

**PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD (RCM), PARA LA OPERACIÓN DE UN TALADRO DE
PERFORACIÓN DE UNA EMPRESA DEL SECTOR MINERO EN ANTIOQUIA**

**DANIEL HUMBERTO BOHORQUEZ
ANDREA PAOLA GONZALEZ PADILLA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2015**

**PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD (RCM), PARA LA OPERACIÓN DE UN TALADRO DE
PERFORACIÓN DE UNA EMPRESA DEL SECTOR MINERO EN ANTIOQUIA**

**DANIEL HUMBERTO BOHORQUEZ
ANDREA PAOLA GONZALEZ PADILLA**

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de mantenimiento**

**Director
Jairo Alonso Bohórquez Blanco
Magister en ingeniería – Telecomunicaciones U.N.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2015**

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	21
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.1 DIAGNÓSTICO	22
1.2 PROBLEMA	26
2. JUSTIFICACIÓN	27
3. OBJETIVOS	28
3.1 OBJETIVO GENERAL	28
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
4. DELIMITACIÓN	29
5. MARCO TEORICO	31
5.1 MANTENIMIENTO	31
5.1.1 Objetivos del mantenimiento.....	32
5.1.2 Tipos de mantenimiento.....	32
5.1.3 Niveles de Mantenimiento.....	36
5.1.4 Tendencias de la gestión del mantenimiento.....	37
5.1.5 Costos asociados a Mantenimiento	38
5.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	39
5.2.1 Principios más importantes de la metodología del RCM	40
5.2.2 Las siete preguntas básicas del RCM	41
5.2.3 Proceso de implementación del RCM.....	42
5.2.4 Jerarquía de equipos y fronteras	42
5.3 MÉTODO DE EVALUACIÓN DE CRITICIDAD	44
5.3.1 Criterios de evaluación de criticidad	45
5.3.2 Evaluación de criticidad	47
5.4 ANÁLISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)	47

5.4.1	Pasos para la creación del AMEF.....	48
5.5	INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	48
5.6	INDICADORES BÁSICOS	50
5.6.1	Confiabilidad (R (t)).....	50
5.6.1.1	Cálculo de confiabilidad según Weibull:	50
5.6.1.2	Mecanismos de fallos particulares.....	52
5.6.1.3	Estimación de los parámetros de vida de equipos mediante el método gráfico 54	
5.6.1.4	Preparación de los datos	55
5.6.1.5	Cálculo de confiabilidad exponencial.....	56
5.6.2	Mantenibilidad (M (t))	57
5.6.2.1	Cálculo de Mantenibilidad según Weibull	57
5.6.3	Disponibilidad (A).....	57
5.7	MONITOREO BAJO CONDICIÓN CBM	58
5.7.1	Selección de la maquinaria a monitorear.....	59
5.7.2	Técnicas y tecnologías de monitoreo de condición	60
5.8	NORMATIVIDAD.....	61
5.8.1	Norma 14224	61
5.8.2	GTC 45	62
6.	PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA LA EMPRESA CONTRATANTE	64
6.1	EMPRESA CONTRATANTE.....	64
6.2	DEFINICIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL.....	66
6.2.1	Estructuración del Proyecto	66
6.2.1.1	Servicios Suministrados	66
6.2.1.2	Visita.....	67

6.2.2	Proceso.....	67
6.2.2.1	Tecnología y Maquinaria	67
6.2.2.2	Talento Humano	68
6.2.2.3	Recursos	69
6.2.2.4	Repuestos	69
6.2.2.5	Propósito del taladro de perforación minera	70
6.2.3	Sistema del taladro de perforación minera	70
6.2.4	Descripción del proceso.....	70
6.2.4.1	PER – Equipos Operativos de Perforación.....	75
6.2.4.2	TLT- Tanques de tratamiento de lodos.....	84
6.2.4.3	CAG- Captación de agua.....	86
6.2.4.4	GEN- Equipos de generación eléctrica.....	87
6.2.5	Equipos principales.....	88
6.2.6	Diagrama entrada-proceso-salida.....	88
6.3	Criticidad Preliminar de Equipos	89
6.4	Elaboración del análisis de modo y efecto de las fallas del Taladro minero	91
6.4.1	Elaboración de las espigas de pescado.....	91
6.4.2	Definiciones iniciales.....	92
	Fallos Funcionales: Incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.....	92
6.4.3	Elaboración del AMEF	93
6.5	ELABORACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	101
6.6	EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS DE LA VIDA ÚTIL DEL TALADRO DE PERFORACIÓN MINERA.....	109
6.6.1	Determinación de los factores característicos de la vida útil.....	109
6.7	Diagrama de decisiones.....	114
6.7.1	La hoja de información.....	115

6.7.2	Hoja de decisión	121
7.	PRESENTACION DE RESULTADOS.....	129
7.1	RESULTADOS DEL AMEF	129
7.2	RESULTADO DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO GRAFICO	150
8.	PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.....	153
9.	PROCEDIMIENTOS DE MEJORA CONTINUA	168
10.	CONCLUSIONES	172
11.	RECOMENDACIONES	175
	BIBLIOGRAFIA.....	177
	ANEXOS.....	180

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fallas presentadas en la empresa contratante	23
Figura 2. Bomba de suministro de agua (Fuera de servicio).	25
Figura 3. Motor diésel (Fallas por temperatura).	25
Figura 4. Tendencias en la gestión de mantenimiento.	38
Figura 5. Siete preguntas del RCM.	41
Figura 6. Flujograma de implantación del RCM.	42
Figura 7. Diagrama jerárquico de equipos.	43
Figura 8. Matriz de criticidad.	47
Figura 9. Papel de Weibull.	54
Figura 10. Curva de la “bañera”	56
Figura 11. Optimización del Mantenimiento.	60
Figura 12. Plataforma de perforación en Guadalupe, Antioquia.	64
Figura 13. Plataforma de perforación en Guadalupe, Antioquia.	65
Figura 14. Motor Kubota V1505-T.	75
Figura 15. Bomba de engranajes Sauer Danfoss SNP2EN.	76
Figura 16. Motor de rotación EATON 2000 Series.	78
Figura 17. Foot Clamp.	79
Figura 18. Winche.	79
Figura 19. Mezclador de lodos.	80
Figura 20. Tanque de aditivos.	80
Figura 21. Bomba hidráulica FMC.	81
Figura 22. Tanque de suministro de aceite hidráulico.	82

Figura 23. Intercambiador de calor Thermal Transfer Shell & Tube EK Series.	83
Figura 24. Panel de control.....	84
Figura 25. Tanques de lodos.	85
Figura 26. Moto bomba HONDA WB20XT.....	85
Figura 27. Motor diésel DEK F400S.	86
Figura 28. Generador Sportsman 10K.....	87
Figura 29. Caja negra.	88
Figura 30. Espina de pescado para los motores de combustión interna Kubota. ..	92
Figura 31. Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el motor de combustión interna Kubota EMK001.....	110
Figura 32. Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el motor de combustión interna Kubota EMK001.....	111
Figura 33. Curva de confiabilidad para el EMK001 Motor Kubota.	113
Figura 34. Curva de confiabilidad para el EMK001 Motor Kubota.	114
Figura 35. Árbol lógico de decisiones de las actividades de mantenimiento.	115

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Equipos de la empresa.	22
Tabla 2. Fallas técnicas presentadas en la empresa.	26
Tabla 3. Frecuencia de fallas.	45
Tabla 4. Impacto operacional.	45
Tabla 5. Flexibilidad operacional (Tiempo medio por reparación).	46
Tabla 6. Costo de mantenimiento.	46
Tabla 7. Impacto de seguridad, medio ambiente e higiene.	46
Tabla 8. Tabla de fiabilidad.	53
Tabla 9. Árbol de equipos.	71
Tabla 10. Análisis de criticidad preliminar.	89
Tabla 11. Resumen del análisis de criticidad preliminar.	91
Tabla 12. Puntajes del AMEF.	93
Tabla 13. AMEF EMK Motor Kubota V1505-T.	95
Tabla 14. Criterios de criticidad.	101
Tabla 15. Resultado del análisis de criticidad.	103
Tabla 16. Datos de vida del equipo EMK001 Motor Kubota.	109
Tabla 17. Resultados de confiabilidad para el EMK001 Motor Kubota.	111
Tabla 18. Resultados de Mantenibilidad para el EMK001 Motor Kubota.	111
Tabla 19. Datos de confiabilidad para el EMK 001 Motor Kubota.	112
Tabla 20. Datos de Mantenibilidad para el EMK 001 Motor Kubota.	113
Tabla 21. Hoja de información EMK Motor Kubota V1505-T.	116
Tabla 22. Hoja de decisión EMK Motor Kubota V1505-T.	123

Tabla 23. Resultados AMEF EMK Motor Kubota V1505-T.	129
Tabla 24. Resultados AMEF Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K.	134
Tabla 25. Resultados AMEF EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.	136
Tabla 26. Resultados AMEF EMD001 Motor DEK F400S.	138
Tabla 27. Resultados AMEF ETA 001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.	141
Tabla 28. Resultados AMEF EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.	142
Tabla 29. Resultados AMEF EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.	145
Tabla 30. Resultados AMEF ERB001 Winche Hydracore 2000.	146
Tabla 31. Resultados AMEF ETC001 Panel de control Hydracore 2000.	148
Tabla 32. Parámetros de vida de los equipos del taladro de perforación minera.	150
Tabla 33. Indicador de confiabilidad equipos del taladro de perforación minera.	150
Tabla 34. Indicador de Mantenibilidad equipos del taladro de perforación minera.	151
Tabla 35. Resumen CMD equipos del taladro de perforación minera.	152
Tabla 36. Mantenimiento Preventivo EMK Motor Kubota V1505-T.	153
Tabla 37. Mantenimiento Preventivo EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K.	156
Tabla 38. Mantenimiento Preventivo EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.	157
Tabla 39. Mantenimiento Preventivo EMD001 Motor DEK F400S.	158
Tabla 40. Mantenimiento Preventivo ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.	159
Tabla 41. Mantenimiento Preventivo EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.	160

Tabla 42. Mantenimiento Preventivo EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.	161
Tabla 43. Mantenimiento Preventivo ERB001 Winche Hydracore 2000.	162
Tabla 44. Mantenimiento Preventivo ETC001 Panel de control Hydracore 2000.	163
Tabla 45. Mantenimiento Autónomo Equipos Taladro de Perforación minera.	164
Tabla 46. Mantenimiento Predictivo Equipos Taladro de perforación minera.	167
Tabla 47. Indicadores de proceso interno.	168
Tabla 48. Oportunidades de mejora.....	170

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Espinas de pescado EMK Motor Kubota V1505-T.	180
Anexo B Espinas de pescado EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K.....	187
Anexo C Espinas de pescado EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.	194
Anexo D. Espinas de pescado EMD001 Motor DEK F400S.	201
Anexo E. Espinas de pescado ETA 001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.	207
Anexo F. Espinas de pescado EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.....	210
Anexo G. Espinas de pescado EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.....	219
Anexo H. Espinas de pescado ERB001 Winche Hydracore 2000.	223
Anexo I. Espinas de pescado ETC001 Panel de control Hydracore 2000.	225
Anexo J AMEF EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K.	229
Anexo K. AMEF EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.	233
Anexo L. AMEF EMD001 Motor DEK F400S.....	237
Anexo M. AMEF ETA 001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.....	242
Anexo N. AMEF EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.	244
Anexo O. AMEF EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.	249
Anexo P. AMEF ERB001 Winche Hydracore 2000.....	250
Anexo Q AMEF ETC001 Panel de control Hydracore 2000.....	253
Anexo R. Datos de vida del equipo EMK002 Motor Kubota.....	255
Anexo S. Datos de vida del equipo EMK003 Motor Kubota.....	255

Anexo T. Datos de vida del equipo EGE001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K.....	256
Anexo U. Datos de vida del equipo EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.....	257
Anexo V. Datos de vida del equipo EMD001 Motor DEK F400S.....	258
Anexo W Datos de vida del equipo ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.....	258
Anexo X. Datos de vida del equipo EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.....	259
Anexo Y. Datos de vida del equipo EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.....	260
Anexo Z. Datos de vida del equipo ERB001 Winche Hydracore 2000.....	260
Anexo 1 Datos de vida del equipo ETC001 Panel de control Hydracore 2000.....	260
Anexo 2 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EMK002 Motor Kubota.....	262
Anexo 3 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EMK003 Motor Kubota.....	262
Anexo 4 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EGE001 Generador eléctrico portatil Sportsman GEN 10K.....	263
Anexo 5 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.....	263
Anexo 6 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EMD001 Motor DEK F400S.....	264
Anexo 7 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.....	264
Anexo 8 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.....	265
Anexo 9 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.....	265

Anexo 10 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo ERB001 Winche Hydracore 2000.....	266
Anexo 11 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo ETC001 Panel de control Hydracore 2000.	266
Anexo 12 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EMK002 Motor Kubota.	267
Anexo 13 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EMK003 Motor Kubota.	267
Anexo 14 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EGE001 Generador eléctrico portatil Sportsman GEN 10K.	268
Anexo 15 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.	268
Anexo 16 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EMD001 Motor DEK F400S.	269
Anexo 17 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.	269
Anexo 18 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.	270
Anexo 19 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.	270
Anexo 20 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo ERB001 Winche Hydracore 2000.....	271
Anexo 21 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo ETC001 Panel de control Hydracore 2000.....	271
Anexo 22 . Hoja de información AMEF EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K.	272
Anexo 23. Hoja de información AMEF EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.....	275
Anexo 24 Hoja de información AMEF EMD001 Motor DEK F400S.	278
Anexo 25 Hoja de información AMEF ETA 001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.	282

Anexo 26. Hoja de información AMEF EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.	284
Anexo 27 Hoja de información AMEF EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.	288
Anexo 28 Hoja de información AMEF ERB001 Winche Hydracore 2000.	289
Anexo 29 Hoja de información AMEF ETC001 Panel de control Hydracore 2000.	291
Anexo 30 Hoja de decisión AMEF EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K.....	293
Anexo 31 Hoja de decisión AMEF EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.	296
Anexo 32. Hoja de decisión AMEF EMD001 Motor DEK F400S.....	298
Anexo 33 Hoja de decisión AMEF ETA 001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.	301
Anexo 34 Hoja de decisión AMEF EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.....	303
Anexo 35 Hoja de decisión AMEF EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.....	306
Anexo 36. Hoja de decisión AMEF ERB001 Winche Hydracore 2000.....	307
Anexo 37 Hoja de decisión AMEF ETC001 Panel de control Hydracore 2000. ...	312
Anexo 38 Formato Check List EMK Motor Kubota V1505-T.....	314
Anexo 39 Formato Check List EBE Bomba de engranajes Sauer Danfoss SNP2EN.	315
Anexo 40 Formato Check List EBA Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.....	316
Anexo 41 Formato Check List EMD Motor DEK F400S.....	317
Anexo 42 Formato Check List EMM Mezclador de lodos Hydracore 2000	318
Anexo 43. Formato Check List EMR Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.....	319

Anexo 44	Formato Check List ETC Panel de control Hydracore 2000	319
Anexo 45	Formato Check List EGE Generador eléctrico portatil Sportsman GEN 10K	321
Anexo 46	Formato Check List ERB Winche Hydracore 2000	321
Anexo 47	Formato Check List EFC Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000	323
Anexo 48	Formato Check List EMB Moto Bomba Honda WB20XT	324

RESUMEN

TITULO:

Propuesta del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), para la operación de un taladro de perforación de una empresa del sector minero en Antioquia.

AUTOR:

Daniel Humberto Bohorquez Velandia
Andrea Paola Gonzalez Padilla**

PALABRAS CLAVE:

Taladro Minero, Rcm, Criticidad, Modo De Falla, Efectos De Falla, Plan Mantenimiento

CONTENIDO:

Este trabajo de monografía muestra el desarrollo de una propuesta de plan de mantenimiento basado en Confiabilidad (RCM) para una empresa dedicada a la perforación y extracción de mineral de oro. Esto surge con la idea de minimizar la tendencia de repetitividad e incremento de frecuencias de fallas que se están presentando los activos de la empresa.

Basados en la información recopilada que maneja el equipo de mantenimiento, y en los lineamientos gerenciales que atienden los requerimientos diarios por la operación, causados por la misma variación del mercado mundial y las nuevas estrategias competitivas, se vio la necesidad de plantear soluciones prácticas a problemas que desde hace tiempo se tenían identificados, pero no se les valoraba como críticos y que ahora se les reconoció como oportunidades de mejora aplicable a mediano y largo plazo, que permiten optimizar los recursos económicos y fortalecen la sostenibilidad de la compañía.

La elaboración del plan de mantenimiento está fundamentado en la información técnica de los equipos, en el conocimiento adquirido a través de los años de experiencia del personal que opera y mantiene a los mismos y en un plan de mantenimiento preliminar que aún no está aterrizado a las necesidades de la operación, esta información es la pieza clave en las etapas identificación de los modos y efectos de falla. Para aplicar los lineamientos del RCM se hace necesario la construcción de tablas de decisión y matrices de riesgo para identificar claramente hacia que equipos se deben focalizar los recursos y esfuerzos.

Con esta monografía se puede evidenciar que a partir de la organización de la información y aplicación de estrategias gerenciales y de mantenimiento se pueden lograr grandes resultados, y sirve como base para el fomento de nuevas propuestas para realizar cambios mejorativos.

* Monografía de grado

** Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Jairo Alonso Bohorquez

RESUMEN

TITLE: *proposal of plan reliability centered maintenance (RCM) for the operation of a drilling drill in a mining company in Antioquia.*

AUTHOR:

Daniel Humberto Bohorquez Velandia
Andrea Paola Gonzalez Padilla**

KEY WORDS: Drill Mining, Criticality, Failure Mode, Effects Of Failure, Maintenance Plan

DESCRIPTION

This monograph, present the development of a proposal of plan reliability centered maintenance (RCM) to a company dedicated to the drilling and extraction of gold ore. This monograph grow up with the idea of minimizing the tendency of repeatability and reduce frequency of failures that are occurring in the assets of the company

Based on the information found in the maintenance team, and the management guidelines that try deal the problems weekdays of the operation, caused by the same variation of the global market and new competitive strategies, born the need to bring practical solutions to problems that are present some time ago but they are now recognized as opportunities for improvement applicable to medium and long term, to optimize economic resources and strengthen the sustainability of the company.

