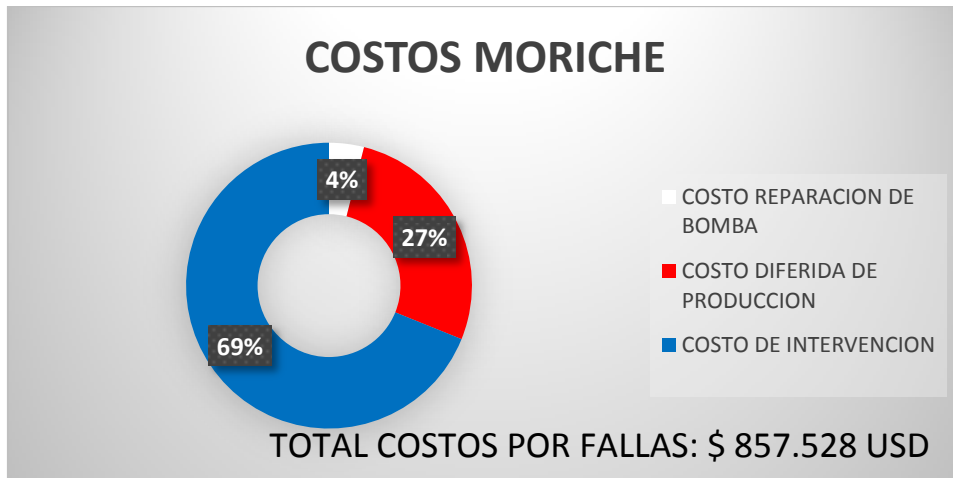
CAUSA RAZ		PORCENTAJE
DESGASTE NORMAL O ESPERADO	20	13,7%
ENSAMBLE DEL SISTEMA DE FONDO	9	6,2%
CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE	1	0,7%
MONITOREO INADECUADO	2	1,4%
PROCEDIMIENTO OPERATIVO	59	40,4%
METALURGIA	1	0,7%
ARENA	50	34,2%
METODO DE RECUPERACION MEJORADA	2	1,4%
ASFALTENOS	2	1,4%
TOTAL	146	

Figura 65. Grafica de Causa raíz de los pozos de Campo Moriche.



7.1.5 Costos En esta grafica se presentarán la distribución de los costos asociados a falla de cada campo en el periodo evaluado asignados a costos por reparación de las bombas, diferidas de producción y costos de intervención por equipo de servicios.

Figura 66. Grafica de Costos por fallas de los pozos de Campo Moriche.



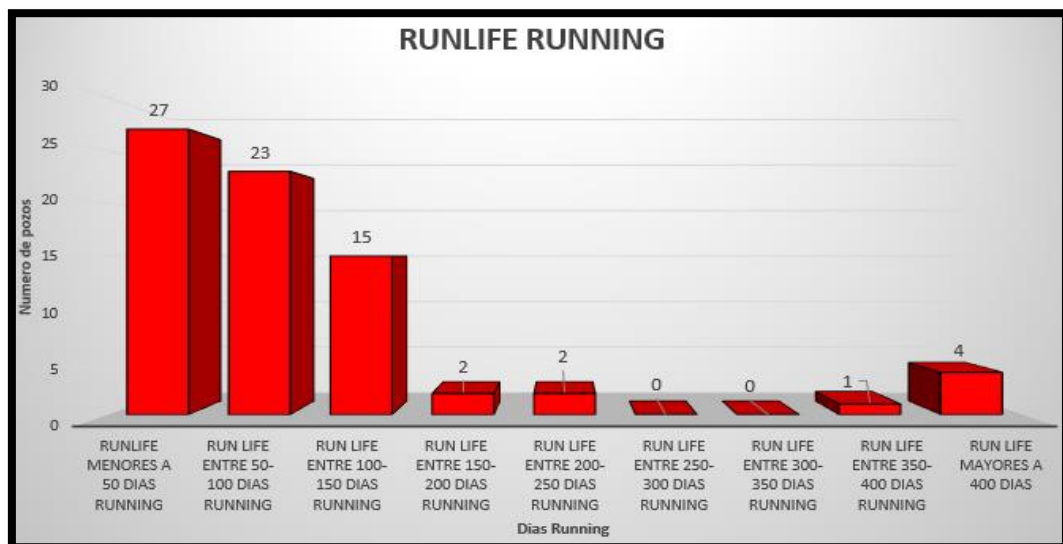
7.2 CAMPO ABARCO

7.2.1 Esquema de pozos operativos En esta grafica se dejará plasmado el tiempo de vida de los pozos con su última instalación de bomba con corte al último día del periodo evaluado. Los datos se sacarán de la tabla 29 en la columna **RUNLIFE HASTA FIN DE SEMESTRE** y se organizarán en la Tabla 42 de la cual se plasmará en una gráfica tipo barras.

Tabla 42. Run-life status de los pozos de Campo Abarco.

RUNLIFE RUNNING	
RUNLIFE MENORES A 50 DIAS RUNNING	27
RUN LIFE ENTRE 50-100 DIAS RUNNING	23
RUN LIFE ENTRE 100-150 DIAS RUNNING	15
RUN LIFE ENTRE 150-200 DIAS RUNNING	2
RUN LIFE ENTRE 200-250 DIAS RUNNING	2
RUN LIFE ENTRE 250-300 DIAS RUNNING	0
RUN LIFE ENTRE 300-350 DIAS RUNNING	0
RUN LIFE ENTRE 350-400 DIAS RUNNING	1
RUN LIFE MAYORES A 400 DIAS	4

Figura 67. Grafica de Run-life status de los pozos de Campo Abarco

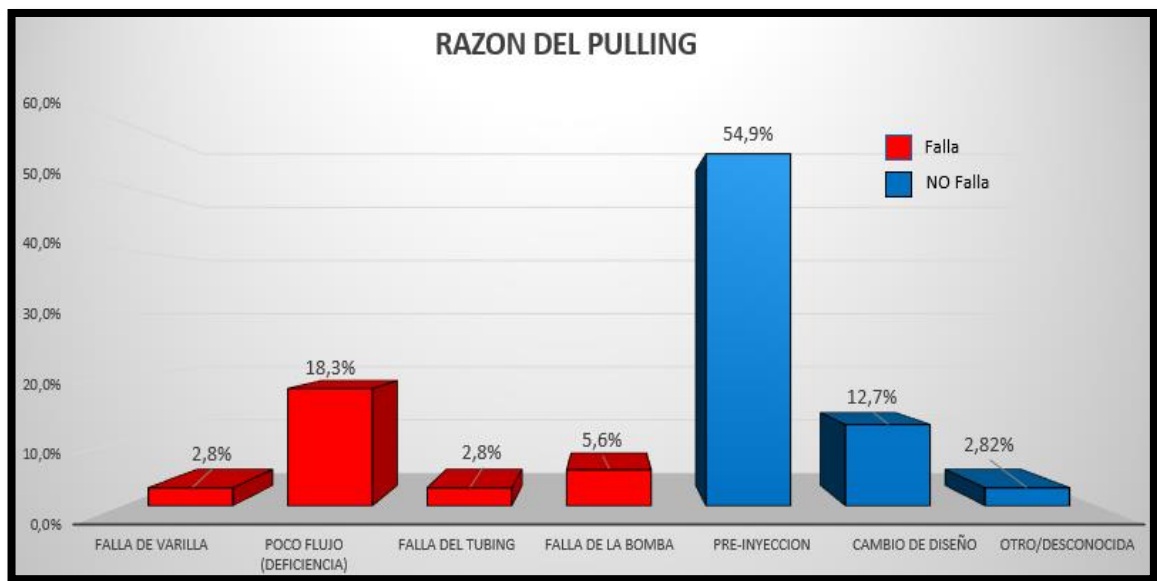


7.2.2 Razon del Pulling Esta grafica tendrá en cuenta la Razón del Pulling con el fin de evidenciar los servicios más frecuentes en cada campo, estos se sacarán de la tabla 26 contabilizando cada dato de la columna **RAZON DEL PULLING**. Al tener contados los servicios se sumarán y se pasarán a porcentaje para tener un estimado general en una tabla que llamaremos tabla 43. Cabe anotar que el número de Pulling totales debe ser acorde al registrado en la tabla 8.

Tabla 43. Razón del Pulling de Campo Abarco.

RAZON DEL PULLING		PORCENTAJE
FALLA DE VARILLA	2	2,8%
POCO FLUJO (DEFICIENCIA)	13	18,3%
FALLA DEL TUBING	2	2,8%
FALLA DE LA BOMBA	4	5,6%
PRE-INYECCION	39	54,9%
CAMBIO DE DISEÑO	9	12,7%
OTRO/DESCONOCIDA	2	2,82%
TOTAL	71	
FALLA	21	

Figura 68. Grafica de Razón del Pulling de los pozos de Campo Abarco.

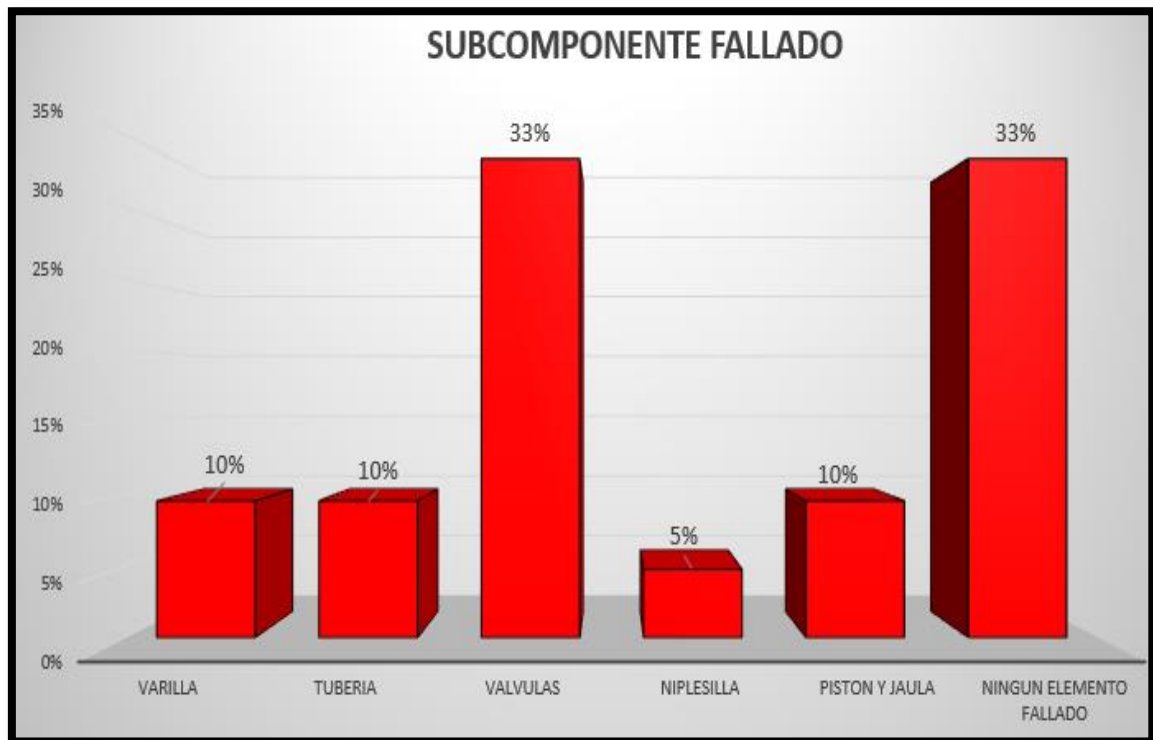


7.2.3 Subcomponente fallado En esta grafica se presentarán los elementos del sistema que más presentaron falla en el periodo evaluado, organizados en la tabla 44 en forma de porcentajes.

Tabla 44. Subcomponente fallado en Campo Abarco.

ELEMENTO FALLADO		PORCENTAJE
VARILLA	2	10%
TUBERIA	2	10%
VALVULAS	7	33%
NIPLESILLA	1	5%
PISTON Y JAULA	2	10%
NINGUN ELEMENTO FALLADO	7	33%
TOTAL	21	

Figura 69. Grafica del Subcomponente Fallado de los pozos de Campo Abarco.

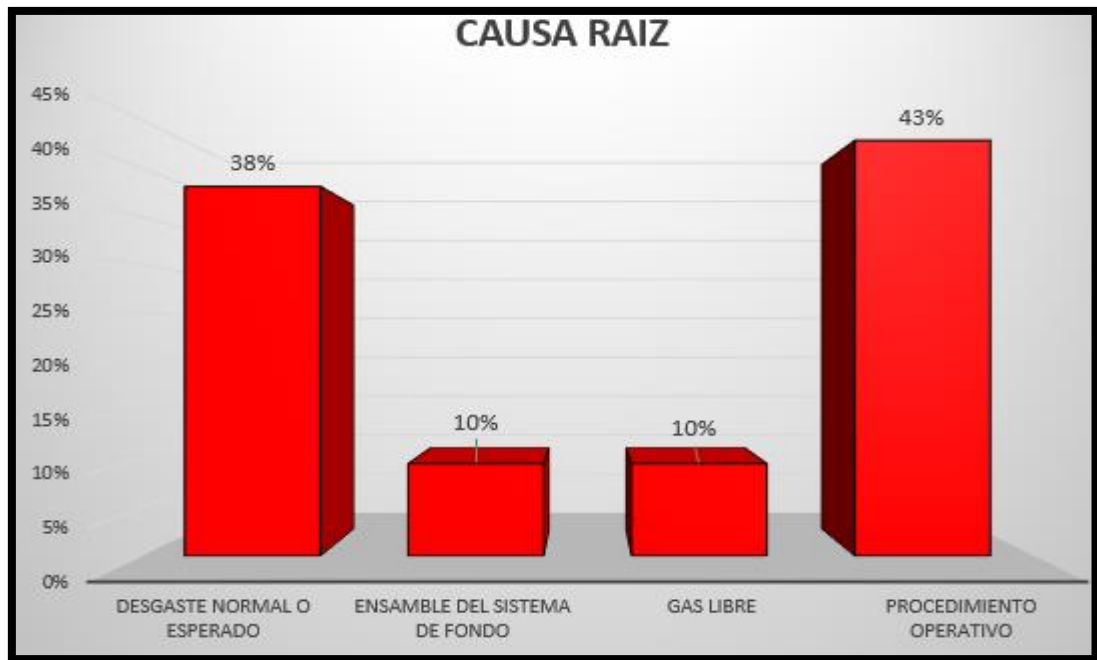


7.2.4 Causa raíz En esta grafica se presentarán las causas fuentes más frecuentes de las fallas que se presentaron en el periodo evaluado para así poder atacarlas e ir aumentando el run-life de los sistemas, organizados en la tabla 45 en forma de porcentajes.

Tabla 45. Causa raíz en Campo Abarco.

CAUSA RAIZ		PORCENTAJE
DESGASTE NORMAL O ESPERADO	8	38%
ENSAMBLE DEL SISTEMA DE FONDO	2	10%
GAS LIBRE	2	10%
PROCEDIMIENTO OPERATIVO	9	43%
TOTAL	21	

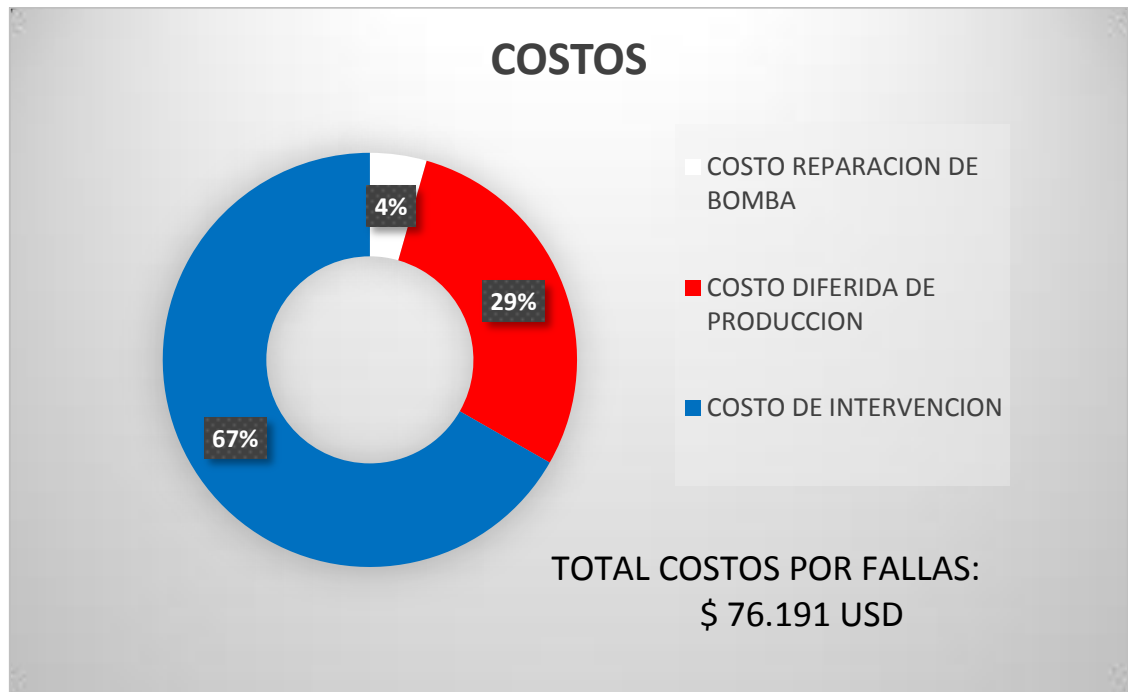
Figura 70. Grafica de la Causa raíz de los pozos de Campo Abarco



7.2.5 Costos En esta grafica se presentarán la distribución de los costos asociados a falla de cada campo en el periodo evaluado asignados a costos por

reparación de las bombas, diferidas de producción y costos de intervención por equipo de servicios.