The development of the maintenance plan is based on the technical information of the equipment, the knowledge gained through years of experience of the personnel which operates and maintains the machines, and on a preliminary plan of maintenance that did not implement to needs of the operation. This information is the very important in the identification of failure modes and effects. To implement the guidelines of the RCM, is necessary make decision tables and matrices risk to clearly identify to which teams should focus resources and efforts

In This monograph is possible see that with information organized and implemented guidelines management, the company may find big goals and this document may be the based for do better investigations.

* Specialization monograph

**Physical – Mechanical Faculty. Maintenance Management Specialization. Director: Jairo Alonso Bohorquez

INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento y desarrollo de las industrias, el auge de maquinaria automatizada e innovadora, la producción acelerada, donde la calidad y la cantidad de producción son determinantes en el mantenimiento e introducción de las empresas en nuevos mercados, se hace importante que las compañías se fortalezcan y puedan dar respuesta a todas las necesidades que el nuevo mercado impone, haciendo planificaciones eficaces para afrontar los retos de una competencia agresiva y de economía variable.

El mantenimiento es un factor fundamental en toda industria si se quiere permanecer vigente en el mercado, realizando producción de calidad y en cantidad. El presente proyecto se basa en la aplicación de la metodología de ingeniería de confiabilidad para una propuesta de un plan de mantenimiento centrado RCM.

Esta es una empresa dedicada a la perforación minera, realiza operaciones en el departamento de Antioquia, actualmente no cuenta con un departamento dedicado exclusivamente a mantenimiento y no existe un control efectivo de inventarios de partes de equipos, repuestos, herramientas y suministros.

En este proyecto se aplican lineamientos del área de mantenimiento en lo que refiere a la implementación de métodos RCM en equipos de perforación minera, teniendo en cuenta las normas técnicas que aplican para este proceso. Se realizara un diagnóstico del contexto operacional, se realizara un CMD¹ actual, y se hallara criticidad de los equipos, para generar posteriormente un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad.

¹ CMD – Siglas para Confiabilidad-Disponibilidad y Mantenibilidad.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DIAGNÓSTICO

La empresa contratante no cuenta con muchos años de experiencia en el negocio de la minería y se dedica a la perforación minera; inició operaciones, con equipos nuevos el 30 de enero de 2012, en el municipio de Guadalupe, Antioquia. La empresa cuenta con equipos de perforación minera ubicados en Antioquia, Sur de Bolívar, entre otros (ver Tabla 1), cuenta además con un taller de metalmecánica en el barrio Ricaurte en la ciudad de Bogotá, en donde posee equipos de mecanizado y donde también se encuentra su sede administrativa.

El conjunto de equipos con los que cuenta la empresa Contratante para la perforación en Antioquia son:

Tabla 1. Equipos de la empresa.

DESCRIPCION	CANTIDAD
Motor Diésel Kubota	3
Bomba Sauer Danfoss	3
Sistema Hidráulico	1
Intercambiador de calor	1
Motor de Rotación	1
Foot Clamp	1
Winche	1
Mezclador de Lodos	1
Bomba hidráulica FMC	2
Panel de control	1
Tanques de aditivos	1
Moto Bomba Honda	1
Motor diésel DEK F400	1
Generador	1

Fuente. Gerencia comercial Empresa Contratante. **Procesamiento de la información:** Autoría del proyecto.

El trabajo de esta empresa está encaminado a la perforación para la posterior extracción de muestras de oro, para esto se requiere de los equipos anteriormente mencionados, pero en el transcurso de las operaciones algunos de estos ya han presentado fallas técnicas.

Algunos de los problemas presentados por la empresa contratante, son ilustrados en la figura 1:

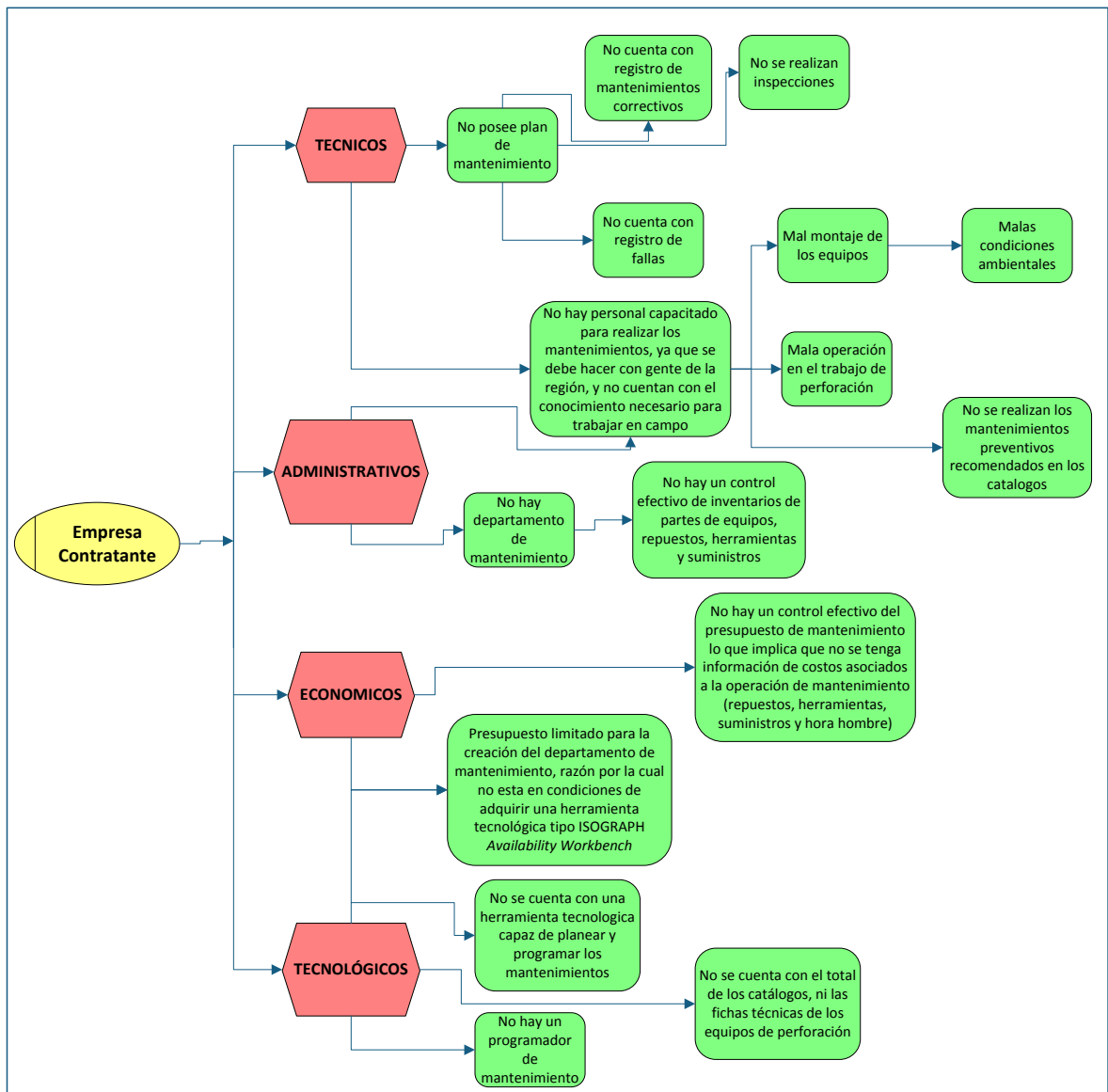


Figura 1. Fallas presentadas en la empresa contratante

La empresa contratante cuenta con un número considerable de fallas y problemas en sus equipos, todos ellos a nivel técnico, tecnológico, económico y administrativo.

A nivel Técnico, la empresa tiene un avance en los planes de mantenimiento, pero no se han aplicado a la realidad de la operación de sus equipos de perforación, no

se han realizado correctamente los registros de fallas ni de mantenimientos correctivos, y tampoco se realizan las inspecciones correspondientes a los equipos.

Sumado a esto, se puede clasificar otro problema en la empresa asociado a causas técnicas y administrativas, y es la falta de personal capacitado para realizar los mantenimientos, ya que se debe hacer con gente de la región, y no cuenta con el conocimiento necesario para trabajar en campo. Igualmente se realizó un mal montaje de los equipos y se encuentran llevando a cabo una mala operación en el trabajo de perforación, al no realizar las inspecciones ni los mantenimientos preventivos recomendados en los catálogos.

A nivel administrativo, la empresa contratante no cuenta con un departamento de mantenimiento ya que se encuentra en proceso de construcción de todas las áreas. En este momento en la empresa no existe un control efectivo de inventarios de partes de equipos, repuestos, herramientas y suministros.

A nivel económico, en la empresa no hay un control efectivo del presupuesto de mantenimiento, lo que implica que no se tenga información de costos asociados a la operación de mantenimiento (repuestos, herramientas, suministros y hora hombre).

Otros problemas de la empresa se pueden clasificar a nivel económico y tecnológico, como lo son que la empresa cuenta con un presupuesto limitado para la creación del departamento de mantenimiento, razón por la cual no posee una herramienta tecnológica capaz de planear y programar los mantenimientos.

Finalmente, a nivel tecnológico, la empresa no cuenta con la totalidad de los catálogos ni las fichas técnicas de todos los equipos, y tampoco cuenta con un programador de mantenimiento.

En el transcurso de tiempo de operación ya se han presentado fallas técnicas en la mayoría de los equipos, ocasionados por mala operación por parte de los operarios y por estar operando bajo malas condiciones ambientales, debido a altas temperaturas, lo cual ocasiona recalentamiento en sus componentes.

Hasta el momento, las mayoría de las fallas presentadas se han dado en la bomba de suministro de agua al taladro (ver Figura 2) y en los motores diésel (Ver Figura 3).



Figura 2. Bomba de suministro de agua (Fuera de servicio).
Fuente. Departamento de operaciones.



Figura 3. Motor diésel (Fallas por temperatura).
Fuente. Departamento de operaciones.

La bomba de agua dejó de operar por mala lubricación y un mal montaje en campo, lo que ocasionó daños en los empaques e hizo que la bomba saliera de funcionamiento. Y los motores diésel presentan una falla recurrente por trabajar a temperaturas que superan las condiciones técnicas de operación definidas por el fabricante, dado que cuando los niveles de temperatura aumentan, los motores se recalientan, se encienden los testigos y uno de los cuatro motores que se encuentran en operación se apaga, cuando esto sucede los operarios refrigeran los motores regando agua sobre estos, lo que va a generar daños más graves a largo plazo (Ver tabla 2).

Tabla 2. Fallas técnicas presentadas en la empresa.

FALLAS TECNICAS			
EQUIPO	FALLA	FRECUENCIA DE LAS FALLAS	HORAS PARADAS
MOTOR KUBOTA	Recalentamiento por mala instalacion y mala ventilacion	cada 22 horas	1 hora/dia
BOMBA DE SUMINISTRO FMC	Falla por mala instalacion de cilindros y mala lubricacion	Al mes de uso	8 Horas

1.2 PROBLEMA

El problema que asume el presente proyecto, es dar soluciones que respondan a las necesidades presentadas por la empresa Contratante. Se propone trabajar bajo una metodología de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), que permite la creación de formatos de listas de chequeo, Ordenes de Trabajo e Históricos de falla, para recolectar información y empezar a trabajar sobre lo que se ha hecho con los equipos de perforación.

Además, el plan de mantenimiento incorporará el trabajo bajo un CBM (Monitoreo Bajo Condición) con pruebas de Termografía, Vibraciones y Tintas Penetrantes, adicionalmente, capacitar por sesiones, al personal encargado de planear los mantenimientos, bajo el modelo de plan de mantenimiento propuesto.

Finalmente, se desea realizar un análisis de la información recopilada, por medio de un análisis RAM/CMD, lo que permite pronosticar para un período determinado de tiempo la disponibilidad y el factor de servicio en el proceso de perforación, basado en la configuración, en la confiabilidad de sus componentes y en la filosofía de mantenimiento.

2. JUSTIFICACIÓN

La visión de negocio de la empresa “contratante” es el aprovechamiento de recursos minerales mediante la perforación y posterior extracción de oro. Desde sus Inicios, las operaciones las realizó con equipos y maquinaria nueva, ubicadas en campo a lo largo de Antioquia, Sur de Bolívar y entre otras partes de Colombia. En el transcurso de las operaciones y con el pasar del tiempo, los equipos ya han presentado reiteradas fallas técnicas y se está convertido en un gran problema el estar dedicados a realizar reparaciones no programadas, ya que el acceso a los sitios de trabajo son limitados y las pérdidas por paradas son realmente grandes comparadas con los costos del mantenimiento. La nueva directriz de la gerencia es gestionar nuevos planes y programas de mantenimiento implementando metodologías que den como resultado bajas frecuencias de fallas de los equipos y con ello menos pérdidas por paradas no programadas.

El presente trabajo se quiere realizar con el fin de dar solución a los problemas presentados por la empresa “contratante”, al no contar con un plan de mantenimiento eficaz, ni tener conocimiento de los gastos y costos del mismo, para sus taladros y equipos mineros. Con el fin de dar respuesta a estos requerimientos surge la idea de diseñar y proponer un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), minimizando costos de operación y costos de parada por reparación.

Todos los problemas nombrados, son los que atañen la gestión de mantenimiento; y muestran a la gerencia indicadores de gestión poco esperados, afectando la calidad del proceso y del producto final.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un propuesta de plan de mantenimiento a la empresa contratante, basado en ingeniería de confiabilidad (RCM) para la operación de un taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill) en Guadalupe (Antioquia)

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio de condiciones iniciales de operación, efectuando un diagnóstico del proceso de perforación.
- Definir criticidad de los equipos y el CMD de la ingeniería básica, con el fin de determinar las condiciones iniciales.
- Diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad operacional a equipos críticos, apoyado en estrategias de CBM (Monitoreo Bajo Condición).
- Capacitar al personal encargado de la operación y el mantenimiento de los equipos a cerca de la metodología RCM, procedimientos y registro de la información
- Proponer procedimientos de mejora continua para las actividades relacionadas con el nuevo plan de mantenimiento.

4. DELIMITACIÓN

Con este proyecto se presentara una propuesta del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la empresa Contratante; la implementación, desarrollo y resultado parcial y final será decisión de la administración de la empresa, de acuerdo a lo desarrollado por parte del área de mantenimiento de la misma.

Para el caso de la implementación de este plan estratégico de mantenimiento, se aclara que la culminación del mismo se dará cuando la empresa Contratante sea autónomo con la programación y ejecución del plan de mantenimiento para los equipos de perforación minera con los que cuenta, es decir, que los encargados de reprogramación de mantenimiento sean los mismos trabajadores responsables de la empresa. Para el tema relacionado con el documento de monografía, se dará por completada con la elaboración de la propuesta del pan de mantenimiento basada en ingeniería de confiabilidad, el documento final no dependerá de la aprobación o rechazo por parte de la empresa contratante.

Los recursos y equipos utilizados para este proyecto serán aportados por la empresa contratante, así como la documentación referente a reportes de fallas y variables operativas, también será entregada información que puedan aportar los colaboradores de mayor experiencia de la empresa.

En común acuerdo con la empresa contratante, se tiene libertad de manejo de información referente a los equipos, manuales, procesos y resultados. Bajo la condición de manejar confidencialidad el nombre de la empresa (ya que el hecho de estar implementando estrategias de mantenimiento después de tan avanzado tiempo de operación, puede repercutir en la imagen de la misma)

5. MARCO TEORICO

5.1 MANTENIMIENTO

El mantenimiento es un servicio que agrupa una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles e instalaciones.²

Ventajas de implementar un plan de mantenimiento en la industria;³

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar, las fallas sobre los bienes precitados.
- Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles o para de máquinas.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Balancear el costo de mantenimiento con el correspondiente al lucro cesante.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

La necesidad de organizar adecuadamente el Mantenimiento con la introducción de programas de mantenimiento preventivo y el control del mantenimiento correctivo se da con el objetivo de optimizar la disponibilidad de los equipos productores.

Posteriormente, la necesidad de minimizar los costos propios de mantenimiento acentúa la necesidad de organización mediante la introducción de controles adecuados de costos.

Más recientemente, la exigencia a que la industria está sometida de optimizar todos sus aspectos, tanto de costos, como de calidad, como de cambio rápido de producto, conduce a la necesidad de analizar de forma sistemática las mejoras

² Resumen. [en línea]. [consultado el 06 de febrero de 2015]. Disponible en <http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_44_176_10_291.pdf >.

³ Mantenimiento de plantas industriales. [en línea]. [consultado el 06 de febrero de 2015]. Disponible en <http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/administraciondelaproduccionelementos/default5.asp >.

que puedan ser introducidas en la gestión, tanto técnica como económica del mantenimiento, lo que ha llevado a la necesidad de manejar desde el mantenimiento una gran cantidad de información.⁴

La misión principal de mantenimiento es garantizar que el parque industrial esté con la máxima disponibilidad cuando lo requiera el usuario, durante el tiempo solicitado para operar, con las velocidades requeridas, en las condiciones técnicas y tecnológicas exigidas previamente.⁵

5.1.1 Objetivos del mantenimiento

En el caso del mantenimiento su organización e información debe estar encaminada a la permanente consecución de los siguientes objetivos

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- Disminución de los costos de mantenimiento.
- Optimización de los recursos humanos.
- Maximización de la vida de la máquina.

5.1.2 Tipos de mantenimiento

Actualmente existen cuatro tipos de mantenimiento, los cuales están en función del momento o tiempo en el cual se realiza la operación, el objetivo particular para el cual son puestos en marcha, y en función a los recursos utilizados para dicha labor.

- Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo o también llamado “mantenimiento reactivo”, es el conjunto de actividades de reparación y sustitución de elementos deteriorados por repuestos que se realiza cuando aparece el fallo. Este sistema resulta aplicable en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o en los que es

⁴ Criterios para la información de la gestión del mantenimiento. [en línea]. [consultado el 06 de febrero de 2015]. Disponible en <
http://www.mantenimientoplanificado.com/articulos_software_mantenimiento_archivos/CRITERIOS%20PARA%20LA%20INFORMACION%20DE%20LA%20GESTI%C3%93N%20DEL%20MANTENIMIENTO.pdf>.