Figura 71. Grafica de Costos por fallas de los pozos de Campo Abarco.



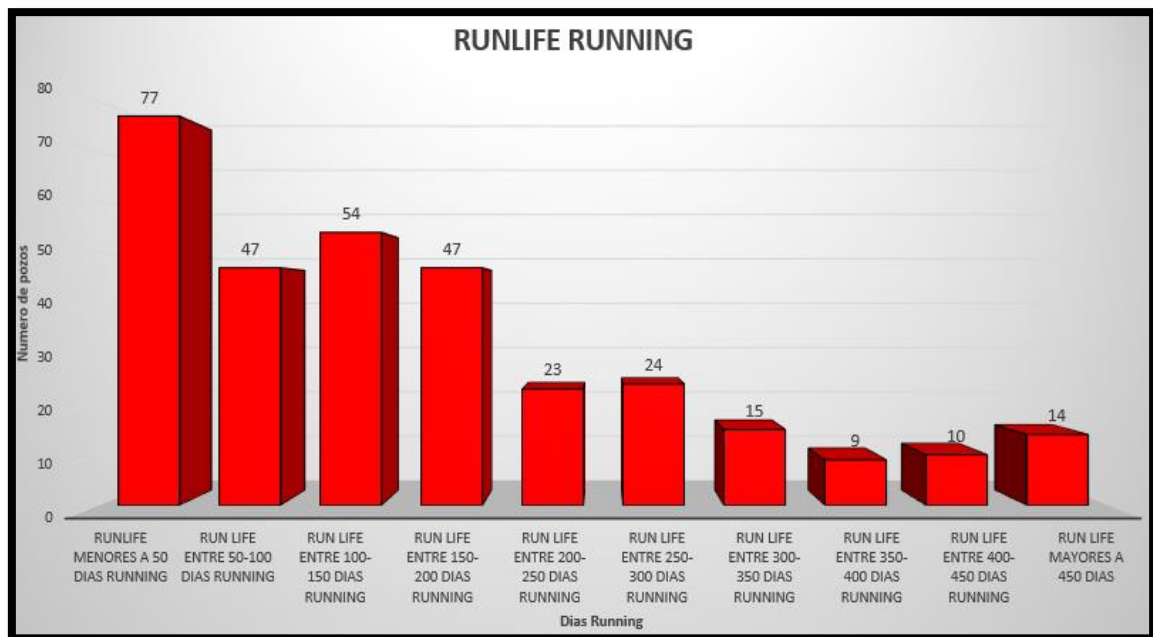
7.3 CAMPO JAZMIN

7.3.1 Esquema de pozos operativos En esta grafica se dejará plasmado el tiempo de vida de los pozos con su última instalación de bomba con corte al último día del periodo evaluado. Los datos se sacarán de la tabla 29 en la columna **RUNLIFE HASTA FIN DE SEMESTRE** y se organizarán en la Tabla 46 de la cual se plasmará en una gráfica tipo barras.

Tabla 46. Run-life status de los pozos de Campo Jazmín.

RUNLIFE RUNNING	
RUNLIFE MENORES A 50 DIAS RUNNING	77
RUN LIFE ENTRE 50-100 DIAS RUNNING	47
RUN LIFE ENTRE 100-150 DIAS RUNNING	54
RUN LIFE ENTRE 150-200 DIAS RUNNING	47
RUN LIFE ENTRE 200-250 DIAS RUNNING	23
RUN LIFE ENTRE 250-300 DIAS RUNNING	24
RUN LIFE ENTRE 300-350 DIAS RUNNING	15
RUN LIFE ENTRE 350-400 DIAS RUNNING	9
RUN LIFE ENTRE 400-450 DIAS RUNNING	10
RUN LIFE MAYORES A 450 DIAS	14

Figura 72. Grafica de Run-life status de los pozos de Campo Jazmín.



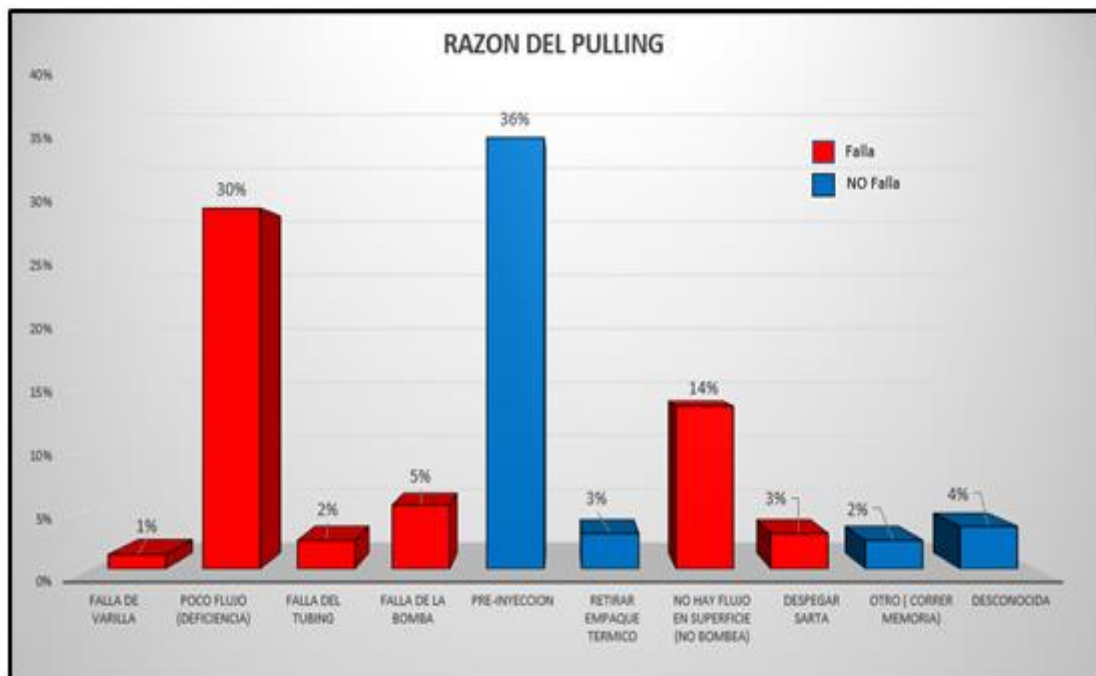
7.3.2 Razon del pulling Esta grafica tendrá en cuenta la Razón del Pulling con el fin de evidenciar los servicios más frecuentes en cada campo, estos se sacarán de la tabla 26 contabilizando cada dato de la columna **RAZON DEL PULLING**. Al tener contados los servicios se sumarán y se pasarán a porcentaje para tener un

estimado general en una tabla que llamaremos tabla 47. Cabe anotar que el número de Pulling totales debe ser acorde al registrado en la tabla 8.

Tabla 47. Razón del Pulling de Campo Jazmín.

RAZON DEL PULLING		PORCENTAJE
FALLA DE VARILLA	2	1%
POCO FLUJO (DEFICIENCIA)	51	30%
FALLA DEL TUBING	4	2%
FALLA DE LA BOMBA	9	5%
PRE-INYECCION	61	36%
RETIRAR EMPAQUE TERMICO	5	3%
NO HAY FLUJO EN SUPERFICIE (NO BOMBEA)	23	14%
DESPEGAR SARTA	5	3%
OTRO (CORRER MEMORIA)	4	2%
DESCONOCIDA	6	4%
TOTAL	170	

Figura 73. Grafica de la Razón del Pulling de los pozos de Campo Jazmín.