⁵ MORA GUTIERREZ, Alberto. *Mantenimiento, planeación, ejecución y control*. Colombia. 2009.

imposible predecir los fallos y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la seguridad.⁶

- Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo o también conocido como “mantenimiento planificado”, se diseñó con la idea de prever y anticiparse a los fallos de las máquinas y equipos, utilizando para ello una serie de datos sobre los distintos sistemas y sub-sistemas e inclusive partes. Bajo esa premisa se diseña el programa con frecuencias calendario o uso del equipo, para realizar cambios de sub-ensambles, cambio de partes, reparaciones, ajustes, cambios de aceite y lubricantes, etc., a maquinaria, equipos e instalaciones y que se considera importante realizar para evitar fallos.

Es importante trazar la estructura del diseño incluyendo en ello las componentes de Disponibilidad, Confiabilidad, Mantenibilidad, y un plan que fortalezca la capacidad de gestión de cada uno de los diversos estratos organizativos y empleados sin importar su localización geográfica, ubicando las responsabilidades para asegurar el cumplimiento.⁷

Ventajas del mantenimiento preventivo

- ✓ Reduce las fallas y tiempos muertos (incrementa la disponibilidad de equipos e instalaciones), esto posibilita una planificación de los trabajos del departamento de mantenimiento, así como previsión de los recambios o medios necesarios.
- ✓ Incrementa la vida de los equipos e instalaciones.
- ✓ Se concreta de mutuo acuerdo el mejor momento para realizar el paro de las instalaciones con producción.

⁶ Mantenimiento industrial. [en línea]. [consultado el 06 de febrero de 2015]. Disponible en <<http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/teoria-de-maquinas/lecturas/MantenimientoIndustrial.pdf>>.

⁷ Mantenimiento Preventivo. [en línea]. [consultado el 06 de febrero de 2015]. Disponible en <<http://www.mantenimientoplanificado.com/j/%20guadalupe%20articulos/MANTENIMIENTO%20PREVENTIVO%20parte%201.pdf>>.

- ✓ Disminución de existencias en almacén y, por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo y se puede tener un buen stock en cuanto repuestos auxiliares.
- ✓ Mayor duración, de los equipos e instalaciones lo que genera ahorro en los costos de compra de maquinaria nueva.

*Fases del Mantenimiento Preventivo*⁸

- Inventario técnico, con manuales, planos, características de cada equipo.
- Procedimientos técnicos, listados de trabajos a efectuar periódicamente.
- Control de frecuencias, indicación exacta de la fecha a efectuar el trabajo.
- Registro de reparaciones, repuestos y costos que ayuden a planificar.

- Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo se puede definir como la supervisión periódica de los equipos, centrada en el diagnóstico de sus posibles fallos, con el fin de establecer tendencias y un mantenimiento planificado. Se basa por lo tanto en la condición de los equipos, ya que se establecen intervalos de inspección mediante los cuales se determina la necesidad y el periodo de reparación.⁹

El principio tecnológico del mantenimiento predictivo consiste en la aplicación de algoritmos matemáticos agregados a las operaciones de diagnóstico, que juntos pueden brindar información referente a las condiciones del equipo. El objetivo de este mantenimiento es disminuir las paradas por mantenimientos preventivos, y de esta manera minimizar los costos por mantenimiento y por no producción, es decir, disminuir los tiempos improductivos.

⁸ GONZALEZ FERNANDEZ, Francisco Javier. *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado 2° Edición*. FC Editorial. 2005.

⁹ Implantación de un programa de inspección de termografía en centrales de ciclo combinado. [en línea]. [consultado el 06 de febrero de 2015]. Disponible en <<http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resúmenes/466e379adde8a.pdf>>.

Técnicas frecuentemente utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo:

- Analizadores de Fourier (para análisis de vibraciones)
- Boroscopias (para poder ver lugares ocultos)
- Ensayos no destructivos (a través de líquidos penetrantes, ultrasonido, radiografías, partículas magnéticas, entre otros)
- Análisis de aceites lubricantes
- Termovisión (detección de condiciones a través del calor desplegado)
- Medición de parámetros de operación (viscosidad, voltaje, corriente, potencia, caudal, presión, temperatura, etc.), etc.

Ventajas del mantenimiento predictivo¹⁰

- ✓ Máxima disponibilidad del equipo
- ✓ Algunas de las técnicas son económicas
- ✓ Permite detener la maquina antes de que sufra un daño severo
- ✓ La producción puede modificarse para extender la vida del equipo o maquinaria.
- ✓ Permite planificar el mantenimiento
- ✓ La intervención es organizada
- ✓ Los repuestos pueden ser reparados
- ✓ Permite determinar el origen del fallo o avería
- ✓ Se logra una minimización de costos a medio y largo plazo; y se aumenta el beneficio obtenido

Desventajas del mantenimiento predictivo

- ✓ Elevado costo inicial para su implantación, aunque a largo plazo se da una disminución y minimización de costos y se logra una maximización de beneficios, usando este tipo de mantenimiento.

¹⁰Mantenimiento predictivo de turbinas de gas. [en línea]. [consultado el 06 de febrero de 2015]. Disponible en http://e-archivo.uc3m.es:8080/bitstream/handle/10016/13295/PFC_Daniel_Huertos_Castellanos.pdf?sequence=1.

- ✓ Se tiene la necesidad de que haya técnicos y analistas que estén bien formados para llevar a cabo las medidas y los análisis de éstas usando las técnicas predictivas necesarias.

- Mantenimiento Proactivo

El mantenimiento proactivo exige contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el Plan Estratégico de la organización. Este mantenimiento a su vez debe brindar indicadores (informes) hacia la gerencia, respecto del progreso de las actividades, los logros, aciertos, y también errores.¹¹

La longevidad de los componentes del sistema depende de que los parámetros de causas de falla sean mantenidos dentro de límites aceptables, utilizando una práctica de “detección y corrección” de las desviaciones según el programa de mantenimiento proactivo. Límites aceptables, significa que los parámetros de causas de falla están dentro del rango de severidad operacional que conducirá a una vida aceptable del componente en servicio.

Principios del mantenimiento proactivo

- Mejorar los procedimientos antes de que causen fallas.
- Evitar paradas del equipo para mantenimiento correctivo.
- Aumentar el intervalo entre intervalos para mantenimiento preventivo.

5.1.3 Niveles de Mantenimiento

En el transcurso del tiempo se han definido prioridades en la gestión y ejecución del mantenimiento. Para establecer estas prelacións se debe pensar en los requerimientos o métodos que se deben cumplir para realizar estos procedimientos. Las prioridades del mantenimiento se definen según el tiempo de ejecución de la intervención, forma de inspección, cambio de piezas y requerimientos del mantenimiento¹².

¹¹ Mantenimiento predictivo de turbinas de gas. [en línea]. [consultado el 06 de febrero de 2015]. Disponible en http://e-archivo.uc3m.es:8080/bitstream/handle/10016/13295/PFC_Daniel_Huertos_Castellanos.pdf?sequence=1.

¹² GOMEZ LOZANO, Iván Darío. *Introducción al mantenimiento estratégico*. Ed. Universidad Libre. Colombia, 2006. Páginas 26, 27.

- **Mantenimiento Nivel 1**

El mantenimiento de nivel 1 se basa en llevar al equipo a una etapa de inspección, donde se verifican los datos principales de los equipos dados por el fabricante, tales como: marca, capacidad, voltaje, amperaje, potencia, r.p.m., y a la vez se realiza un estudio visual de instalaciones eléctricas, hidráulicas, neumáticas, donde se detectan fugas u otras anomalías. De la misma manera se determinan las condiciones de operación del equipo donde se analizan las condiciones a las cuales el equipo está expuesto como humedad, suspensión de sólidos, líquidos corrosivos y otros. La inspección de nivel 1 puede ser realizada durante la operación del equipo.

- **Mantenimiento Nivel 2**

El mantenimiento de nivel 2 se lleva a cabo realizando una inspección de mantenimiento en el cual se ejecuta, a diferencia del mantenimiento de nivel 1, un contacto directo con el equipo, donde se ejecutan ajustes, calibraciones, mediciones y limpieza, este mantenimiento se realiza convencionalmente después de haber realizado el mantenimiento de nivel 1. El propósito de esta intervención es poner a punto el equipo para que este opere a su máxima capacidad según características técnicas establecidas por el fabricante.

- **Mantenimiento Nivel 3**

En el mantenimiento de nivel 3 se realizan cambios de piezas y/o fluidos de operación, es decir: piezas internas, externas, lubricantes, refrigerantes y otros. Para la ejecución de este nivel se requieren en comparación con los otros niveles de mantenimiento largos periodos de paradas de los equipos. Después de haber realizado el cambio de piezas y fluidos de operación se requiere una calibración total del equipo, ya que sus componentes nuevos requieren un ajuste para que el equipo afine su funcionamiento y rendimiento a la eficiencia de diseño.

5.1.4 Tendencias de la gestión del mantenimiento.

A través de los años se han realizado cambios importantes en la gestión del mantenimiento, a continuación se evidencian pequeñas diferencias, pero que en esencia mantienen lo que se ha expuesto para los mantenimientos denominados de primera, segunda y tercera generación. Se ha tenido la necesidad de integrar todos los nuevos conceptos de mantenimiento que en los últimos decenios de

siglo XX se han planteado de forma excesivamente aislada. Así pues, los nuevos conceptos de RCM (Reliability Centered Maintenance), son nociones filosóficas o “mantecnologías” organizativas que pueden ser y son válidas, pero solo para un determinado aspecto en el mantenimiento.¹³

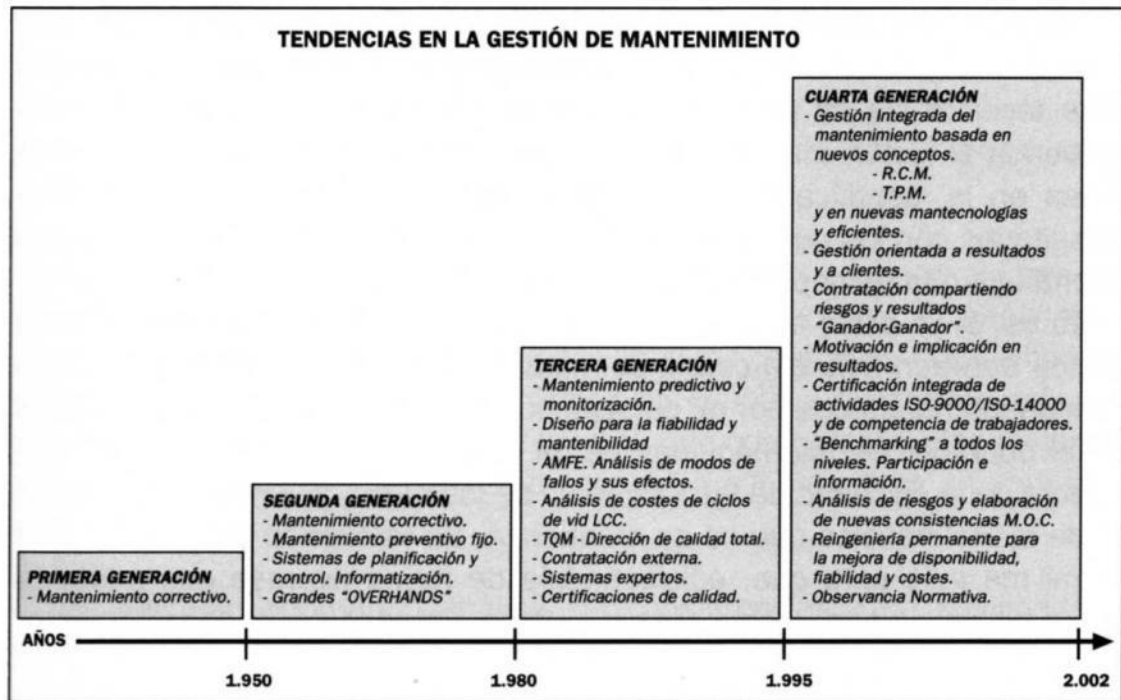


Figura 4. Tendencias en la gestión de mantenimiento.

Fuente. Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado, Francisco Javier González Fernández, 2005.

5.1.5 Costos asociados a Mantenimiento

El mantenimiento es un elemento necesario en la conformación de cualquier proceso productivo, el cual genera un costo que se reflejara linealmente en los costos de producción del producto, es por esta razón que la racionalización objetiva de los mismos podrá permitir la ubicación de una empresa dentro de un marco competitivo. Con el pasar del tiempo el costo de mantenimiento ha sido visto como un mal necesario para la industria dado que siempre se había

¹³ GONZALEZ FERNANDEZ, Francisco Javier. *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado 2º Edición*. FC Editorial. 2005, pág. 37.

manejado como una herramienta de reposición global sin la consideración de los costos de oportunidad de la inversión, adicionalmente no se cuantificaba una necesidad real del mismo en cuanto al momento de su ejecución, puede llegar a una magnitud adecuada con respecto al alcance del trabajo y de los requerimientos de calidad que permitan asegurar la acción de mantenimiento por el periodo operacional establecido en los análisis.

A continuación se enumeran algunos costos asociados a Mantenimiento¹⁴:

- Mano de Obra: Incluye fuerza propia y contratada.

- Materiales: Consumibles y Componentes de Reposición.

- Equipos: Equipos empleados en forma directa en la ejecución de la actividad de mantenimiento.

- Costos Indirectos: Artículos del personal soporte (supervisorio, gerencial y administrativo) y equipos suplementarios para garantizar la logística de ejecución (transporte, comunicación, facilidades).

- Tiempo de no Disponibilidad Operacional: Cualquier ingreso perdido por ausencia de producción o penalizaciones por riesgo mientras se realiza el trabajo de mantenimiento.

5.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

“Filosofía de gestión del mantenimiento, en el cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originaran los modos de fallos de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones”¹⁵.

¹⁴ Mantenimiento y seguridad industrial. [en línea]. [consultado el 06 de febrero de 2015]. Disponible en < <http://attachments.wetpaintserv.us/aHg4jFps1FFUFN9ffK1uw==601662>>.

¹⁵ MOUBRAY, Jhon. *RCM II: Reliability Centered Maintenance*. Ed. Industrial Press Inc. New York – USA. 1991.

“El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) es un método para establecer el plan de mantenimiento el cual permitirá alcanzar en forma eficiente y efectiva los requerimientos de seguridad y los niveles de disponibilidad de los equipos e instalaciones, y está dirigido al mejoramiento de la seguridad global, la disponibilidad y la economía de la operación.”¹⁶

5.2.1 Principios más importantes de la metodología del RCM

- Buscar la preservación de las funciones.
- Priorizar técnicas predictivas y de condición.
- Enfocarse en evitar, reducir o eliminar las consecuencias.
- Orientar los esfuerzos a construir defensas costo-efectivas razonables contra fallas, permitiendo algunas fallas.
- Hacer énfasis en la búsqueda de la extensión de la vida útil del equipo.
- Resaltar el hecho de que los equipos modernos tienen múltiples formas de probabilidad de falla.
- Requerir de la disponibilidad de personas e información que permita identificar los modos de falla de los equipos y sus consecuencias.
- Incluir el tipo de mantenimiento detectivo o búsqueda de fallas complementario a los ya conocidos, como son el preventivo, predictivo y correctivo.
- Resaltar el cuidado de la Seguridad, el Medio Ambiente, tanto o más de los costos y cualquier otro factor empresarial crítico.
- Desarrollar planes teniendo en cuenta condiciones ambientales, requerimientos de clientes y regulatorios, condiciones operativas y de mantenibilidad.

¹⁶ ORTIZ RUIZ CONSULTORES. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Recuperado el 06 de febrero de 2015, de http://ortizruiz.com/OrtRuiz/Mantenimiento_Centrado_en_Confiabilidad.html.

- Definir las tareas de mantenimiento con base en la visión multidisciplinaria de todos aquellos que tienen una interacción directa con los equipos y el proceso productivo.
- La formulación de las políticas de mantenimiento deben darse por parte de un equipo multidisciplinario de personas, cercano a los equipos.
- Los fabricantes de los equipos pueden ser partícipes en la construcción del plan de mantenimiento y en la realización de los talleres de RCM pero en forma limitada.

5.2.2 Las siete preguntas básicas del RCM

La metodología RCM, propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siguientes siete preguntas, ver Figura 5.

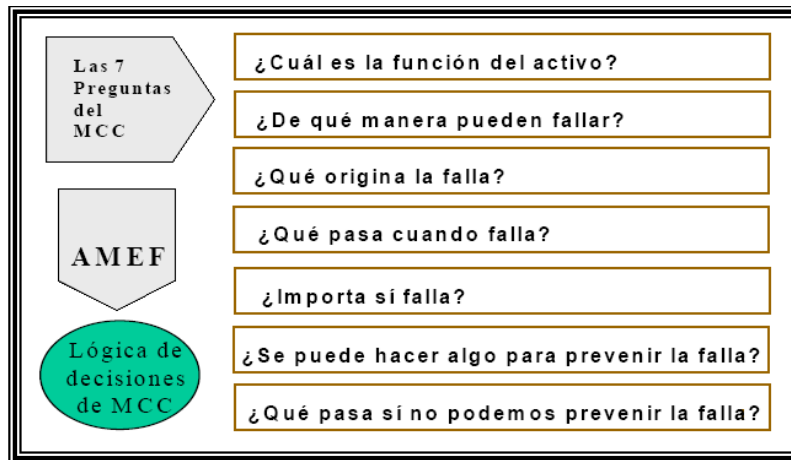


Figura 5. Siete preguntas del RCM.

Fuente. Implantación del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) en un sistema de producción. Carlos Parra, Universidad de Sevilla, 2005.

Un análisis rápido de las preguntas ratifica el concepto de que son de un proceso lógico, de sentido común y que en la mayoría de los casos no requiere de alta tecnología para encontrar la respuesta. Las respuestas más efectivas y prácticas estarán soportadas por el conocimiento que se tenga del equipo o sistema analizado. Requieren de un muy buen manejo de los datos resultante del proceso y de la estructuración de cada respuesta, en particular, para las dos últimas ya que

corresponden a las tareas de mantenimiento que luego irán a conformar el plan e incluirse en el sistema de información de mantenimiento.

5.2.3 Proceso de implementación del RCM

A continuación se presenta el esquema propuesto para implementar el RCM: El éxito del proceso de implementación del RCM, dependerá básicamente del desempeño del equipo natural de trabajo, el cual se encargara de responder las siete preguntas básicas del RCM, siguiendo la Figura 6.

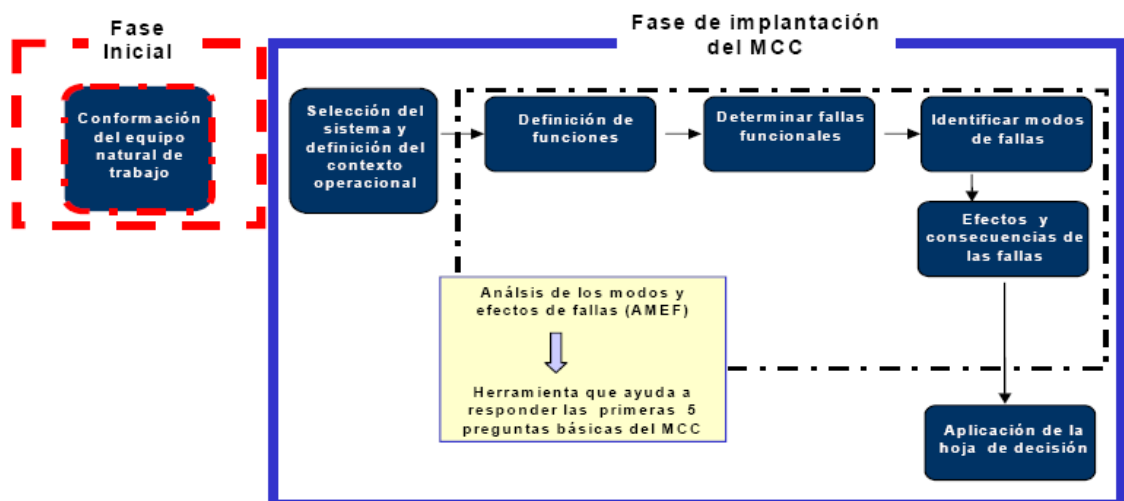


Figura 6. Flujograma de implantación del RCM.

Fuente. Implantación del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) en un sistema de producción. Carlos Parra, Universidad de Sevilla, 2005.

5.2.4 Jerarquía de equipos y fronteras

En esta metodología se requiere definir con precisión el elemento objeto de análisis. ¿Por dónde, entonces, comenzar la identificación del objeto de análisis? La respuesta es: La taxonomía, definida según la Real Academia Española de la Lengua, es la “herramienta que nos ayuda a visualizar mejor nuestras plantas, sistemas y equipos para concretar el objeto de análisis”. La norma ISO 14224 la define como la “Clasificación sistemática de ítems dentro de un grupo genérico

basado en factores posiblemente comunes a todos los ítems”. Por ello, debemos empezar desde lo macro de la planta y llegar hasta el nivel más bajo que podamos. Esto servirá para determinar los elementos que entregan “al menos una función principal”.¹⁷

Niveles más comunes y sus nombres:

- Planta
- Sistema
- Subsistema
- Componente
- Repuesto

En la figura 7 se muestra una ilustración del esquema jerárquico en la metodología RCM.

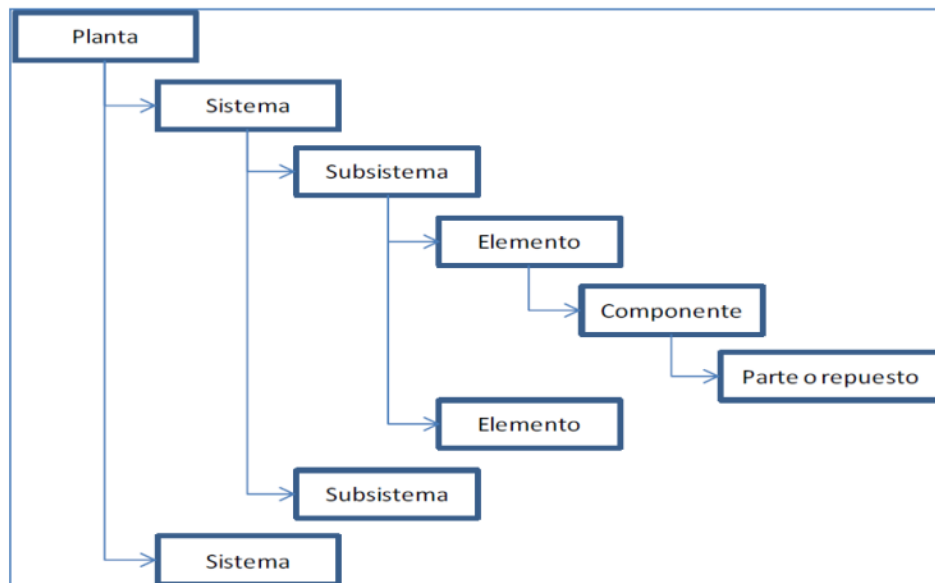


Figura 7. Diagrama jerárquico de equipos.

Fuente. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM, guía del curso diplomado en gestión de mantenimiento ACIEM, 2007.

¹⁷ DUARTE HOLGUIN, Juan Carlos. *Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM guía del curso diplomado en gestión de mantenimiento*. ACIEM, 2011.

Definido el elemento de análisis para RCM, el siguiente paso es la delimitación de las fronteras y lo que a través de esas fronteras fluye como por ejemplo: energía, líquidos, sustancias, señales, etc.

Ante ambientes corrosivos como los marinos, una frontera puede ser la misma superficie del equipo que entra en contacto con el aire o las aguas circundantes. En esos casos, aunque no se nombren, deben tenerse en cuenta porque esas condiciones implicaran, en muchas ocasiones, modos de falla por las cuales se pierde la función.

5.3 MÉTODO DE EVALUACIÓN DE CRITICIDAD

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de programación de tareas y asignación de recursos. El análisis de criticidad permite identificar los equipos que requieren mayor atención por parte de las áreas de mantenimiento y producción.

Los resultados del análisis de criticidad sirven para:

- Priorizar ordenes de trabajo de mantenimiento.
- Jerarquizar las inversiones según su importancia.
- Plantear el manejo de las actividades de mantenimiento.
- Facilitar la gestión de materiales y repuestos.
- Enfocar las estrategias de mantenimiento hacia los sistemas y equipos críticos.

Para realizar el análisis de criticidad se debe:

- Identificar los equipos.
- Definir el nivel de detalle y el objetivo del análisis.
- Recolectar información de los equipos.
- Consultar al personal relacionado con los equipos.

El análisis de criticidad genera resultados semicuantitativos, basados en la teoría del riesgo:

$$\begin{aligned} \textit{Criticidad} &= \textit{Frecuencia} \times \textit{Consecuencia} \\ \textit{Frecuencia} &= \textit{N}^{\circ} \textit{ de fallas en un tiempo determinado} \\ \textit{Consecuencia} &= [(\textit{Impacto Operacional} \times \textit{Flexibilidad}) + \textit{Costos de mantenimiento} \\ &\quad + \textit{Impacto SAH}] \end{aligned}$$

5.3.1 Criterios de evaluación de criticidad

A continuación se presentan cada uno de los ítems necesarios para evaluar la criticidad operacional de acuerdo al nivel de detalle seleccionado.

Frecuencia de fallas: La frecuencia de fallas como su nombre lo indica es la cantidad de fallas que se presentan en un periodo determinado de tiempo.

Tabla 3. Frecuencia de fallas.

Nivel	Criterio (fallas/año)	Ponderación
Pobre	Mayor a 4	4
Promedio	De 2 a 4	3
Buena	De 1 a 2	2
Excelente	Menos de 1	1

Fuente. Implantación del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) en un sistema de producción. Carlos Parra, Universidad de Sevilla, 2005.

Impacto operacional: El impacto operacional se refiere a las consecuencias que ocasiona una falla la operación del equipo.

Tabla 4. Impacto operacional.

Criterio (fallas/año)	Ponderación
Parada del equipo (Equipo inactivo)	10
Parada de algún subsistema que no implica la parada de otros	7 - 9
Impacta en niveles de producción o calidad	5 - 6
Repercute en costos operacionales adicionales asociados a disponibilidad	2 - 4
No genera ningún efecto significativo sobre la producción del sistema	1

Fuente. Implantación del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) en un sistema de producción. Carlos Parra, Universidad de Sevilla, 2005.

Flexibilidad operacional: La flexibilidad operacional se refiere a la alternativa que se tiene para reanudar la función del activo al ocurrir una falla.

Tabla 5. Flexibilidad operacional (Tiempo medio por reparación).

Flexibilidad Operacional	Ponderación
No hay operación ni repuesto disponible	4
El equipo puede seguir funcionando	2 – 3
Existe otro igual o disponible fuera del sistema (stand by)	1

Fuente. Implantación del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) en un sistema de producción. Carlos Parra, Universidad de Sevilla, 2005.

Costo de mantenimiento: Forma de establecer económicamente el impacto en cuanto al costo de mantenimiento generado como consecuencia de la falla.

Tabla 6. Costo de mantenimiento.

Criterio (en millones de pesos)	Ponderación
Más de 2 millones y más de 1 día de parada	2
Menos de 2 millones y más de 1 día de parada	1

Fuente. Implantación del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) en un sistema de producción. Carlos Parra, Universidad de Sevilla, 2005.

Impacto de seguridad, ambiente e higiene: Evalúa el impacto ambiental que pueda ocasionar la falla en diferentes aspectos: Seguridad Industrial, Impacto Ambiental e Higiene del sistema productivo.

Tabla 7. Impacto de seguridad, medio ambiente e higiene.

Criterio	Ponderación
Accidente catastrófico	8
Accidente mayor serio	6 - 7
Accidente menor e incidente menor	4 - 5
Cuasi accidente o incidente menor	2 - 3
Desvió	1
No provoca ningún tipo de riesgo	0

Fuente. Implantación del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) en un sistema de producción. Carlos Parra, Universidad de Sevilla, 2005.

5.3.2 Evaluación de criticidad

Estos factores son evaluados por el grupo multidisciplinario (operaciones, mantenimiento, CSMS, compras), una vez sean evaluados todos los criterios de la evaluación se toman los valores de frecuencia y de consecuencia y se exponen en la matriz de criticidad (ver Figura 8), esta nos permite jerarquizar los sistemas en tres tareas.

- Área de sistema **no crítico (NC)**.
- Área de sistema de **semi crítico (SC)**.
- Área de sistemas **críticos (C)**.



Figura 8. Matriz de criticidad.

Fuente. Implantación del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) en un sistema de producción. Carlos Parra, Universidad de Sevilla, 2005.

5.4 ANÁLISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

El Análisis de Modos y Efectos de Fallas, AMEF, es un proceso ordenado para la identificación de las fallas de un producto, maquina, sistema o proceso, antes de que estas ocurran o en su defecto detectarlas. El AMEF puede ser considerado como un método analítico que tiene como objetivos principales: Identificar los modos por los cuales los sistemas pueden dejar de cumplir sus funciones (fallas funcionales), identificar las causas (modos de fallas) que provocan las fallas funcionales, evaluar los modos de fallas y las causas asociadas a ellas, determinar las consecuencias de las fallas en el desempeño del sistema e identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial.

Por lo anteriormente, se deduce que el objetivo principal del AMEF, es encontrar todas las formas o modos en los cuales puede fallar un activo dentro de la prestación de un servicio, e identificar las posibles consecuencias o efectos de fallo en función de tres criterios básicos para el RCM:

- Seguridad industrial
- Medio ambiente
- Operación

Para poder cumplir con este objetivo, los grupos de trabajo del RCM, deben realizar el AMEF cumpliendo con la siguiente secuencia:

- Explicar las funciones de los activos del área seleccionada y sus respectivos estándares de ejecución.
- Definir los fallos funcionales asociados a cada función del activo.
- Definir los modos de fallos asociados a cada fallo funcional.
- Establecer los efectos o las consecuencias asociadas a cada modo de fallo.

5.4.1 Pasos para la creación del AMEF

Este procedimiento se realiza únicamente a los equipos que dentro de la evaluación de criticidad se hayan evaluado como “críticos”, debido al costo y dedicación que se requiere por parte del recurso humano, recurso físico y tiempo necesario, este documento se diseña (ver Figura 8) en base a cuatro columnas básicas que son:

- Función estándar
- Falla funcional
- Modo de falla
- Efecto de falla

5.5 INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Para determinar los valores correspondientes a los indicadores, se dispone de fórmulas matemáticas y herramientas como software especializados. La información necesaria para elaborar el cálculo de éstos indicadores son en general los reportes mantenimiento correctivo realizado a los equipos, parámetros importantes como: tiempos operacionales, tiempos fuera de servicio y tiempos para reparar. Dicha información es la que nos va a proporcionar valores de confiabilidad, disponibilidad y Mantenibilidad para cada uno de ellos, a

continuación se presenta los modelos matemáticos para el cálculo de datos claves para hallar dichos índices.

Tiempo operacional (TO): Es el tiempo en el cual el activo se encuentra en condiciones operativas sin presentar falla, el tiempo promedio operacional (TPO) es la sumatoria de los tiempos operacional del equipo en un periodo de tiempo estimado, entre el número de fallas presentadas durante el mismo periodo, se calcula:

$$TPO = \sum_{i=1}^n \frac{TO_i}{\# \text{ de fallas}} \quad \text{Ec (1)}$$

Tiempo fuera de servicio (TFS): Es el tiempo en el cual el activo permanece en condiciones no operativas como consecuencia de una falla, el tiempo promedio fuera de servicio (TPFS) es la sumatoria de los tiempos fuera de servicio del equipo en un periodo estimado, entre el número de fallas presentadas en el mismo periodo, se calcula:

$$TPFS = \sum_{i=1}^n \frac{TFS_i}{\# \text{ de fallas}} \Rightarrow TPFS = TPPR + TPFC \quad \text{Ec (2)}$$

Tiempo entre fallas (TEF): Es el tiempo que transcurre entre el momento en el cual se presenta la falla 1 y la falla 2 ($TFS_1 + TO_2$), el tiempo promedio entre fallas (TPEF) es la sumatoria entre los tiempos entre fallas por un periodo estimado, entre el número de fallas presentadas en el mismo periodo, se calcula:

$$TPEF = \sum_{i=1}^n \frac{TEF_i}{\# \text{ de fallas}} \Rightarrow TPEF = TPO + TPFS \quad \text{Ec (3)}$$

Tiempo para reparar (TPR): Es el tiempo empleado para la reparación del equipo, sin contar el tiempo perdido por búsqueda de repuesto y logística, es decir, el tiempo efectivo utilizado en la reparación del equipo, el tiempo promedio para reparar (TPPR) es la sumatoria de todo el tiempo utilizado en el activo para su reparación en un tiempo determinado, entre el número de fallas que haya presentado en el mismo periodo, se calcula:

$$TPPR = \sum_{i=1}^n \frac{TPR_i}{\# \text{ de fallas}} \quad \text{Ec (4)}$$

Tiempo fuera de control (TFC): Es el tiempo perdido durante la búsqueda de un repuesto o de logística empleado para aportar a la solución de la reparación o de la corrección de la falla, el tiempo promedio fuera de control (TPFC) es la sumatoria de los tiempos fuera de control en un periodo determinado, entre el número de fallas presentado en el mismo periodo, se calcula:

$$TPFC = \sum_{i=1}^n \frac{TFCi}{\# \text{ de fallas}} \quad \text{Ec (5)}$$

5.6 INDICADORES BÁSICOS

Los mecanismos de control dentro de un proceso productivo al cual se desea aplicar la metodología del RCM se basa fundamentalmente en tres indicadores

- Confiabilidad R(t)
- Mantenibilidad M(t)
- Disponibilidad A

5.6.1 Confiabilidad (R (t))

La confiabilidad puede definirse como la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de operación determinadas en un periodo determinado.

La confiabilidad se relaciona básicamente con la cantidad de fallas y con el tiempo promedio operacional (TPO), de este modo, la confiabilidad de un equipo es inversamente proporcional a las fallas del mismo. Cuando en un equipo no se han presentado fallas, quiere decir que su confiabilidad es de 100% o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a 1.

5.6.1.1 Cálculo de confiabilidad según Weibull:

De forma práctica la aproximación de la expresión más utilizada para calcular la confiabilidad de un equipo mecánico o un componente mecánico, es la desarrollada a partir de la distribución de *Weibull*¹⁸:

a) Densidad de probabilidad f(t)

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \cdot e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta}} \text{ siendo } t \geq \gamma \quad \text{Ec (6)}$$

Dónde:

¹⁸ BALBIR S., Dhillon. *Engineering Reliability: New techniques and applications* [online]. New York – USA. 1981. [Citada 2012-04-20].

β : Parámetro de forma $\beta > 0$, (identifica el ciclo de vida de la máquina)

η : Parámetro de escala $\eta > 0$, es una constante, es el periodo de operación durante al menos el 63.2% de los equipos se espera que falle

γ : Parámetro de posición $-\infty < \gamma < \infty$

b) Función de repartición

$$F(t) = 1 - e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^\beta} \quad \text{Ec (7)}$$

La confiabilidad correspondiente es por lo tanto $R(t) = 1 - F(t)$

$$R(t) = e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^\beta} \quad \text{Ec (8)}$$

Observación para $\gamma = 0$ y $\beta = 1$, se vuelve a encontrar la distribución exponencial, caso particular de la ley de Weibull.

En este caso,

$$\lambda = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF} \quad \text{Ec (9)}$$

c) Tasa instantánea de fallo

$$\lambda = \frac{f(t)}{1-F(t)} \quad \text{Ec (10)}$$

$$\lambda = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^{\beta-1} \quad \text{Ec (11)}$$

Siendo;

$t \geq \gamma$.