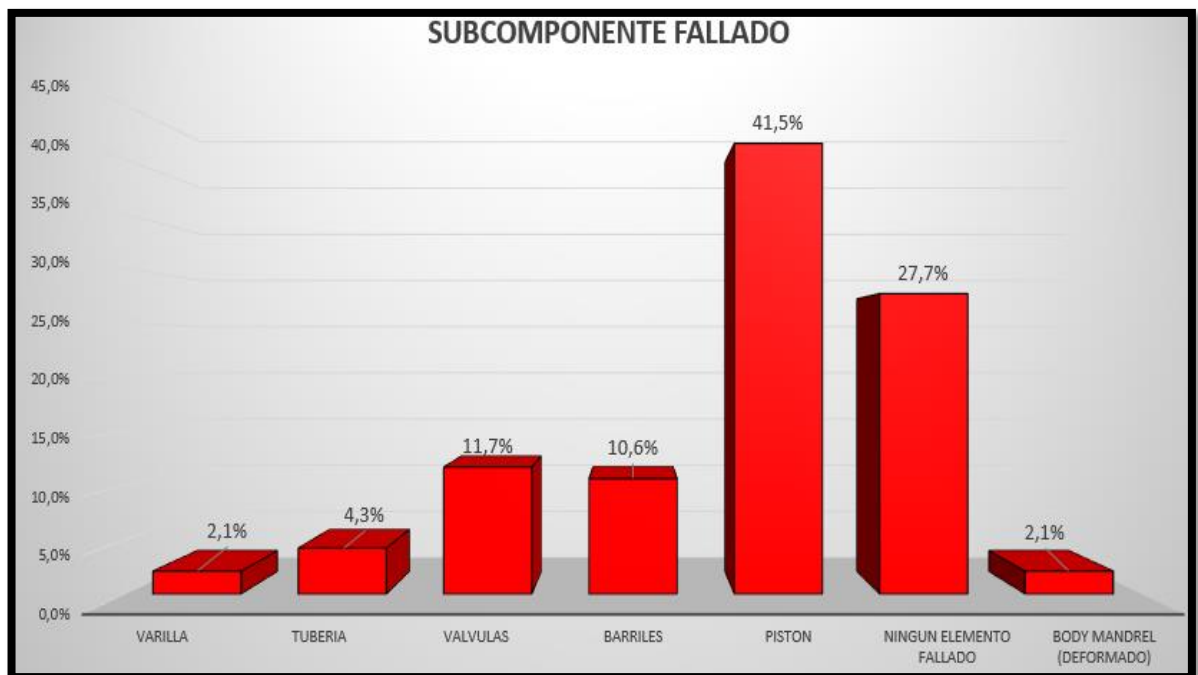


7.3.3 Subcomponente fallado En esta grafica se presentarán los elementos del sistema que más presentaron falla en el periodo evaluado, organizados en la tabla 48 en forma de porcentajes.

Tabla 48. Subcomponente fallado en Campo Jazmín.

ELEMENTO FALLADO	PORCENTAJE
VARILLA	2,1%
TUBERIA	4,3%
VALVULAS	11,7%
BARRILES	10,6%
PISTON	41,5%
NINGUN ELEMENTO FALLADO	27,7%
BODY MANDREL (DEFORMADO)	2,1%
TOTAL	

Figura 74. Grafica de subcomponente Fallado de los pozos de Campo Jazmín.

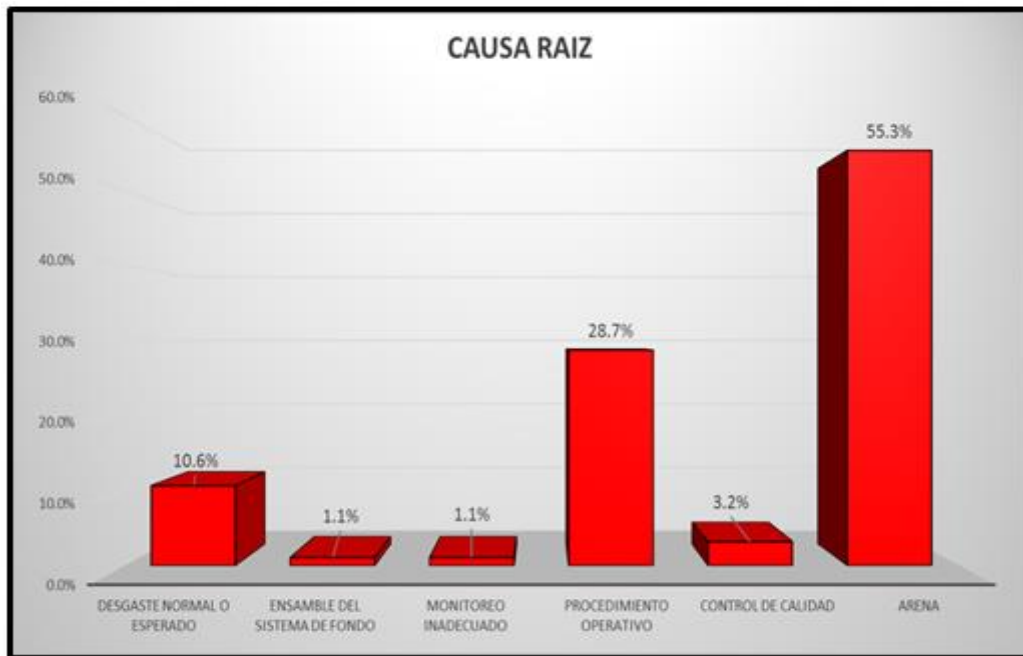


7.3.4 Causa raíz En esta grafica se presentarán las causas fuentes más frecuentes de las fallas que se presentaron en el periodo evaluado para así poder atacarlas e ir aumentando el run-life de los sistemas, organizados en la tabla 49 en forma de porcentajes.

Tabla 49. Causa raíz en Campo Jazmín.

CAUSA RAIZ		PORCENTAJE
DESGASTE NORMAL O ESPERADO	10	10,6%
ENSAMBLE DEL SISTEMA DE FONDO	1	1,1%
MONITOREO INADECUADO	1	1,1%
PROCEDIMIENTO OPERATIVO	27	28,7%
CONTROL DE CALIDAD	3	3,2%
ARENA	52	55,3%
TOTAL	94	

Figura 75. Grafica de la causa raíz de los pozos de Campo Jazmín.



7.3.5 Costos En esta grafica se presentarán la distribución de los costos asociados a falla de cada campo en el periodo evaluado asignados a costos por

reparación de las bombas, diferidas de producción y costos de intervención por equipo de servicios.

Figura 76. Grafica de costos por fallas de los pozos de Campo Jazmín.



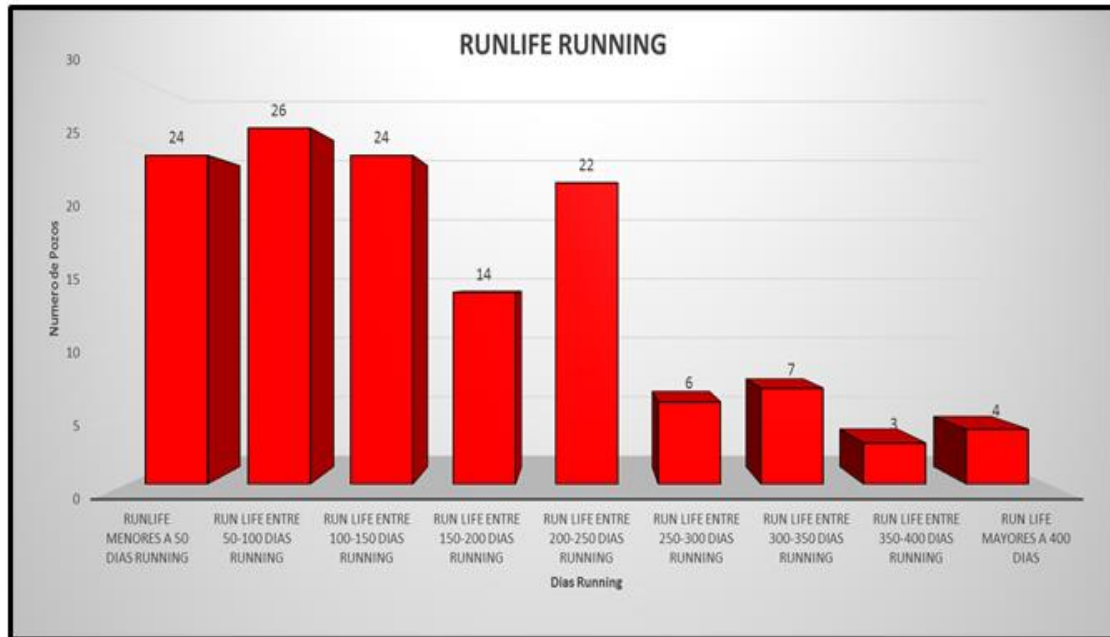
7.4 CAMPO GIRASOL

7.4.1 Esquema de pozos operativos En esta grafica se dejará plasmado el tiempo de vida de los pozos con su última instalación de bomba con corte al último día del periodo evaluado. Los datos se sacarán de la tabla 29 en la columna **RUNLIFE HASTA FIN DE SEMESTRE** y se organizarán en la Tabla 50 de la cual se plasmará en una gráfica tipo barras.

Tabla 50. Run-life status de los pozos de Campo Girasol.

RUNLIFE RUNNING	
RUNLIFE MENORES A 50 DIAS RUNNING	24
RUN LIFE ENTRE 50-100 DIAS RUNNING	26
RUN LIFE ENTRE 100-150 DIAS RUNNING	24
RUN LIFE ENTRE 150-200 DIAS RUNNING	14
RUN LIFE ENTRE 200-250 DIAS RUNNING	22
RUN LIFE ENTRE 250-300 DIAS RUNNING	6
RUN LIFE ENTRE 300-350 DIAS RUNNING	7
RUN LIFE ENTRE 350-400 DIAS RUNNING	3
RUN LIFE MAYORES A 400 DIAS	4

Figura 77. Grafica de Run-life status de los pozos de Campo Girasol.