$\beta > 0$.

$\eta > 0$.

5.6.1.2 Mecanismos de fallos particulares

$\gamma = 0$: el mecanismo no tiene duración de fiabilidad intrínseca, y:

Si $\beta < 1$, la tasa de fallos disminuye con la edad sin llegar a cero, por lo que podemos suponer que nos encontramos en la juventud de un componente con un margen de seguridad bajo, dando lugar a fallos por tensión de rotura.

Si $\beta = 1$, la tasa de fallos se mantiene constante siempre, lo que nos indica una característica de fallos aleatoria o pseudos-aleatoria. En este caso nos encontramos que la distribución de Weibull es igual a la exponencial.

Si $\beta > 1$, la tasa de fallos incrementa con la edad de forma continua lo que indica que los desgastes empiezan en el momento en que el mecanismo se pone en servicio.

$1,5 < \beta < 2,5$, fenómeno de fatiga

$3 < \beta < 4$, fenómeno de desgaste, de corrosión (iniciado en el tiempo $t = \gamma$), de sobrepasar un umbral (campo de deformación plástica).

$\beta = 3,44$, $f(t)$ es simétrica, la distribución es "normal".

Este es el modelo a emplear ya que no se posee una fecha límite o de garantía que determine la duración del sistema.

$\gamma > 0$: el mecanismo es intrínsecamente fiable desde el momento en que fue puesto en servicio hasta que $t = \gamma$, y además:

Si $\beta < 1$, hay fatiga u otro tipo de desgaste en el que la tasa de fallo disminuye con el tiempo después de un súbito incremento hasta γ ; valores de β bajos (aproximadamente 0,5) pueden asociarse con ciclos de fatigas bajos y los valores de β más elevados (aproximadamente 0,8) con ciclos más altos.

Si $\beta > 1$, hay una erosión o desgaste similar en la que la constante de duración de carga disminuye continuamente con el incremento de la carga.

$\gamma < 0$: indica que el mecanismo fue utilizado o tuvo fallos antes de iniciar la toma de datos, de otro modo:

Si $\beta < 1$, podría tratarse de un fallo de juventud antes de su puesta en servicio, como resultado de un margen de seguridad bajo.

Si $\beta > 1$, se trata de un desgaste por una disminución constante de la resistencia iniciado antes de su puesta en servicio, por ejemplo debido a una vida propia limitada que ha finalizado o era inadecuada.

d) Tiempo medio entre fallos (MTBF):

Es el tiempo entre fallos o vida media y se calcula con ayuda mediante la aplicación de una tabla, que nos da los valores de Gamma y lo relaciona de la siguiente manera:

$$E(t) = MTBF = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad \text{Ec (12)}$$

La tabla de fiabilidad se muestra a continuación:

Tabla 8. Tabla de fiabilidad.

LEY DE WEIBULL:

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$$

$$MTBF = m = E(t) = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad \sigma^2 = \eta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\right]$$

β	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	σ/η	β	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	σ/η
0	∞	∞	2,0	0,8862	0,463
0,1	10!	$\sqrt{20! - (10!)^2}$	2,1	0,8857	0,44
0,2	120	1901	2,2	0,8856	0,42
0,3	9,2605	47	2,3	0,8859	0,41
0,4	3,3234	10,43	2,4	0,8865	0,39
0,5	2,0000	4,472	2,5	0,8873	0,38
0,6	1,5046	2,645	2,6	0,8882	0,37
0,7	1,2658	1,851	2,7	0,8893	0,36
0,8	1,1330	1,428	2,8	0,8905	0,34
0,9	1,0522	1,171	2,9	0,8917	0,33
1,0	1,0000	1,000	3,0	0,8938	0,32
1,1	0,9649	0,878	3,1	0,8943	0,315
1,2	0,9407	0,785	3,2	0,8957	0,31
1,3	0,9235	0,716	3,3	0,8970	0,30
1,4	0,9114	0,659	3,4	0,8984	0,29
1,5	0,9028	0,613	3,5	0,8998	0,28
1,6	0,8966	0,594	3,6	0,9011	0,27
1,7	0,8922	0,580	3,8	0,9038	0,26
1,8	0,8893	0,512	4,0	0,9064	0,25
1,9	0,8874	0,486			

Fuente. Fiabilidad: la distribución de Weibull. José Ma. Tamborero del Pino, Centro Nacional de Condiciones de Trabajo.

5.6.1.3 Estimación de los parámetros de vida de equipos mediante el método gráfico

Este método nos permite determinar los parámetros de Weibull, es decir γ , β y η .

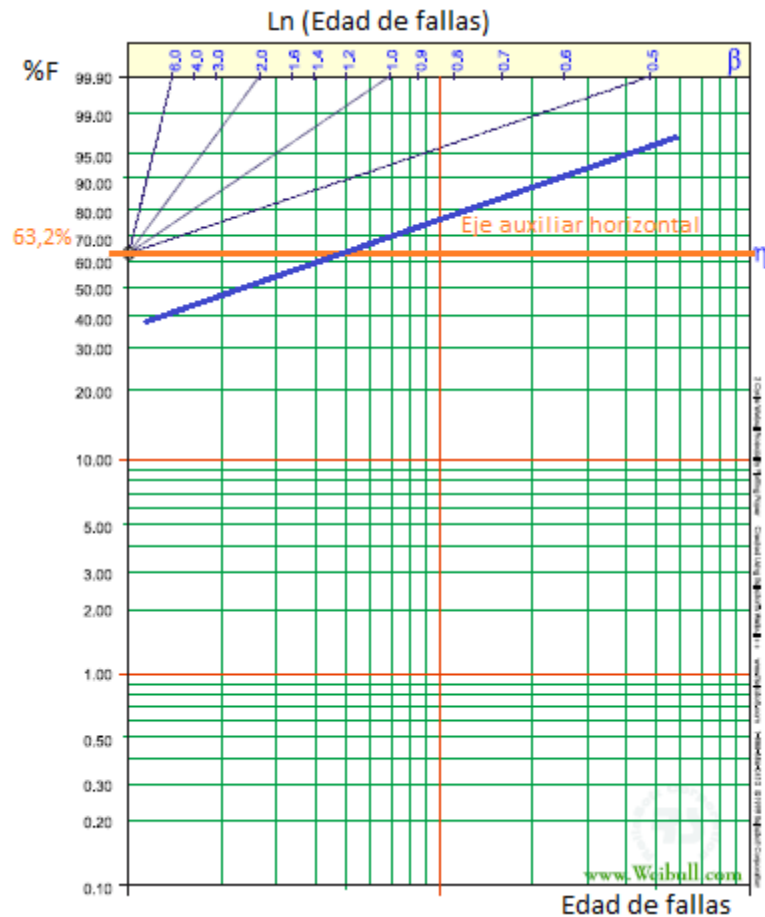


Figura 9. Papel de Weibull.

Fuente. Confiabilidad y análisis estadístico para la predicción de fallas, seguridad, riesgo, costo y garantías de los equipos. J. Gpe. Octavio Cabrera Lazarini.

La edad de fallas puede estar expresada en horas, ciclos, revoluciones, psi, etc.

Línea recta: es un cuadro al graficar la edad vs. %F en el papel de Weibull se obtiene una línea recta.

Se supone dentro de las aproximaciones una vida mínima, es decir $\gamma = 0$.

Determinación del parámetro η : al graficar la línea recta se prolonga hasta que intercepte al eje auxiliar horizontal y desde su punto de intersección se traza una línea vertical hasta que corte a la línea horizontal inferior, donde se leerá η .

Determinación del parámetro β : en el eje $\ln(t)$, siendo t la edad de falla, se toma el valor de 1, luego se proyecta hasta interceptar el eje auxiliar horizontal encontrando un punto y trazando una paralela a la línea recta encontrada, interceptando con el eje auxiliar vertical en un punto y por último se proyecta hacia el eje del $\ln(\ln(1/(1-F(t))))$, donde se leerá β .

5.6.1.4 Preparación de los datos

Los datos para los estudios de fiabilidad provienen, muy a menudo de los históricos de fallos, y a veces de los resultados de ensayos.

En todos los casos se calculan los TBF y se clasifican por orden creciente. En un histórico, el TBF es el intervalo de tiempo transcurrido entre dos averías, que se localizan por su fecha. Para un ensayo, el TBF es el tiempo registrado antes de alcanzar el umbral de degradación.

El número de TBF registrados es n , tamaño de la muestra.

- Si $N > 50$, se reagruparán los TBF por clases.

En este caso, la frecuencia acumulada es expresada:

$$F(i) = \frac{i}{N} = \frac{\sum ni}{N} \quad \text{Ec (13)}$$

Es muy cercana a la función repartición $F(t)$ de la ley de Weibull.

- Si $50 > N > 20$, se dará un rango i a cada fallo (se dirá el enésimo fallo)

Entonces se utilizará la fórmula de aproximación de los rangos medianos:

$$F(i) = \frac{i}{N+1} \quad \text{Ec (14)}$$

- Si $20 > N$, se aplicará la fórmula de aproximación de los rangos medianos:

$$F(i) = \frac{i-0,3}{N+0,4} \quad \text{Ec (15)}$$

Observación: en caso de que el tamaño de la muestra sea muy grande, una estimación empírica de la confiabilidad proporciona resultados suficientes y no es necesario el empleo de la ley de Weibull

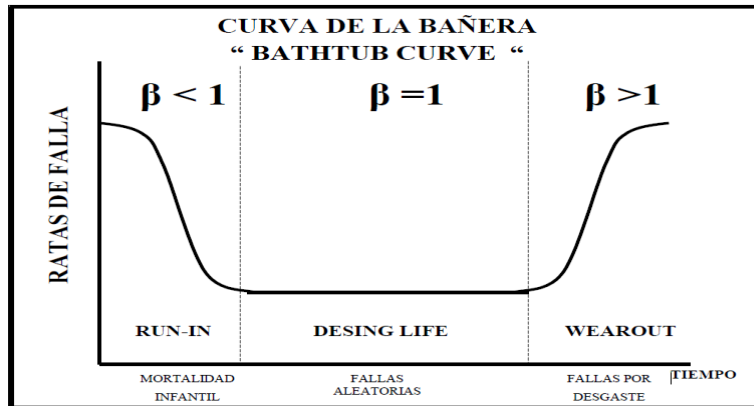


Figura 10. Curva de la "bañera".

Fuente. Confiabilidad y análisis estadístico para la predicción de fallas, seguridad, riesgo, costo y garantías de los equipos. J. Gpe. Octavio Cabrera Lazarini.

5.6.1.5 Cálculo de confiabilidad exponencial

En el caso de los equipos eléctricos o de los componentes electrónicos la distribución que más se ajusta al comportamiento de estos equipos es la distribución exponencial. La expresión utilizada para calcular la confiabilidad de un equipo en un tiempo determinado de operación, a partir de la distribución exponencial es la siguiente¹⁹:

$$R(t) = e^{-(\lambda t)} \quad \text{Ec (16)}$$

Dónde:

R (t): Confiabilidad del equipo en un valor probabilístico.

t: Intervalo de tiempo en el cual se desea conocer la confiabilidad del equipo, partiendo de un período de tiempo = 0.

λ : Tasa de fallos del equipo = número de fallas / Σ tiempo operacional

λ : Número de fallas / Σ TO

¹⁹ BALBIR S., Dhillon. *Engineering Reliability: New techniques and applications* [online]. New York – USA. 1981. [Citada 2012-04-20].

5.6.2 Mantenibilidad (M (t))

La Mantenibilidad de un equipo es la probabilidad de que éste pueda ser puesto en condiciones operacionales en un periodo de tiempo dado cuando el mantenimiento es ejecutado de acuerdo con procedimientos preestablecidos.

Por ejemplo, se dice que un componente particular tiene una Mantenibilidad o capacidad de mantenimiento del 90% en una hora, esto significa que hay una probabilidad del 90% que el componente será reparado dentro de una hora.

La Mantenibilidad puede incluir los eventos siguientes:

1. El tiempo que toma diagnosticar con éxito la causa de la falla.
2. El tiempo que toma procurar o entregar las piezas necesarias para realizar la reparación.
3. El tiempo que toma quitar los componentes dañados y substituirlos por los buenos.
4. El tiempo que toma regresar el sistema a su estado de funcionamiento.
5. El tiempo que toma verificar que el sistema está funcionando dentro de lo especificado.

5.6.2.1 Cálculo de Mantenibilidad según Weibull

Para el caso de la distribución de Weibull se tiene:

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Ec (17)}$$

5.6.3 Disponibilidad (A)

Es la probabilidad de que el equipo esté operando satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo y tiempo logístico.

La disponibilidad está basada únicamente en la distribución de fallas y la distribución de tiempo de reparación.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} * 100\% \quad \text{Ec (18)}$$






Siendo MTBF el tiempo medio entre fallas, y MTTR el tiempo medio entre reparaciones.

5.7 MONITOREO BAJO CONDICIÓN CBM

El mantenimiento predictivo y el monitoreo de condición son dos herramientas ampliamente utilizadas por los departamentos de mantenimiento en todo el mundo, como una herramienta poderosa para una mayor productividad y competitividad. La selección de la maquinaria para ser incluida en estos programas depende de un análisis de su criticidad, su costo, sus requerimientos de seguridad y ambientales, la confiabilidad esperada y el impacto de su falla.

En industrias como la generación de energía y petroquímica, el análisis de vibración ha sido históricamente la técnica seleccionada para monitorear la condición de los grandes componentes críticos de equipo rotatorio. Inversamente, las compañías de transporte y maquinaria pesada, han confiado en el análisis de aceite para tomar efectivas decisiones de mantenimiento predictivo. En otras industrias como las de metales primarios, papeleras, manufactura, etc., podríamos encontrar la aplicación o combinación de diferentes técnicas predictivas incluyendo la termografía, análisis de corriente en motores, el ultrasonido y eventualmente pruebas no destructivas.

El objetivo de un programa de monitoreo de condición, es conocer la condición de la maquinaria, de tal manera que se pueda determinar su operación de manera segura, eficiente y con economía. Las técnicas de monitoreo están dirigidas a la medición de variables físicas que son indicadores de la condición de la máquina y mediante un análisis, efectuar la comparación con valores normales, para determinar si está en buen estado o en condiciones de deterioro. Esta estrategia asume que hay características medibles y observables que son indicadores de la condición de la maquinaria. Podemos clasificar los beneficios del CBM en:

-  Detectar condiciones que pueden ser causa de falla – (proactiva)
-  Detectar problemas en la maquinaria – (predictiva)
-  Evitar fallos catastróficos – (predictiva)
-  Diagnóstico de la causa de la falla – (proactiva)
-  Pronóstico de utilidad – (predictiva)

El monitoreo de condición estudia la evolución de los parámetros seleccionados en función del tiempo y establece una tendencia que indica la existencia de un fallo, su gravedad y el tiempo en que el equipo puede fallar. La toma de decisiones a tiempo permite evitar que el fallo se presente (proactivo) o eliminar la posibilidad de un fallo catastrófico (predictivo). La ventaja de esta estrategia, es que puede ser efectuado mientras el equipo está funcionando. De esta manera, las acciones de mantenimiento o corrección de los parámetros de funcionamiento cuando las mediciones así lo indiquen, evitando acciones intrusivas a la maquinaria que son generadoras de defectos.

5.7.1 Selección de la maquinaria a monitorear

El CBM no es una estrategia económica y deberán ser identificados aquellos equipos en el proceso de producción que afectan a cualquiera de las siguientes:

- ✓ Confiabilidad
- ✓ Disponibilidad
- ✓ Costo
- ✓ Seguridad

“En cualquier entorno, debemos considerar una condición de optimización de las estrategias de mantenimiento y conservación, de tal manera que los costos de la aplicación de las tecnologías y estrategias no sean superiores a los que se tratan de evitar”²⁰ (Ver Figura 11).

²⁰ TRUJILLO, Gerardo. *Monitoreo de Condición – Una estrategia de Integración de Tecnologías*. 1er Congreso Mexicano de Confiabilidad y Mantenimiento. León (Guanajuato), México. 2003.



Figura 11. Optimización del Mantenimiento.

Fuente. Monitoreo de Condición – Una estrategia de Integración de Tecnologías. Gerardo Trujillo, México, 2003.

5.7.2 Técnicas y tecnologías de monitoreo de condición

El monitoreo de condición es un concepto que ha sido utilizado desde hace mucho tiempo. Por lo general los operadores y mecánicos perciben señales de la maquinaria con sus propios sentidos. Ahora lo que se pretende es amplificar estas señales y aislarlas para incrementar su percepción mediante tecnología y medición.

Las técnicas de monitoreo las podemos clasificar en:

- Inspecciones de la maquinaria
- Mediciones de desempeño de la maquinaria
- Monitoreo de las condiciones dinámicas de la maquinaria
- Monitoreo de los fluidos
- Monitoreo de las partículas de desgaste

El monitoreo bajo condición se aplica en los ámbitos muy diferentes: industria petroquímica, térmica, naval, automotriz, aeronáutica, estructuras civiles, parques de diversiones, etc.

El monitoreo bajo condición se puede llevar a cabo en cualquier paso de un proceso productivo.

- Durante recepción de materias primas, para comprobar la homogeneidad y evaluar ciertas propiedades mecánicas.

- Durante los diferentes pasos de un proceso de fabricación, para comprobar que el componente está libre de defectos que pueden producirse por un mal maquinado, tratamiento térmico incorrecto o con soldadura mal aplicada.
- En la inspección final o de liberación de productos terminados, para garantizar al usuario que la pieza cumple o supera los requisitos de aceptación o que la parte o componente cumplirá de manera satisfactoria la función para la que fue creada.
- En la inspección y comprobación de partes y componentes que se encuentran en servicio. Para verificar que todavía se encuentran pueden ser empleados de forma segura, para conocer tiempo de vida remanente o para programar adecuadamente los paros de mantenimiento y no afectar el proceso productivo.

5.8 NORMATIVIDAD

5.8.1 Norma 14224

La Norma Internacional ISO 14224, brinda una base para la recolección de datos de Confiabilidad y Mantenimiento (RM por sus siglas en inglés) en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación y transporte de petróleo y gas natural en oleoductos y gaseoductos, respectivamente²¹.

Esta norma internacional presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos de RM que faciliten la recolección de datos sobre RM. La información permite al usuario cuantificar la confiabilidad del equipo y compararla con la confiabilidad de equipos de características similares.

Al analizar los datos, los parámetros sobre confiabilidad pueden determinarse para su uso en las fases de diseño, operación y mantenimiento. Sin embargo, esta norma internacional no se aplica al método de análisis de los datos de RM.

Los principales objetivos de esta norma internacional son:

²¹ Norma Internacional ISO. Industrias de petróleo y gas natural - Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. ISO 14224. British Standard 2006, Europa.

a) Especificar los datos que serán recolectados para el análisis de:

- Diseño y configuración del sistema.
- Seguridad, confiabilidad y disponibilidad de los sistemas y las plantas.
- Costo del ciclo de vida.
- Planeamiento, optimización y ejecución del mantenimiento.

b) Especificar datos en un formato normalizado, a fin de:

- Permitir el intercambio de datos sobre RM entre plantas, propietarios, fabricantes y contratistas.
- Asegurar que los datos de RM son de calidad suficiente, según requiere el análisis que se pretende realizar.

Esta norma internacional se aplica a todos los tipos de equipos utilizados en la industria de petróleo y gas natural, tales como equipo de procesamiento (utilizado en instalaciones onshore y offshore), equipo submarino, equipo de completación de pozos y equipo de perforación.

Esta norma internacional se aplica a los datos recolectados en la fase operativa.

Debido a la variedad de usos de los datos RM, se hace hincapié en el hecho que, para cada programa de recolección de datos, se deberá prestar suficiente atención al nivel adecuado de datos requerido.

5.8.2 GTC 45

“Esta guía tiene por objetos dar parámetros a las empresas en el diseño del panorama e factores de riesgo, incluyendo la identificación y valoración cualitativa de los mismos”²².

²² Guía técnica Colombiana. Guía para el diagnóstico de condiciones de trabajo o panorama de factores de riesgos, su identificación y valoración, GTC 45. Bogotá (Colombia), Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 1997, 37p.

Uno de los aspectos más importantes que se deben tener en cuenta a la hora de desempeñar las labores son los posibles riesgos a los que se puede estar expuesto, esto no solo se observa a simple vista, para detectar los posibles riesgos es necesario hacer un análisis crítico y minucioso de las funciones de cada trabajador en la empresa. En muchas empresas hoy en día este tema está mucho más desarrollado debido a la cantidad de normas y leyes que se preocupan por el bienestar del empleado y en si también por el empleador ya que de no cumplir con estas se vería seriamente afectada en su parte económica.

A raíz de este tema las empresas cada día buscan mejorar más sus programas de prevención de riesgos, por medio de unas pautas o técnicas que permiten evitar en un alto porcentaje accidentes más comunes generados en el ambiente laboral y para ello se cuenta con herramientas que día a día se perfeccionan y utilizan constantemente para la plena identificación de los riesgos.

La Norma GTC 45 es una guía completa en la cual se muestra paso a paso todos y cada uno de los conceptos a aclarar y tener en cuenta para identificación de peligros y riesgos en seguridad y salud ocupacional. Esta norma está diseñada para personas tanto del común y para profesionales en esta rama donde se detalla y se describe paulatinamente todo lo que tiene que ver con la protección en el campo laboral. Por medio de esta norma determinamos el nivel de riesgo, de exposición, las probabilidades, las consecuencias y las medidas a tomar para evitar accidentes.

6. PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA LA EMPRESA CONTRATANTE

En este apartado se incluirá una completa descripción del proceso, y su relevancia o impacto sobre la empresa, se debe aclarar que se restringió el uso de cierta información por motivos de confidencialidad, y adicionalmente no se cuenta con alguna información, porque no todos los equipos poseen catálogos o fichas técnicas.

6.1 EMPRESA CONTRATANTE

Es una empresa dedicada a la perforación minera, cuenta con diversos puntos de perforación en el país, concentrando su operación en Antioquia. Inicia operaciones con equipos en cero horas de uso. La empresa dispone de una plataforma de perforación en el municipio de Guadalupe, Antioquia, donde están ubicados equipos de perforación minera (ver Tabla 1), adicionalmente tiene un taller de metalmecánica en el barrio Ricaurte en la ciudad de Bogotá, en donde posee equipos de mecanizado y donde también se encuentra su sede administrativa.

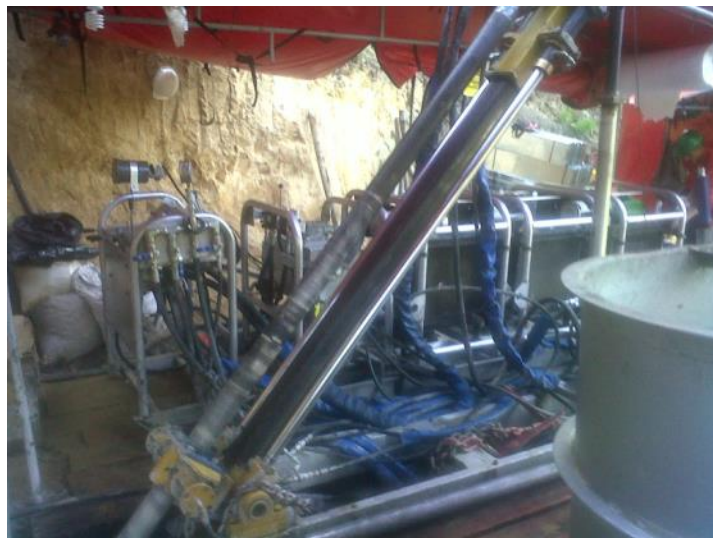


Figura 12. Plataforma de perforación en Guadalupe, Antioquia.
Fuente. Departamento de operaciones.



Figura 13. Plataforma de perforación en Guadalupe, Antioquia.
Fuente. Departamento de operaciones.

Esta empresa se dedica a la prestación de servicios de perforación mediante la innovación técnica y de talento humano, todos los servicios se desarrollan basados en estándares de calidad y seguridad. En la búsqueda del mejoramiento continuo de la empresa, se logra satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes y logrando beneficios para los empleados.

En un corto plazo, la Empresa Contratante debe estar posicionada como una empresa reconocida en el mercado nacional e internacional de servicios de perforación minera; con altos estándares de calidad a través de un desempeño sobresaliente, respeto por el medio ambiente, las personas, y el proceso.

Los objetivos de la empresa

- Conservar una cultura de protección a la salud de todos los trabajadores, el respeto al medio ambiente a través de la prevención de incidentes laborales, enfermedades profesionales, daños ambientales, mediante el fomento de la cultura HSE, cumpliendo con las normas legales estipuladas en el país que se preste el servicio.
- Ofrecer servicios de la más alta calidad, mediante la búsqueda de nuevas y mejores tecnologías para la perforación.
- Buscar alternativas de mejora continua para la operación de los equipos y su Mantenibilidad.
- Identificar, implementar y gestionar procesos claves de la organización

La plataforma de perforación, opera bajo el concepto de trabajo de calidad, su objetivo principal es satisfacer las necesidades y exigencias de su cliente, cumpliendo con las normatividad para perforación y protección del medio ambiente y los recursos naturales, así como las especificaciones técnicas pertinentes, buscando la perfección en los procesos.

La plataforma ubicada en Guadalupe Antioquia, opera 7 días a la semana, con una duración de 24 horas por día.

6.2 DEFINICIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL

En esta parte se definirá el contexto operacional del “Taladro para extracción minera en Guadalupe, Antioquia”.

6.2.1 Estructuración del Proyecto

En el mes de Febrero, se realizó una visita a la plataforma ubicada en Guadalupe, Antioquia, con el fin de evidenciar problemas presentados, las ventajas y alcances de proyectos de confiabilidad y en particular, de planes de mantenimiento centrados en confiabilidad.

A mediados de abril, se entregó el primer informe para la propuesta y el plan de trabajo para la empresa contratante con el fin de tener un protocolo de entendimiento, en el que se delimitan los alcances de la propuesta del proyecto y de los recursos asignados para ello.

En el mes de junio, se presenta la propuesta del plan estratégico de mantenimiento. Dicha propuesta presenta algunas observaciones por parte del personal de la empresa contratante, lo cual genera retraso en la entrega final de la propuesta del plan de mantenimiento.

6.2.1.1 Servicios Suministrados

- Acompañamiento constante y continuo
- Herramientas y recursos para el desarrollo de las consultorías
- Entrenamiento y capacitación para los funcionarios de las empresas contratantes.
- Suministro y gestión de recursos como: Recurso Humano Capacitado, Material de apoyo.

6.2.1.2 Visita

Se realizó la visita a las instalaciones de la empresa contratante, teniendo en cuenta la siguiente ruta de inspección.

Ruta de Inspección:

1. Plataforma Guadalupe.
2. Transmisión de Potencia
3. Generación de Energía
4. Perforación
5. Tratamiento de lodos
6. Manejo y suministro de aceite hidráulico
7. Talleres de Mantenimiento

El horario de trabajo de los colaboradores se divide en 2 turnos, de 12 horas cada uno. La primera desde las 6 de la mañana y la segunda desde las 6 de la tarde. También se tiene personal trabajando en turnos 21 días de trabajo y 7 de descanso. (Asegurando presencia permanente de en los puntos de perforaciones)

6.2.2 Proceso

Para llegar a buen término y en los plazos establecidos, la propuesta encomendada por la empresa contratante, se requirió, seguir el orden cronológico de los objetivos específicos, entregados en la primera propuesta realizada.

Es importante resaltar que la propuesta entregada se limita al desarrollo de una propuesta de plan de mantenimiento de ingeniería de confiabilidad para la nueva línea, buscando establecer una guía de trabajo para operarios e ingenieros que trabajan en la empresa contratante, en lo que refiere a su departamento de mantenimiento en la plataforma ubicada en Guadalupe.

6.2.2.1 Tecnología y Maquinaria

En la visita realizada se encuentran equipos recientes, pertenecientes a dicha plataforma. Adicionalmente, se encuentran equipos y partes que han sido manufacturados en empresas pequeñas motivo por el cual no se cuenta con información técnica.

- **Condiciones Operacionales (Medio Ambiente)**

Las condiciones operacionales de los equipos son críticas debido a la ubicación que tienen y las condiciones ambientales a las que están sometidas. Los equipos están expuestos a sufrir de corrosión, humedad, desgaste, entre otras posibles fallas, a causa de la humedad relativa del lugar y de la cantidad de suciedad propia del sitio a la que se encuentran expuestos diariamente durante la operación.

- **Contexto Operacional (Cómo está configurado el proceso)**

El tipo de proceso que se lleva a cabo en Guadalupe, Antioquia, está concentrado en la perforación minera, para extracción de muestras de oro, segmentado de la siguiente manera:

- Equipos operativos de perforación
- Tratamiento de lodos
- Captación de agua para proceso
- Generación de energía eléctrica

Cabe anotar que en el proceso general, el personal encargado del mantenimiento se encarga de velar por los equipos que operen en la plataforma de perforación. Los equipos deben estar disponibles operacionalmente las 24 horas del día, debido al costo que conlleva la perforación y los permisos que el Estado proporciona para llevar a cabo dicha operación.

6.2.2.2 Talento Humano

- Cantidad de personal adscrito a Mantenimiento.
 - (1) Coordinador de proyecto
 - (2) Operadores de perforación
 - (5) Ayudantes de perforación
 - (4) Técnicos Mecánicos
 - (2) Técnicos eléctrico e instrumentación
 - (3) Bomberos
 - (2) Profesionales en seguridad industrial, ocupacional y ambiental

6.2.2.3 Recursos

- Logísticos

La empresa tiene a su cargo un taller en la ciudad de Bogotá, en el que se pueden realizar arreglos de tipo mecánico, con el fin de ofrecer soluciones frente a casos específicos.

- Equipos

La empresa posee básicamente los equipos ubicados en el mencionado taller, como lo son tornos, fresadora, equipos de soldadura, etc. No manejan equipos para realizar ensayos no destructivos.

6.2.2.4 Repuestos

- Gestión

La circulación de los repuestos en campo se basa en las fallas presentadas en el momento y en las acciones correctivas a tomar. En campo se encuentran repuestos de alta rotación y algunos de baja rotación, para trabajos mayores las piezas son trasladadas a un taller especializado para su cambio de partes o reparación.

- Criterio de selección de HR²³ – LR²⁴ STOCK

Si la falla es crítica e incide en una parada sobre las líneas de proceso de forma que afecte su producción, mantenimiento pide el repuesto de forma inmediata y este le toma en llegar un día.

Si la falla afecta levemente la operación, puede tomar 15 días. Es de observar que en el caso en que este repuesto, no se encuentre en el inventario, el máximo tiempo de pérdida

²³ Definición HR – High Rotation (Alta rotación).

²⁴ Definición LR – Low Rotation (Baja rotación).

6.2.2.5 Propósito del taladro de perforación minera

El taladro minero tiene como propósito la perforación y extracción de muestras de oro en la plataforma de Guadalupe, Antioquia, donde dispone de diversos equipos para realizar el trabajo mediante la energía generada por los motores diésel transformada luego en energía mecánica.

6.2.3 Sistema del taladro de perforación minera

La plataforma de perforación minera a estudiar está constituida por cuatro sistemas principales, según la agrupación requerida por la empresa, siguiendo como guía la norma ISO 14224, a continuación se presentan los sistemas:

- Equipos de perforación minera
- Tratamiento y almacenamiento de lodos
- Captación de agua para proceso de perforación
- Generación de energía eléctrica

6.2.4 Descripción del proceso

Por petición de la empresa Contratante, cierta información ha sido restringida en lo referente a costos operacionales y de tipo tecnológico, se desarrollara una propuesta de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, basado en el tipo de operación y los históricos de falla suministrados por los operadores de los equipos y levantados en campo. Algunos catálogos y fichas técnicas no se poseen, bien sea por su vejez o por simple inexistencia de ésta documentación en la planta.

El registro fotográfico es obtenido de las visitas realizadas a campo, igualmente se restringirán algunas imágenes por la confidencialidad de la información.

En la tabla 9 se puede observar el árbol de equipos.

Tabla 9. Árbol de equipos

**EMPRESA
CONTRATANTE**

**DOP - DEPARTAMENTO DE OPERACIÓN DE
PERFORADORAS**

Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Descripción	Código Comp	Componente	Descripción 1 Comp	Descripción 2 Comp
PGA - PLATAFORMA GUADALUPE ANTIOQUIA	PER - EQUIPOS OPERATIVOS PERFORACION	STPGUA101	TRANSMISION DE POTENCIA	EMK	EMK001	MOTOR TRANSMISOR DE POTENCIA BOMBAS HIDRAULICAS	MOTOR KUBOTA V1505-T
				EMK	EMK101	TABLERO DE CONTROL MOTOR	PANEL INDICADOR Y MANDO MOTOR
				EMK	EMK002	MOTOR TRANSMISOR DE POTENCIA BOMBAS HIDRAULICAS	MOTOR KUBOTA V1505-T
				EMK	EMK102	TABLERO DE CONTROL MOTOR	PANEL INDICADOR Y MANDO MOTOR
				EMK	EMK003	MOTOR TRANSMISOR DE POTENCIA BOMBAS HIDRAULICAS	MOTOR KUBOTA V1505-T
				EMK	EMK103	TABLERO DE CONTROL MOTOR	PANEL INDICADOR Y MANDO MOTOR
				EMK	EMK004	MOTOR TRANSMISOR DE POTENCIA BOMBAS HIDRAULICAS	MOTOR KUBOTA V1505-T
				EMK	EMK104	TABLERO DE CONTROL MOTOR	PANEL INDICADOR Y MANDO MOTOR
				EBE	EBE101	BOMBA DE ENGRANAJES	BOMBA SAUER DANFOSS- MOD-SNP2EN
				EBE	EBE102	BOMBA DE ENGRANAJES	BOMBA SAUER DANFOSS- MOD-SNP2EN
				EBE	EBE103	BOMBA DE ENGRANAJES	BOMBA SAUER DANFOSS- MOD-SNP2EN

				EBE	EBE104	BOMBA DE ENGRANAJES	BOMBA SAUER DANFOSS-MOD-SNP2EN
		SATGUA101	ACTUADORES TALADRO DE PERFORACIÓN	EMR	EMR001	MOTOR HIDRAULICO DE ROTACION	MOTOR EATON 2000 SERIES
				EFC	EFC001	FOOT CLAMP	GUIA DE TALADRO HYDRACORE 2000
				ERB	ERB001	WINCHE	WINCHE HYDRACORE 2000
				ETR	ETR001	TANQUE ADITIVOS REFRIGERACION BROCA	TANQUE ADITIVO REFRIGERACION BROCA HYDRACORE 2000
				EMM	EMM001	MEZCLADOR DE TANQUE DE ADITIVOS	MEZCLADOR DE ADITIVOS HYDRACORE 2000
				EBR	EBR001	BROCA	BROCA DE PERFORACIÓN
				EBA	EBA101	BOMBA INYECCION ADITIVOS	BOMBA HIDRAULICA FMC L06 THROUGH L16 TRIPLEX PUMPS
		LUBGUA101	SUMINSTRO HIDRAULICO TALADRO DE PERFORACIÓN	ETA	ETA001	TANQUE DE SUMINISTRO ACEITE HIDRAULICO	TANQUE ACEITE HIDRAULICO ACTUADORES
				EIT	EIT001	INDICADOR TEMPERATURA ACEITE HIDRAULICO	TERMOMETRO INDICADOR TEMPERATURA WIKA
				EIP	EIP001	INDICADOR PRESION TANQUE ACEITE HIDRAULICO	PROTECCIÓN PRESION TANQUE ACEITE HIDRAULICO
				EIC	EIC001	INTERCAMBIADOR CALOR ACEITE HIDRAULICO	THERMAL TRANSFER SHELL & TUBE EK SERIES
		SCLGUA101	CONTROL TALADRO DE PERFORACION	ETC	ETC001	PANEL DE CONTROL TALADRO	TABLERO DE CONTROL HYDRACORE 2000
				EIP	EIP002	INDICADOR PRESION	MANOMETRO PRESION GASLI 0_1000 PSI DESCARGA
				EIP	EIP003	INDICADOR PRESION	MANOMETRO PRESION GASLI 0_1000 PSI MOTOR 101