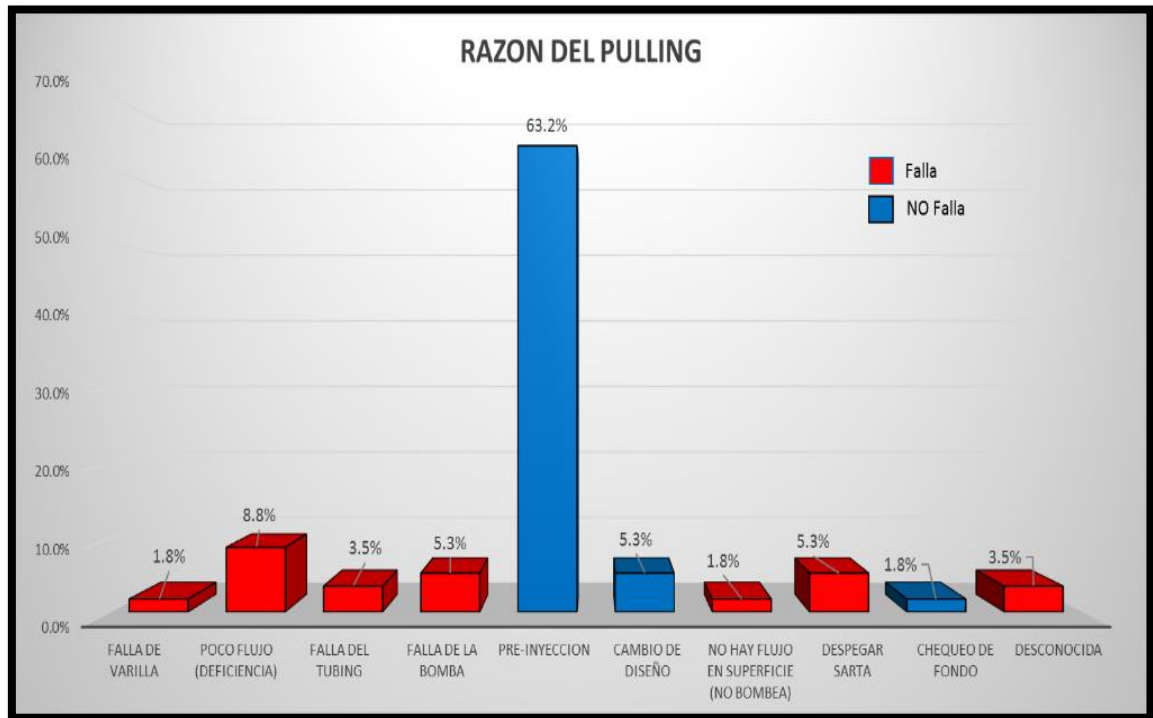


7.4.2 Razon del pulling Esta grafica tendrá en cuenta la Razón del Pulling con el fin de evidenciar los servicios más frecuentes en cada campo, estos se sacarán de la tabla 26 contabilizando cada dato de la columna **RAZON DEL PULLING**. Al tener contados los servicios se sumarán y se pasarán a porcentaje para tener un estimado general en una tabla que llamaremos tabla 51. Cabe anotar que el número de Pulling totales debe ser acorde al registrado en la tabla 8.

Tabla 51. Razón del Pulling de Campo Girasol.

RAZON DEL PULLING		PORCENTAJE
FALLA DE VARILLA	1	1,8%
POCO FLUJO (DEFICIENCIA)	5	8,8%
FALLA DEL TUBING	2	3,5%
FALLA DE LA BOMBA	3	5,3%
PRE-INYECCION	36	63,2%
CAMBIO DE DISEÑO	3	5,3%
NO HAY FLUJO EN SUPERFICIE (NO BOMBEA)	1	1,8%
DESPEGAR SARTA	3	5,3%
CHEQUEO DE FONDO	1	1,8%
DESCONOCIDA	2	3,5%
TOTAL	57	
FALLA	15	

Figura 78. Grafica de Razón del Pulling de los pozos de Campo Girasol.

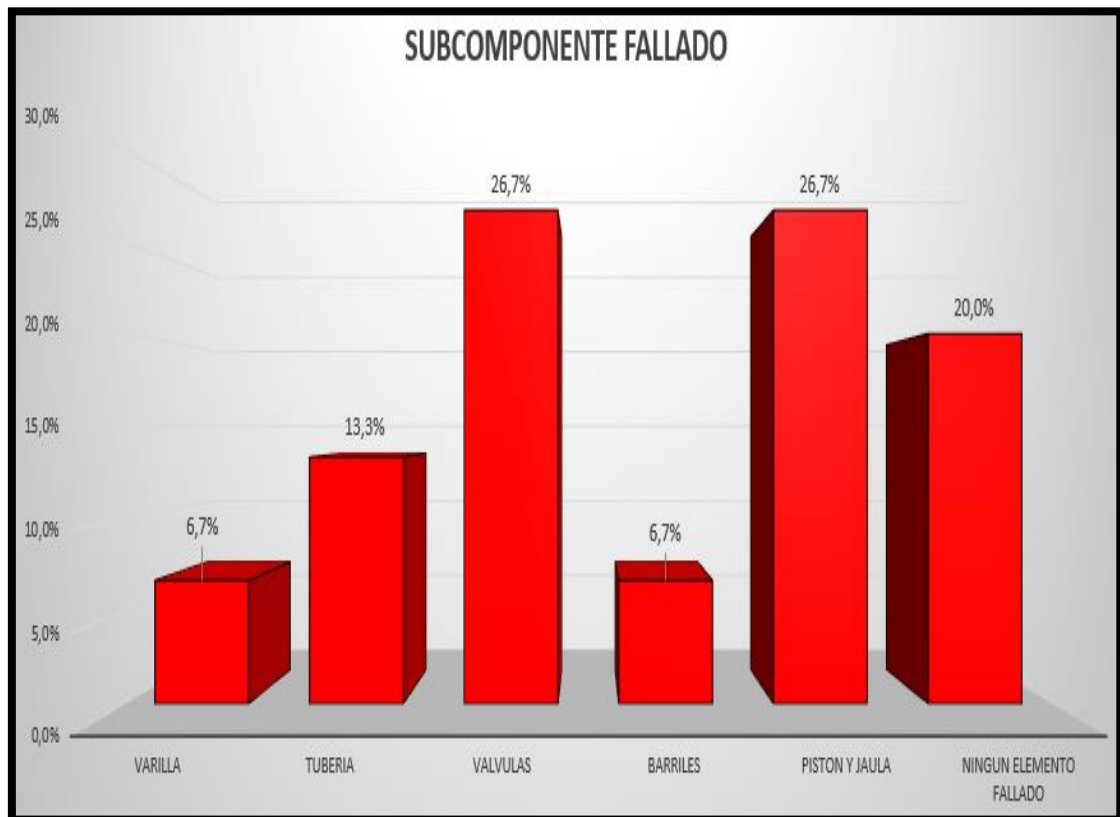


7.4.3 Subcomponente fallado En esta grafica se presentarán los elementos del sistema que más presentaron falla en el periodo evaluado, organizados en la tabla 52 en forma de porcentajes.

Tabla 52. Subcomponente fallado en Campo Girasol.

ELEMENTO FALLADO		PORCENTAJE
VARILLA	1	6,7%
TUBERIA	2	13,3%
VALVULAS	4	26,7%
BARRILES	1	6,7%
PISTON Y JAULA	4	26,7%
NINGUN ELEMENTO FALLADO	3	20,0%
TOTAL	15	

Figura 79. Grafica Subcomponente Fallado de los pozos de Campo Girasol.

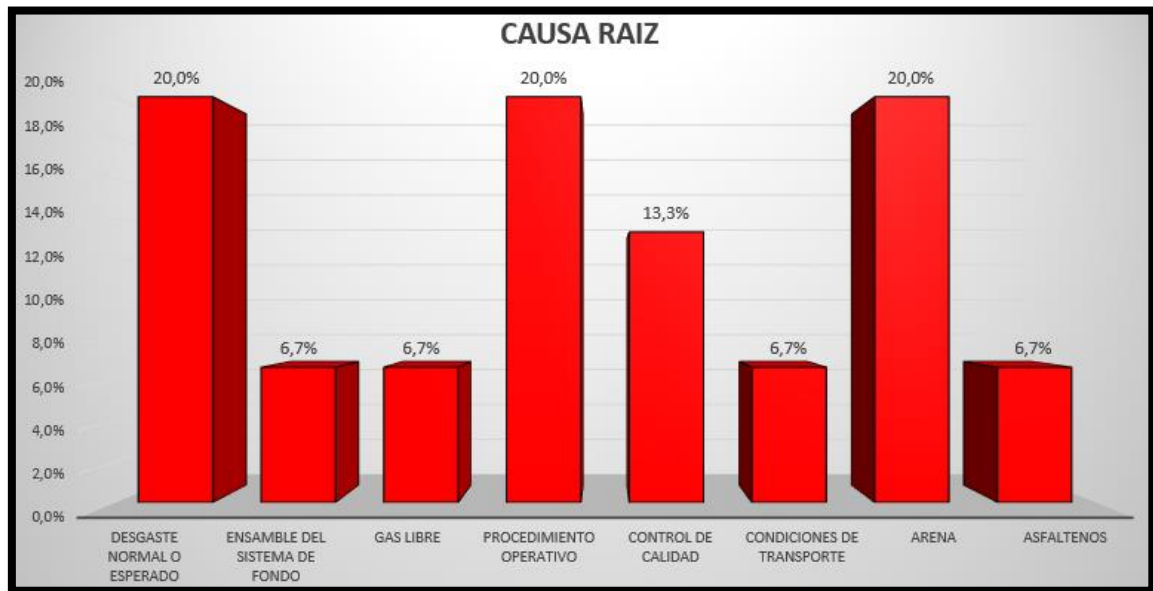


7.4.4 Causa raíz En esta grafica se presentarán las causas fuentes más frecuentes de las fallas que se presentaron en el periodo evaluado para así poder atacarlas e ir aumentando el run-life de los sistemas, organizados en la tabla 53 en forma de porcentajes.