				EIP	EIP004	INDICADOR PRESION	MANOMETRO PRESION GASLI 0_1000 PSI MOTOR 102
				EIP	EIP005	INDICADOR PRESION	MANOMETRO PRESION GASLI 0_1000 PSI MOTOR 103
				EVP	EVP001	VALVULA DE ALTA PRESION	VALVULA DE ALTA PRESION OEM SERIE 6140
				EVH	EVH101	VALVULA HIDRAULICA	VALVULA HIDRAULICA BRAND HYDRAULICS "FC"
				EVH	EVH102	VALVULA HIDRAULICA	VALVULA HIDRAULICA BRAND HYDRAULICS "FC"
				EVH	EVH103	VALVULA HIDRAULICA	VALVULA HIDRAULICA BRAND HYDRAULICS "FC"
				EVH	EVH104	VALVULA HIDRAULICA	VALVULA HIDRAULICA BRAND HYDRAULICS "FC"
		DSL GUA101	SUMINISTRO COMBUSTIBLE	ETD	ETD001	TANQUE DE SUMINISTRO COMBUSTIBLE	TANQUE DE SUMINISTRO COMBUSTIBLE
				EIL	EIL001	INDICADOR NIVEL COMBUSTIBLE	TERMOMETRO INDICADOR NIVEL
	TTL - TANQUES TRATAMIENTO DE LODOS	TTL GUA101	TANQUES TRATAMIENTO	ETL	ETL001	TANQUE 1	TANQUE ROTOPLAST CAP 1000 L
				ETL	ETL002	TANQUE 2	TANQUE ROTOPLAST CAP 1000 L
				ETL	ETL003	TANQUE 3	TANQUE ROTOPLAST CAP 1000 L
				ETL	ETL004	TANQUE 4	TANQUE ROTOPLAST CAP 1000 L
				ETL	ETL005	TANQUE 5	TANQUE ROTOPLAST CAP 1000 L
				EML	EML001	MANGUERAS DE CONEXIÓN TANQUES	MANGUERA 3"
				EMB	EMB001	MOTO BOMBA DE RE INYECCIÓN LODOS	MOTO BOMBA HONDA WB20XT
	CAG- CAPTACIÓN DE AGUA	CAG GUA101	CAPTACIÓN DE AGUA PARA PROCESO	EMD	EMD001	MOTOR DIESEL PARA BOMBA HIDRAULICA	MOTOR DIESEL DEK F400S

				EBA	EBA102	BOMBA DE AGUA PARA PROCESO	BOMBA HIDRAULICA FMC L06 THROUGH L16 TRIPLEX PUMPS
	GEN - EQUIPO DE GENERACION ELECTRICA	MGEGUA101	GENERADOR ELECTRICO	ECB	ECB001	CARGADOR BANCO BATERIAS GEN-5501	BANCO DE BATERIAS
				EGE	EGE001	GENERADOR ELECTRICO	GENERADOR ELECTRICO SPORTSMAN GEN 10K
				EIE	EIE001	INTERRUPTOR ELEC GENERADOR	INTERRUPTOR GENERADOR
				ESA	ESA001	SISTEMA DE ARRANQUE	SISTEMA DE ARRANQUE ELECTRICO Y DE RETROCESO
				EAE	EAE001	ACTUADOR ELECTRICO	ACTUADOR ELECTRICO
				ETD	ETD002	TANQUE DIARIO COMBUSTIBLE GEN 10K	TANQUE DIARIO COMBUSTIBLE GEN 10K
		ILUGUA101	ILUMINACION INDUSTRIAL Y PERIMETRAL	EII	EII001	ALUMBRADO INTERIOR PLATAFORMA	PLATAFORMA DE OPERACIÓN
				EII	EII002	ALUMBRADO INDUSTRIAL Y PERIMETRAL	AREA PERIMETRAL Y DE ALMACEN

6.2.4.1 PER – Equipos Operativos de Perforación

PER-STPGUA101 – Transmisión de potencia

Para transmitir la potencia necesaria a las bombas hidráulicas, los motores de combustión interna transforman la energía química del combustible que arde dentro de las cámaras de combustión, en energía mecánica que luego es transferida a las bombas que generan energía por medio del aceite hidráulico.

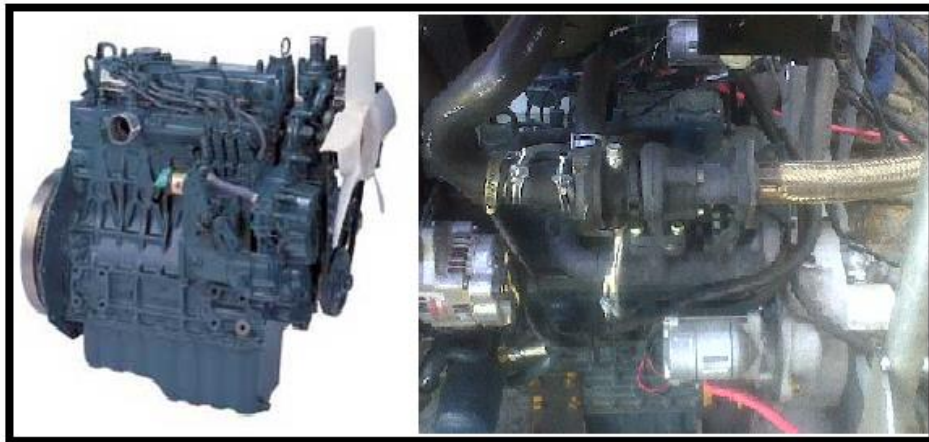


Figura 14. Motor Kubota V1505-T.
Fuente. Departamento de operaciones.

Especificaciones:

- Numero de cilindros: 4
- Tipo Vertical, refrigerado con agua, motor diésel de 4 ciclos
- Potencia: 42 HP
- Velocidad máxima descubierta: 3200 rpm
- Velocidad mínima de ralentí: 850 a 950 rpm
- Torque máximo: 114.7/2000 N.m/rpm
- Cámara de combustión tipo esférico
- Bomba de inyección Bosch MD tipo mini pump
- Regulador mecánico centrifugo
- Dirección del sentido de giro hacia la derecha (visto desde el lado del volante)
- Presión de inyección: 13.73 MPa (1991 psi)
- Relación de compresión 22.5:1
- Sistema de lubricación forzada por bomba
- Indicador de presión de aceite: interruptor de tipo eléctrico
- Filtro lubricante tipo cartucho

- Sistema de refrigeración: Radiador presurizado, circulación forzada con bomba de agua
- Sistema de arranque eléctrico con arrancador, 12V, 1.2 kW
- Dispositivo de arranque de apoyo, por bujía en la cámara de combustión
- Dinamo para cargar: 12 V, 360 W
- Combustible: Diésel
- Capacidad de aceite lubricante: 6.7L
- Peso (seco): 114 Kg

Se suministra energía al aceite, en forma de presión, mediante las bombas, y se conduce a través de tuberías hasta el motor de rotación, el winche, el mezclador de lodos, la bomba de lodos FMC y el foot clamp, que se encargan de transformar la energía en trabajo. Las bombas aspiran el aceite del tanque hidráulico, son de tipo rotativo, a base de engranajes, accionadas por los motores de combustión interna.

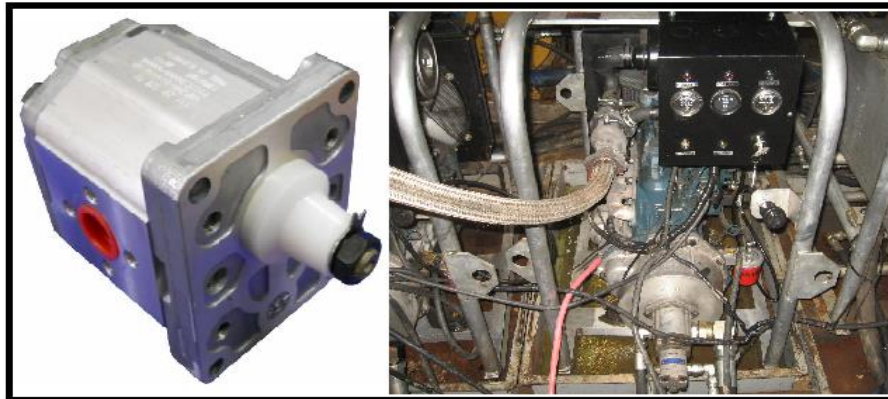


Figura 15. Bomba de engranajes Sauer Danfoss SNP2EN.
Fuente. Departamento de operaciones.

Especificaciones:

- Bomba de tipo 011
- Desplazamiento: 10.8 cm³/rev
- Presión nominal: 3625 psi
- Velocidad mínima a 0-100 bar: 500 min⁻¹ (rpm)
- Velocidad mínima a 100-180 bar: 800 min⁻¹ (rpm)
- Velocidad mínima a 180 bar de presión nominal: 1200 min⁻¹ (rpm)
- Velocidad máxima: 4000 min⁻¹ (rpm)
- Peso: 2.7 kg
- Momento de inercia de los componentes de rotación: 38.4 x 10⁻⁶ kg*m²

- Flujo teórico a velocidad máxima: 15 GPM

PER-SATGUA101 – Actuadores taladro de perforación

Las bombas descritas anteriormente proporcionan fluido a alta presión a los equipos que realizan el trabajo en la sección de perforación. El motor de rotación es el actuador mecánico que convierte la presión hidráulica y el flujo de las bombas en un par de torsión y un desplazamiento angular, es decir, en una rotación o giro. Este giro es ejercido por el motor de rotación sobre una broca que es la que finalmente realiza la perforación en tierra (Ver figura 16).

El foot clamp es el encargado de manejar la parte hidráulica del taladro permitiendo el accionamiento del mismo, por medio de la presión del aceite hidráulico, se usa para la carga/descarga, apriete/desapriete de los tubos. El foot clamp evita que las varillas o brocas de perforación se deslicen hacia abajo del pozo cuando se está bajando o extrayendo en la plataforma (Ver figura 17).

El winche es un tambor que contiene enrollado un cable de acero, soportado por una base, que va sobre una superficie fija, accionado por un motor hidráulico, los cuales tienen incorporado un sistema en la válvula de amortiguación, lo cual evita que las sobrecargas rompan el eje del motor hidráulico. Este equipo funciona igualmente gracias al fluido a alta presión que proporcionan las bombas. Es usado para devolver la broca que ha perforado la tierra al terminar su trabajo, posteriormente el motor de rotación será cargado con una nueva broca y el trabajo iniciara nuevamente (Ver figura 18).

El mezclador de lodos cuenta con una construcción sólida, lo cual aporta confiabilidad y durabilidad. El mezclador es un elemento esencial para obtener la mezcla perfecta de aditivos de perforación. Debe conseguirse una mezcla homogénea de barro y agua, a fin de optimizar las propiedades lubricantes de los aditivos y así garantizar una protección eficaz del equipo de perforación del fondo del pozo. Este equipo es accionado por la presión del fluido que aporta la bomba hidráulica (Ver figura 19).

Los tanques de aditivos son los equipos donde se realiza la mezcla de componentes, aditivos y lodos, los cuales permiten un avance rápido en la perforación, sin necesidad de entubación provisional, impidiendo un colapso. La función de los tanques de aditivos es similar a la función de los tanques de lodos (Ver figura 20).

La bomba de lodos FMC es la encargada de succionar de los tanques los aditivos que se inyectan al sistema de perforación, y así lograr la estabilización del terreno no entubado, y refrigerar y lubricar las herramientas de perforación (Ver figura 21).



Figura 16. Motor de rotación EATON 2000 Series.
Fuente. Departamento de operaciones.

Especificaciones:

- Desplazamiento de motor de (4.9 in³/r)
- RPM: 908
- Torque: 2065 lb-in
- Extracción máxima: 12,000 lb
- Empuje máximo: 8,000 lb
- Peso: 20,5 lb



Figura 17. Foot Clamp.
Fuente. Departamento de operaciones.

Especificaciones:

- Apertura y cierre hidráulico
- Empuje axial: 12,000 lb
- Capacidad máxima: BO a HW
- Numero de mordazas: 2
- Tamaño máximo del vástago: 4 ½"
- Peso: 76 lb



Figura 18. Winche.
Fuente. Departamento de operaciones.

Especificaciones:

- Winche operado por una válvula de 4 vías 4 posiciones
- Capacidad: 900 ft de cable
- Calibre del cable: 3/16
- Discos estacionarios que rodean el cable
- Tambor de aluminio



Figura 19. Mezclador de lodos.
Fuente. Departamento de operaciones.

Especificaciones:

- Provisto de 2 mangueras de 3/8"
- Peso: 35 lb
- Material: Acero Inoxidable



Figura 20. Tanque de aditivos.
Fuente. Departamento de operaciones.

Especificaciones:

- Tanque de acero, con juntas soldadas
- Capacidad: 3.000 L



Figura 21. Bomba hidráulica FMC.
Fuente. Departamento de operaciones.

Especificaciones:

- Modelo I06
- Numero de pistones: 3, configuración horizontal de triple pistón
- Longitud de la carrera 1.5"
- Capacidad de carga: 2800lb
- Peso: 175lb
- velocidad intermitente: 500rpm
- Velocidad continua: 350rpm
- Máximo grado de velocidad válvula de bolas: 200rpm
- Velocidad mínima: 100rpm
- Eficiencia mecánica: 90%
- Sistema de lubricación: splash retorno por gravedad
- Aceite lubricante 2/4, tipo de aceite lubricante SAE 30
- Temperatura máxima de fluido: 140 °F
- Temperatura mínima de fluido: 0°F
- Estándar del tamaño de succión: 1.5"NPT
- Estándar de tamaño de descarga: 1.25"NPT
- Tipo de material: acero dúctil, níquel , aluminio, bronce

PER- LUBGUA101 Suministro hidráulico taladro de perforación.

La función principal del tanque es almacenar el suficiente fluido hidráulico para alimentar de aceite a las bombas y garantizar reservas mínimas para el sistema, también permitir a través de sus paredes, la disipación del calor que se genera en la instalación durante el trabajo (Ver figura 22).

Adicionalmente, se cuenta con el intercambiador de calor o dispositivo que permiten remover calor de un punto a otro de manera específica en una determinada aplicación, en este caso permite remover el calor del aceite hidráulico contenido en el tanque de suministro (Ver figura 23).

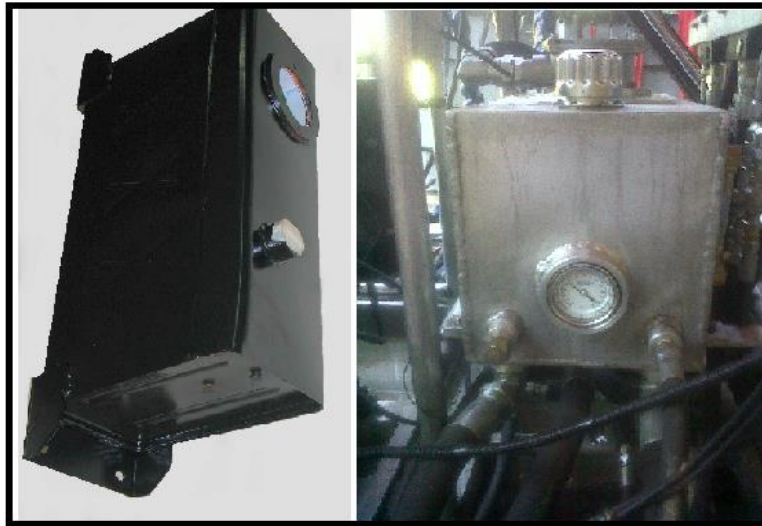


Figura 22. Tanque de suministro de aceite hidráulico.
Fuente. Departamento de operaciones.

Especificaciones:

- Capacidad: 12,5 Galones
- Temperatura de trabajo: 120 a 150 °F
- Temperatura máxima permitida: 180 °F

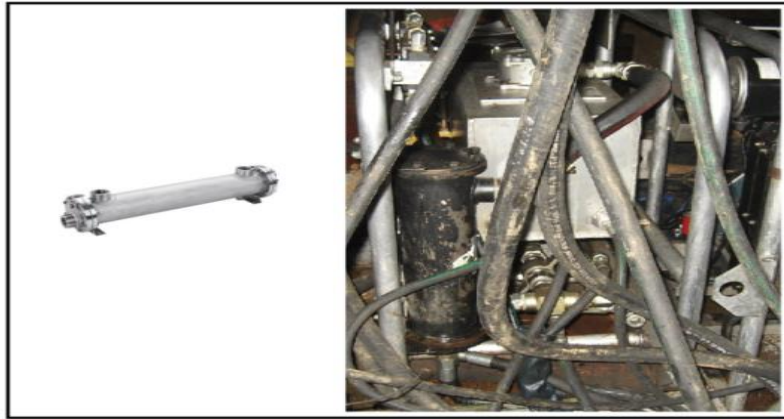


Figura 23. Intercambiador de calor Thermal Transfer Shell & Tube EK Series.
Fuente. Departamento de operaciones.

Especificaciones:

- Intercambiador de calor de 2 pasos
- Presión máxima de la carcasa: 500 psi
- Presión máxima del tubo: 150 psi
- Temperatura máxima: 250 °F
- Tubos de cobre
- Carcasa de acero
- Placas de aluminio

PER-SCLGUA101 Control del taladro de perforación.

El panel de control hidráulico es el dispositivo de impulsión de energía que trabaja para el actuador de la bomba de agua, el winche, el mezclador de lodos, foot clamp, motor de rotación y motores diésel. En este equipo se encuentra el sistema de parada de emergencia, el cual conjuga una función importante en cuanto a la seguridad en la operación, este equipo puede prevenir o minimizar notablemente los accidentes. El panel de control del talador está compuesto por la parte hidráulica, la parte mecánica y la parte eléctrica, en él se encuentran los mandos de encendido y apagado de los motores y la parte de instrumentación, la cual permite visualizar el comportamiento del equipo, en cuanto a temperatura, presión y nivel de aceite (Ver Figura 24).