Tabla 53. Causa raíz en Campo Girasol.

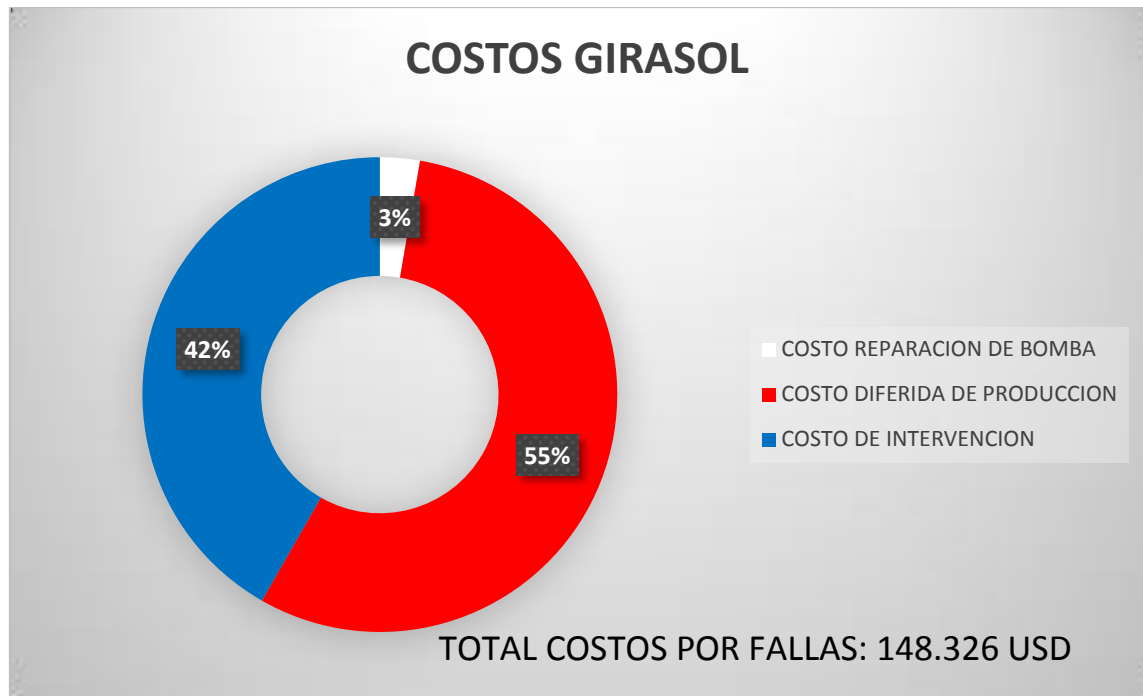
CAUSA RAIZ		PORCENTAJE
DESGASTE NORMAL O ESPERADO	3	20,0%
ENSAMBLE DEL SISTEMA DE FONDO	1	6,7%
GAS LIBRE	1	6,7%
PROCEDIMIENTO OPERATIVO	3	20,0%
CONTROL DE CALIDAD	2	13,3%
CONDICIONES DE TRANSPORTE	1	6,7%
ARENA	3	20,0%
ASFALTENOS	1	6,7%
TOTAL	15	

Figura 80. Grafica de la causa raíz de los pozos de Campo Girasol.



7.4.5 Costos En esta grafica se presentarán la distribución de los costos asociados a falla de cada campo en el periodo evaluado asignados a costos por reparación de las bombas, diferidas de producción y costos de intervención por equipo de servicios.

Figura 81. Grafica de Costos por fallas de los pozos de Campo Girasol.



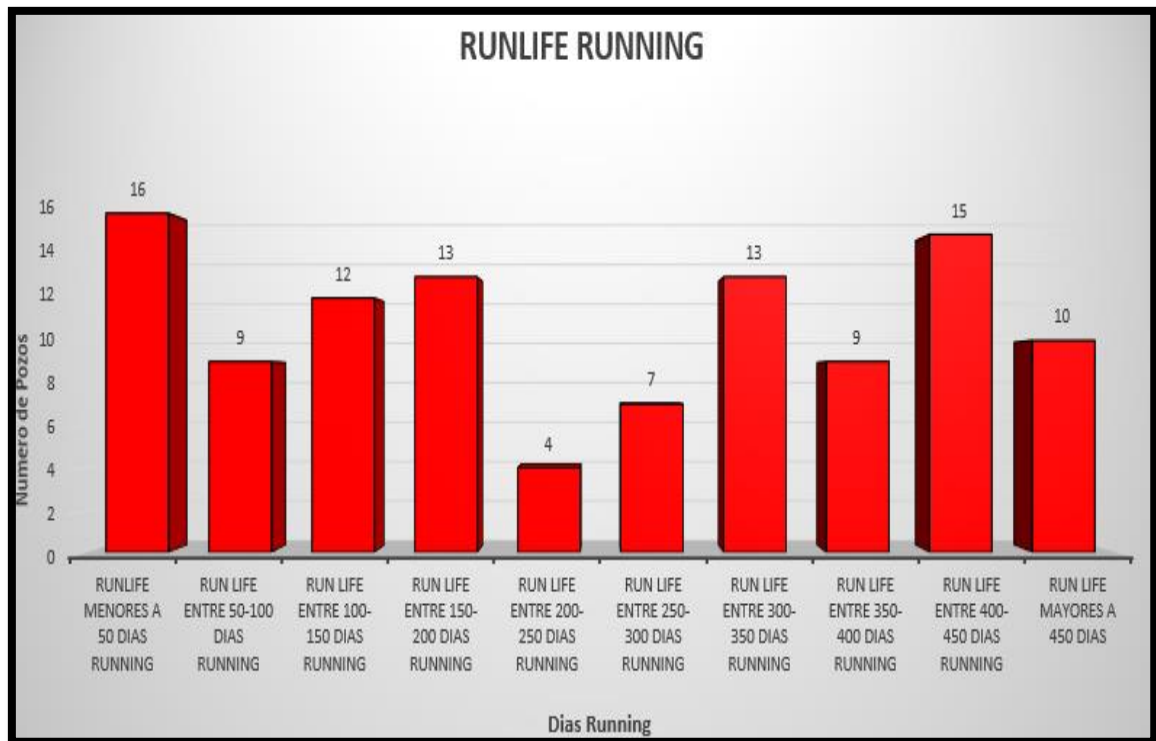
7.5 CAMPO NARE-UNDERRIVER

7.5.1 Esquema de pozos operativos En esta grafica se dejará plasmado el tiempo de vida de los pozos con su última instalación de bomba con corte al último día del periodo evaluado. Los datos se sacarán de la tabla 29 en la columna **RUNLIFE HASTA FIN DE SEMESTRE** y se organizarán en la Tabla 54 de la cual se plasmará en una gráfica tipo barras.

Tabla 54. Run-life status de los pozos de Campo Nare-Underriver.

RUNLIFE RUNNING	
RUNLIFE MENORES A 50 DIAS RUNNING	16
RUN LIFE ENTRE 50-100 DIAS RUNNING	9
RUN LIFE ENTRE 100-150 DIAS RUNNING	12
RUN LIFE ENTRE 150-200 DIAS RUNNING	13
RUN LIFE ENTRE 200-250 DIAS RUNNING	4
RUN LIFE ENTRE 250-300 DIAS RUNNING	7
RUN LIFE ENTRE 300-350 DIAS RUNNING	13
RUN LIFE ENTRE 350-400 DIAS RUNNING	9
RUN LIFE ENTRE 400-450 DIAS RUNNING	15
RUN LIFE MAYORES A 450 DIAS	10

Figura 82. Grafica de Run-life status de los pozos de Campo Nare-Underriver.

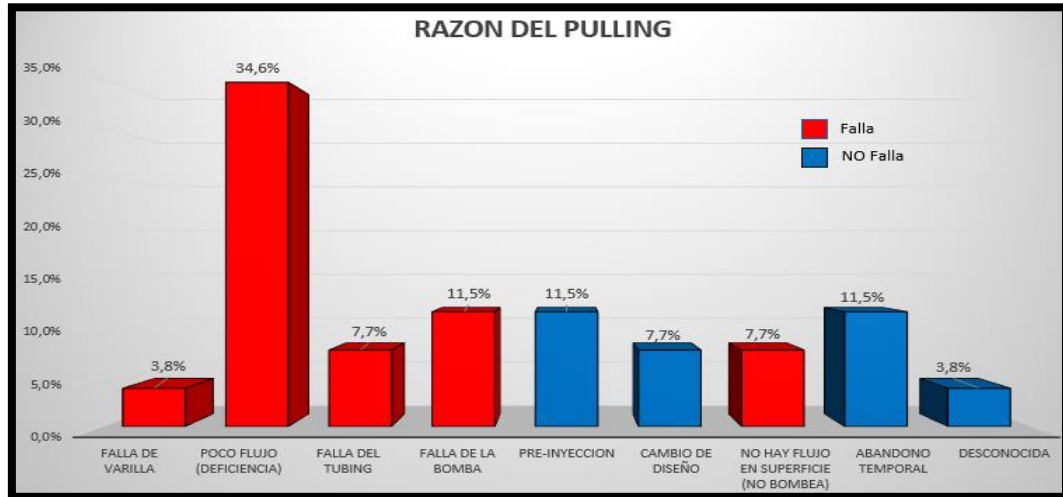


7.5.2 Razon del pulling Esta grafica tendrá en cuenta la Razón del Pulling con el fin de evidenciar los servicios más frecuentes en cada campo, estos se sacarán de la tabla 26 contabilizando cada dato de la columna **RAZON DEL PULLING**. Al tener contados los servicios se sumarán y se pasarán a porcentaje para tener un estimado general en una tabla que llamaremos tabla 55. Cabe anotar que el número de Pulling totales debe ser acorde al registrado en la tabla 8.

Tabla 55. Razón del Pulling de Campo Nare-Underriver.

RAZON DEL PULLING		PORCENTAJE
FALLA DE VARILLA	1	3,8%
POCO FLUJO (DEFICIENCIA)	9	34,6%
FALLA DEL TUBING	2	7,7%
FALLA DE LA BOMBA	3	11,5%
PRE-INYECCION	3	11,5%
CAMBIO DE DISEÑO	2	7,7%
NO HAY FLUJO EN SUPERFICIE (NO BOMBEA)	2	7,7%
ABANDONO TEMPORAL	3	11,5%
DESCONOCIDA	1	3,8%
TOTAL	26	
Falla	17	

Figura 83. Grafica de Razón del Pulling de los pozos de Campo Nare-Underriver.

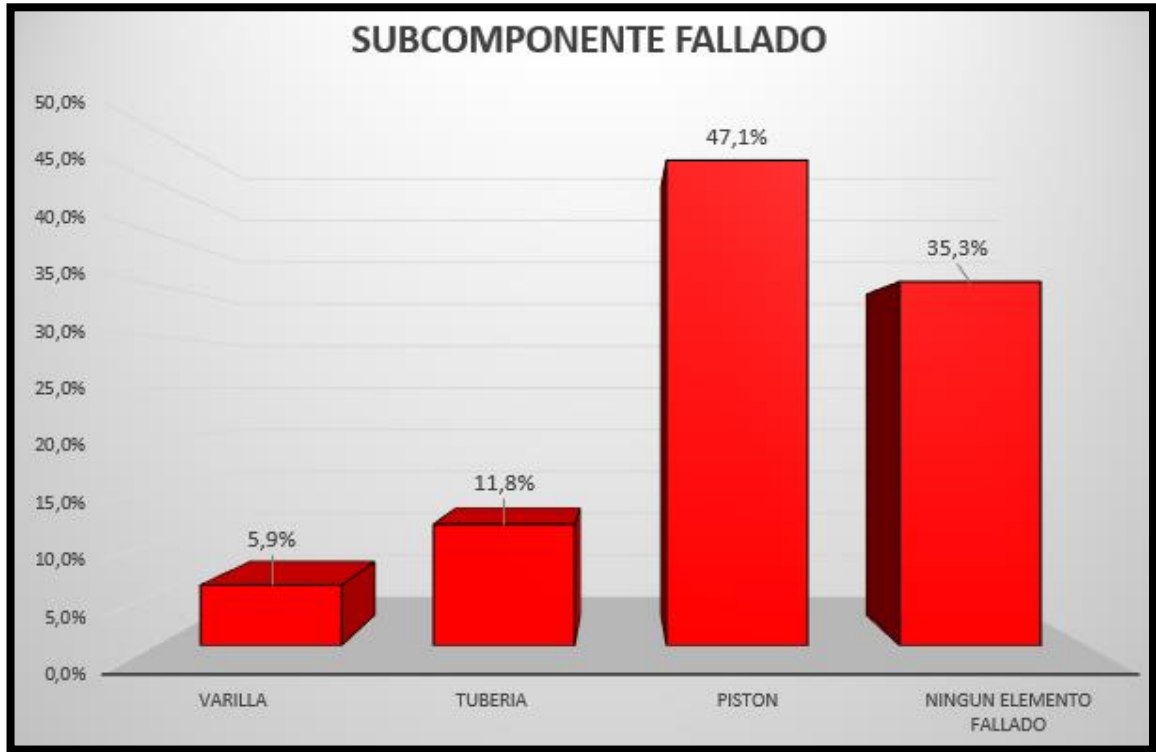


7.5.3 Subcomponente fallado En esta grafica se presentarán los elementos del sistema que más presentaron falla en el periodo evaluado, organizados en la tabla 56 en forma de porcentajes.

Tabla 56. Subcomponente fallado en Campo Nare-Underriver.

ELEMENTO FALLADO		PORCENTAJE
VARILLA	1	5,9%
TUBERIA	2	11,8%
PISTON	8	47,1%
NINGUN ELEMENTO FALLADO	6	35,3%
TOTAL	17	

Figura 84. Grafica del Subcomponente Fallado de los pozos de Campo Nare-Underriver.

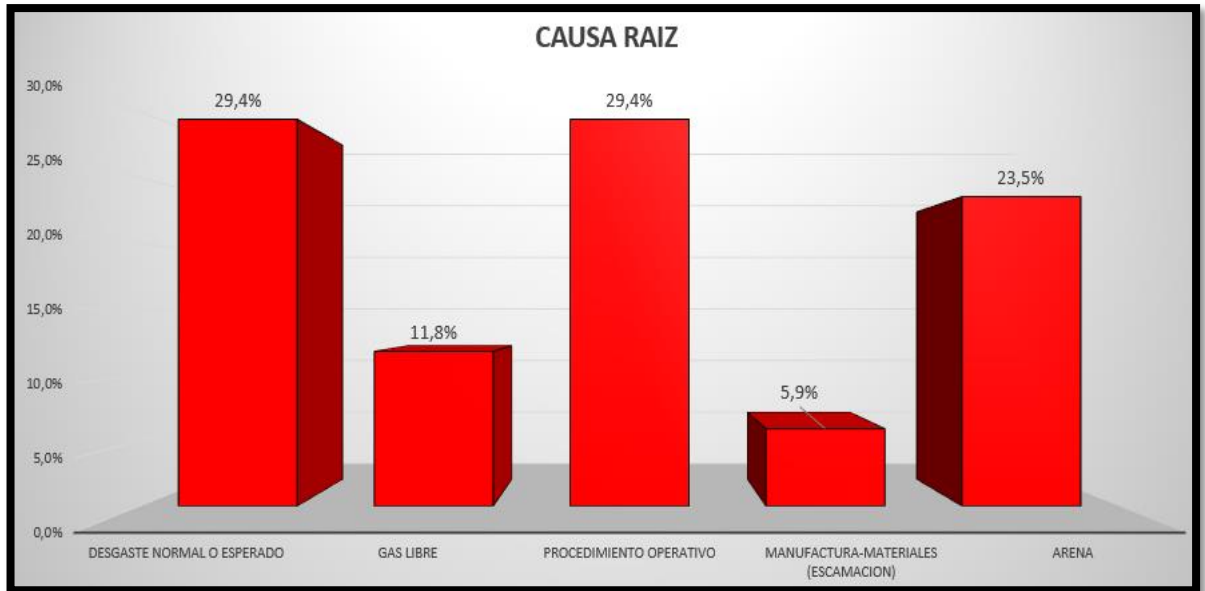


7.5.4 causa raíz En esta grafica se presentarán las causas fuentes más frecuentes de las fallas que se presentaron en el periodo evaluado para así poder atacarlas e ir aumentando el run-life de los sistemas, organizados en la tabla 57 en forma de porcentajes.

Tabla 57. Causa raíz en Campo Nare-Underriver.

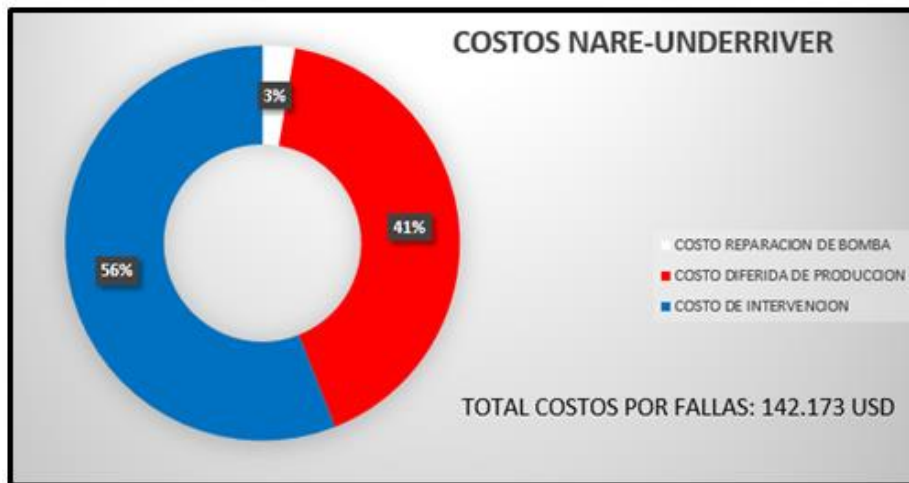
CAUSA RAZ		PORCENTAJE
DESGASTE NORMAL O ESPERADO	5	29,4%
GAS LIBRE	2	11,8%
PROCEDIMIENTO OPERATIVO	5	29,4%
MANUFACTURA-MATERIALES (ESCAMACION)	1	5,9%
ARENA	4	23,5%
TOTAL	17	

Figura 85. Grafica de la Causa raíz de los pozos de Campo Nare-Underriver.



7.5.5 Costos En esta grafica se presentarán la distribución de los costos asociados a falla de cada campo en el periodo evaluado asignados a costos por reparación de las bombas, diferidas de producción y costos de intervención por equipo de servicios.

Figura 86. Grafica de costos por fallas de los pozos de Campo Nare-Underriver.



8. CONCLUSIONES

- Los factores que más afectaron el buen funcionamiento de los sistemas instalados fue la presencia de arena con alrededor de un 30% y procedimientos operativos mal ejecutados (mal diagnóstico) con un 32% en los pozos de la Asociación Nare.
- En un 32% de los componentes que salieron por mal funcionamiento de la bomba de subsuelo no se encontró ningún tipo de falla en el Tear Down que se hizo en taller de bombas, esto concuerda con los datos de malos diagnósticos de falla que se hacía en cada uno de los campos.
- Los subcomponentes más afectados en las fallas de las bombas de subsuelo en los campos de la Asociación Nare fueron los pistones con alrededor de un 30% debido a la presencia de arena abrasiva.
- El campo con mayor número de desinstalaciones de sistemas de levantamiento e intervenciones menores fue Campo Moriche con 342 desinstalaciones en 90 días y Campo Jazmín con 170 desinstalaciones también en 90 días, esto debido a que son los campos con mayor número de pozos activos.
- El campo con mayor índice de Pulling con proyección anual fue Campo Abarco con 3.53 (Tendencia de sacar la bomba de subsuelo al menos 3.53 veces de cada pozo en un año) debido a una campaña de profundización de colas de inyección de vapor, para así mejorar la producción de este campo la cual venía en declinación.

- El campo con mayor índice de falla fue Campo moriche con una proyección anual de 1.14 (Tendencia de fallar la bomba de subsuelo al menos 1.14 veces cada pozo en un año) debido a que fue el campo con mayor falencias en diagnósticos de falla.
- El campo con mayor índice de intervenciones menores fue Campo Abarco con una proyección anual de 2.98 (Tendencia de hacer servicio a pozo sin desinstalar la bomba de subsuelo al menos 2.98 veces cada pozo en un año), esto debido a que sus pozos estaban sufriendo constantes bloqueos por gas por lo cual se tenían que re-espaciar o aplicar chorros de agua con los camiones de vacío.
- El campo con menor tiempo de vida esperado antes de falla (MTBF) fue Campo Abarco con 362 días ya que este no cuenta con pozos intermitentes.
- El campo con mayor tiempo de vida esperado antes de falla (MTBF) fue Campo Nare-Underriver con 676 días ya que por cuestiones logísticas de los equipos de servicio a pozo, deben arreglar las fallas de los sistemas de bombeo desde superficie (sin desinstalar la bomba de subsuelo), lo cual hizo que aumentara Run-life de sus sistemas.
- El campo con menor tiempo de vida esperado antes de Pulling (MTBP) fue también Campo Abarco con 181 días, debido a las profundizaciones de colas de inyección como se explicó anteriormente.
- El campo con mayor tiempo de vida esperado antes de Pulling (MTBP) fue Campo Nare-Underriver con 618 días, esto debido a cuestiones logísticas de los equipos de servicio a pozo, ya que estos pozos debían hacer la inyección de vapor con sarta levantada, es decir, sin sacar el sistema de subsuelo.

- La razón de Pulling más frecuente en la mayoría de los campos de la asociación Nare fue la inyección de vapor con un promedio de 44%, esto debido a la estrategia de producción que se maneja en Mansarovar de hacer ciclos de inyección de vapor cada 5 meses.
- Los costos más altos relacionados con las fallas en el sistema de subsuelo fue el costo de intervención de los equipos de Well Services con alrededor del 63%, dado a que los equipos duraban más tiempo de lo normal en los servicios a pozo.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de accesorios para control de arena en las bombas de subsuelo y hacer un control de seguimiento de estas.
- Divulgar los procedimientos de asentamiento de bombas de subsuelo en los equipos y concientizar a estas personas de los costos que esto acarrearán en la empresa.
- Hacer análisis de la estrategia de costos en cuanto a piezas clase b en las bombas de subsuelo.
- Identificar al momento de falla del Sistema de un pozo, que tan cerca está en el Schedule de inyección de vapor.
- Mejorar la estrategia de diagnóstico de falla.

BIBLIOGRAFÍA

ARDILA, Camilo Andrés. Análisis y cuantificación de pérdidas volumétricas identificables de hidrocarburos en la operación típica del oleoducto Velásquez 26 (puerto boyaca)- el sauce (Barrancabermeja). Bucaramanga: Universidad industrial de Santander. Facultad fisicoquímica. Escuela de ingeniería química-.

BROWN, Kermit E., BEGGS, H. Dale, The Technology of Artificial Lift Methods, volume 1. Pen Well Books. Tulsa Oklahoma. 1977.

CHAMBLISS, Richard. Plunger Leakage and Viscous Drag for Beam Pump Systems; p. 1-39.

EARL B. Brookbank. "How do you measure run life". Paper presented at SPE workshop May, 1996.

HERNANDEZ, Florencio. Bombeo Mecánico. Bucaramanga Publicaciones UIS; p. 1-14.

LASTRA, Rafael & RUEDA, Armando. Estimating MTBF using survival analysis techniques. Occidental de Colombia. Houston Texas, 1997.

LEWIS E.E.. "Introduction to reliability engineering". Chap 8. Wiley & Sons. Second edition, New York, 1994.

MESA, Argemiro Andres & LOPEZ, Nohora Isabel. Análisis y determinación del volumen de desplazamiento de fluidos en bombas mecánicas de subsuelo con

pistón concéntrico. Bucaramanga: Universidad industrial de Santander. Facultad fisicoquímica. Escuela de ingeniería de petróleos.

ORTEGA, Clímaco. Curso Bombeo Mecánico. Bucaramanga. Publicaciones UIS; p. 101-140.

PATTERSON M.M. "A model for estimating the life of Electrical Submersible pumps". SPE paper 22790.

PEÑA, Fredy Alonso. Práctica empresarial Bombeo Electrosumergible. Descripción, Diseño y Monitoreo. Schlumberger – WCP – Artificial Lift System. Proyecto de Grado, Universidad Industrial de Santander, Facultad de fisicoquímica. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2005.

SLB SPR 07 [en línea] [Citado el 17 de abril 2007] disponible en <https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish07/spr07/p50_59.pdf>

STEEL, Bethlehem. Sucker Rod Handbook; p. 99.

VENKATARAMEN G.. "Reability analisis of electrical submersible pumps". Shell development company.

WIKI2 Petroleo [en línea] [Citado el 30 de julio 2010] disponible en <<https://es.wiki2.org/wiki/Petr%C3%B3leo>>

WILLIAMS, Benny. & FISCHER Harbison. Summary of Testing of Variable Slippage Pump Sucker Rod Pumps; p. 129-131.

ANEXOS

ANEXO A. Árbol de decisiones del modelo