Figura 24. Panel de control.
Fuente. Departamento de operaciones.

Especificaciones:

- Control de bloqueo
- Niveles de velocidad para la bomba de agua
- Control de desplazamiento
- Control del motor de rotación
- Nivel y posición del winche
- Peso: 220 lb

6.2.4.2 TLT- Tanques de tratamiento de lodos

TTL-TTLGUA101 Tanques de tratamiento

El material que resulta de la perforación es empujado a la superficie por el lodo de perforación, que luego de ser filtrado de impurezas y escombros por medio de los 5 tanques de lodos, es re bombeado al pozo. Es importante vigilar posibles anomalías en el fluido de retorno para evitar golpes de ariete, producidos cuando la presión sobre la broca aumenta o disminuye bruscamente (Ver figura 25). Los lodos son re bombeados con una moto bomba HONDA WB20XT, que lleva el fluido hasta el caño de perforación. (Ver figura 28).



Figura 25. Tanques de lodos.
Fuente. Departamento de operaciones.

Especificaciones:

- Material: Polietileno lineal 100% Virgen
- Espesor: 3,5 mm
- Capacidad: 1,000 L



Figura 26. Moto bomba HONDA WB20XT.
Fuente. Departamento de operaciones.

Especificaciones:

MOTOR

- Tipo de motor: 4 tiempos, válvula en cabeza, 1 cilindro
- Cilindra: 118cm³
- Calibre x Carrera: 60mm x 42mm
- Potencia máxima: 4,0 PS/4000min⁻¹ (rpm)
- Par máximo de torsión: 0.75kg-m/2500min-1 (rpm)
- Sistema de enfriamiento: aire forzado
- Sistema de encendido: magneto transistorizado

- Dirección de giro del eje: hacia la izquierda
- BOMBA
- Diámetro del orificio de succión: 50mm
- Diámetro del orificio de descarga: 50mm
- Revoluciones de régimen: 355 min⁻¹ rpm
- Altura de elevación total: 32m
- Altura de succión: 8m
- Capacidad 600l/min
- Tiempo de funcionamiento continuo: 2h 30min

6.2.4.3 CAG- Captación de agua

CAG-CAGGUA101 Captación de agua para proceso

Para bombear el agua necesaria a los tanques de aditivos se necesita una bomba FMC de iguales características a la ilustrada en la figura 21; adicionalmente, es la encargada de proporcionar agua al intercambiador de calor que actúa como refrigerante del sistema hidráulico, la bomba es un componente vital para el buen funcionamiento del sistema ya que regula la temperatura con la cual debe trabajar el aceite hidráulico, por consiguiente para poder operarla un motor diésel DEK F400S, es el encargado de proporcionarle la potencia necesaria, para captar el agua del río del lugar y bombearla hasta los tanques mencionados anteriormente, y así continuar con la operación (Ver figura 27).



Figura 27. Motor diésel DEK F400S.
Fuente. Departamento de operaciones.

Especificaciones:

- Motor diésel de 4 tiempos
- Desplazamiento: 406 (cc)
- Potencia continua: 7.7/3000 (HP/rpm)
- Potencia máxima: 8.473000 (HP/rpm)

- Sentido de giro: Anti horario (Visto desde el eje del motor)
- Sistema de arranque: YOYO retráctil
- Capacidad de tanque: 5.5 L
- Capacidad de aceite: 1.65 L

6.2.4.4 GEN- Equipos de generación eléctrica

GEN-MGEGUA101 Generador eléctrico

En equipos de generación eléctrica se encuentra el generador de energía eléctrica el cual es el encargado de proporcionar la iluminación del lugar de trabajo, cuando se hace compleja la visibilidad y afecta los trabajos de operación (Ver figura 28).



Figura 28. Generador Sportsman 10K.
Fuente. Departamento de operaciones.

Especificaciones:

- Numero de modelo: Sportsman GEN10K
- Tipo de motor: 4 tiempos OHV
- Sistema de arranque: Arranque eléctrico y de retroceso
- HP/cc: 15 HP
- Máxima potencia: 10,000 W
- Potencia continua: 7,000 W
- Voltaje: 120 V/240 V
- Tipo de combustible: Gasolina
- Intensidad nominal: 38A @ 120 V, 8,3A @ 12 V
- Nivel de ruido de motor: 77dB
- Capacidad: 8 Galones
- Tiempo de trabajo del motor: 8 Horas
- Peso: 296 lb
- Dimensiones: 29" x 22" x 28"

GEN-ILUGUA101 ILUMINACION INDUSTRIAL Y PERIMETRAL

En este subsistema se encuentra el alumbrado interior de la plataforma y del área perimetral y de almacén.

6.2.5 Equipos principales

El sistema está formado por motores diésel, bombas hidráulicas, motor de rotación, bombas de pistón, moto bombas, generadores.

6.2.6 Diagrama entrada-proceso-salida

ENTRADAS

- Combustible
- Aceite Lubricante
- Aceite hidráulico
- Refrigerante
- Energía eléctrica

PROCESO

Transformación de energía química en energía mecánica

SALIDAS

Potencia mecánica necesaria para realizar el movimiento de los actuadores hidráulicos para permitir la perforación minera.

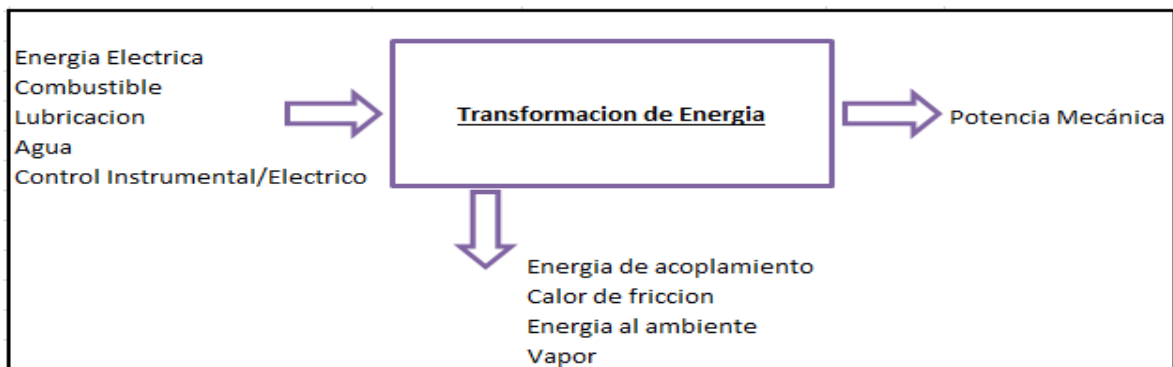


Figura 29. Caja negra.

6.3 Criticidad Preliminar de Equipos

Para Iniciar el estudio y desarrollo del plan de mantenimiento de los equipos de la empresa contratante, se realiza un análisis de criticidad preliminar de los activos, de acuerdo a la información recopilada para identificar los equipos vitales y poder focalizar esfuerzos de manera efectiva y centrar el plan de mantenimiento en los que afectan en mayor medida la operación.

A continuación se muestra el análisis de criticidad realizados a los equipos mayores de la plataforma en Guadalupe Antioquia.

Tabla 10. Análisis de criticidad preliminar.

Empresa: Contratante								
Departamento: DOP Operaciones								
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquia								
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)								
Equipo	Frecuencia	Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos de mtto	Impacto SAH	Consecuencia	Total	Jerarquización
Motor Kubota V1505-T (EMK001)	4	7	2	2	5	21	84	C
Motor Kubota V1505-T (EMK002)	4	7	2	2	5	21	84	C
Motor Kubota V1505-T (EMK003)	4	7	2	2	5	21	84	C
Motor Kubota V1505-T (EMK004)	4	7	2	2	5	21	84	C
Bomba de engranajes Sauer Danfoss SNP2EN (EBE101)	4	6	1	1	3	10	40	SC
Bomba de engranajes Sauer Danfoss SNP2EN (EBE102)	4	6	1	1	3	10	40	SC
Bomba de engranajes Sauer Danfoss SNP2EN (EBE103)	4	6	1	1	3	10	40	SC

Bomba de engranajes Sauer Danfoss SNP2EN (EBE104)	4	6	1	1	3	10	40	SC
Motor Eaton 2000 Series (EMR001)	4	10	3	2	1	33	132	C
Moto Bomba Honda WB20XT (EMB001)	4	5	2	1	0	11	44	SC
Motor Diesel DEK F400S (EMD001)	4	6	3	1	4	23	92	C
Bomba Hidraulica FMC I06 Through L16 Triplex Pumps (EBA101)	4	6	2	1	1	14	56	SC
Bomba Hidraulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps (EBA102)	4	6	3	2	1	21	84	C
Generador Eléctrico Sportsman Gen 10K (EGE001)	4	8	4	2	5	39	156	C
Guia de taladro Hydracore 2000 (EFC001)	4	10	4	2	5	47	188	C
Winche Hydracore 2000 (ERB001)	4	10	4	1	5	46	184	C
Thermal Transfer shell & Tube EK SERIES (EIC001)	4	5	3	1	0	16	64	SC
Tanque aceite hidráulico actuadores (ETA001)	4	10	2	1	0	21	84	C
Mezclador de aditivos hydracore 2000 (EMM001)	4	5	3	1	0	16	64	SC
Tanque aditivo refrigeracion broca hydracore 2000 (ETR001)	4	5	2	1	0	11	44	SC
Tablero de control Hydracore 2000	4	10	4	1	5	46	184	C

De los resultados obtenidos en el análisis de criticidad preliminar, se identificaron los siguientes equipos críticos

Tabla 11. Resumen del análisis de criticidad preliminar.

Empresa: Contratante			
Departamento: DOP Operaciones			
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía			
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)			
Equipo	Frecuencia	Consecuencia	Jerarquización
Motor Kubota V1505-T (EMK001/2/3/4)	4	21	C
Motor Eaton 2000 Series (EMR001)	4	33	C
Motor Diesel DEK F400S (EMD001)	4	23	C
Bomba Hidraulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps (EBA102)	4	21	C
Generador Eléctrico Sportsman Gen 10K (EGE001)	4	39	C
Guía de taladro Hydracore 2000 (EFC001)	4	47	C
Winche Hydracore 2000 (ERB001)	4	46	C
Tanque aceite hidráulico actuadores (ETA001)	4	21	C
Tablero de control Hydracore 2000	4	36	C

6.4 Elaboración del análisis de modo y efecto de las fallas del Taladro minero

6.4.1 Elaboración de las espinas de pescado

Para poder determinar cuáles son los principales modos y efectos de falla de cada uno de los equipos críticos, se decidió utilizar el diagrama de Ishikawa o espina de pescado, esta información es de vital importancia ya que es la base del análisis que se realizara al taladro minero. En la figura 30 se puede observar un ejemplo para los motores de combustión interna Kubota, las demás espinas generadas se pueden observar en los anexos A - I.

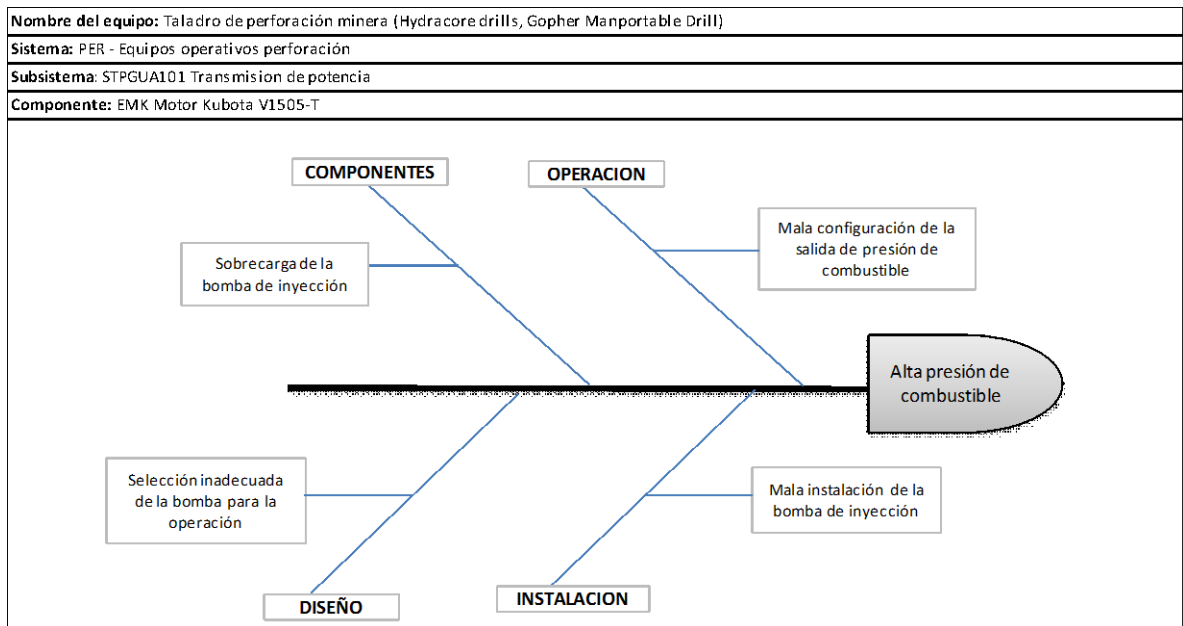


Figura 30. Espina de pescado para los motores de combustión interna Kubota.

6.4.2 Definiciones iniciales

Fallos Funcionales: Incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

Modos de fallos: Posibilidad de causar la pérdida de una función. Esto permite identificar exactamente cuál es la causa origen de cada fallo.

Efectos de fallos: Es la magnitud del efecto y da la importancia de cada fallo, y por tanto qué nivel de mantenimiento preventivo (si lo hubiera) sería necesario.

Consecuencias de los fallos:

El RCM clasifica las consecuencias de los fallos en cuatro grupos:

1. *Consecuencia de los fallos evidentes:* los fallos que no son evidentes no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a la organización a otros fallos con consecuencias serías, a menudo catastróficas.
2. *Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente:* un fallo tiene consecuencias sobre la seguridad si su ocurrencia genera condiciones que pueden propiciar lesiones o incluso la muerte de personas. Tiene

consecuencias sobre el ambiente si infringe las normativas municipales, regionales o nacionales relacionadas con el medio ambiente.

3. *Consecuencias operacionales*: un fallo tiene consecuencias operacionales si afecta a la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costes industriales que adicionen al coste directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero y lo que cuesten sugiere cuánto se puede destinar en tratar de prevenirlas.
4. *Consecuencias no operacionales*: los fallos evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es la reparación.

6.4.3 Elaboración del AMEF

Previo a la realización del AMEF, se elaboran criterios de análisis para la obtención del Número Prioritario de Riesgo.

Considerando;

$$\text{NPR} = \text{GxOxD}$$

Tabla 12. Puntajes del AMEF.

GRAVEDAD	
Descripción	Puntaje
Ínfima, imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, falla inminente	4-5
Media, fallo pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10

OCURRENCIA	
Descripción	Puntaje
1 falla en más de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2-3
1 falla cada año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7

1 falla entre 1 a 6 meses	8-9
1 falla al mes	10

DETECCION (dificultad de detección)	
Descripción	Puntaje
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Fuente: Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempo en pozos de alta producción. Martin Da Costa Burga, 2010.

Características de análisis del NPR (Número Prioritario de Riesgo):

NPR > 200 Inaceptable (I).
200 > NPR > 125 Reducción deseable (R).
125 > NPR Aceptable (A).

A continuación se expone el AMEF siguiendo la metodología propuesta por Moubray de los motores de combustión interna Kubota. La totalidad de los AMEF de los equipos que intervienen en la operación del Taladro Minero se encuentran en los anexos J - Q.

Tabla 13. AMEF EMK Motor Kubota V1505-T.

Empresa: CONTRATANTE										
Departamento: DOP Operaciones										
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía										
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						Pág. n° 1 de 1		N° AMEF: 1		
Sistema: PER Equipos operativos perforación						Fecha: 07/05/2015				
Subsistema: STPGUA101 Transmisión de potencia										
Componente: EMK Motor Kubota V1505-T										
Estándar de Función: Motor Kubota modelo d1005b(e), numero de cilindros 4, tipo vertical; refrigerado por agua; motor diésel de 4 ciclos, diámetro de carrera 76x73.6mm, potencia al freno; desplazamiento total 1001cm3, velocidad máxima 3800rpm; velocidad máxima en ralentí 600rpm, torque máximo 60,6/2000 y 58,4/2400 Nm/rpm, cámara de combustión tipo esférico, combustible de la bomba de inyección: Bosch md tipo de mini bomba, gobernador mecánico centrífugo, dirección de rotación sentido anti horario visto desde el volante, tobera de inyección tipo dnopd, sincronización de inyección sin temporizador 21 a 23° con temporizador 9 a 11°, presión de inyección 140kgf/cm2, relación de compresión 22:1, lubricación forzada por bomba, indicador de presión de tipo eléctrico, sistema de refrigeración radiador presurizado circulación forzada con bomba de agua, arranque eléctrico de 12v 1,0kw, batería 12v 65amp combustible diésel # 2-d (astm d975), aceite lubricante mil-l- 46152; mil-l-2104 tipo api peso 93kg.										
SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA	MODO DE FALLO	EFFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	CONTROLES ACTUALES	G	O	D	NPR	Nivel
Depósito de combustible	Almacenar el combustible del motor	Fuga de combustible	Motor no arranca	No hay combustible	Corregir fuga y llenar de combustible	2	6	3	36	NC
		Parada de motor	Pérdida de potencia	Aire en el sistema de combustible	Purga del aire	2	6	4	48	NC
		Parada de motor	Pérdida de potencia	Agua en el sistema de combustible	Cambio de combustible y reparar o cambiar sistema de combustible	6	6	4	144	SC
Tubo de combustible	Alimenta de combustible al sistema	Restricción de combustible	Motor no arranca	Tubo de combustible obstruido	Limpiar	4	6	2	48	NC
Filtro de combustible	Mantener limpio el sistema de alimentación del motor	Restricción de aire	Motor no arranca	Filtro de combustible obstruido	Limpiar o cambiar	4	6	5	120	NC
		Revolución del motor no es uniforme	Parada del motor	Filtro de combustible taponado o sucio	Limpiar o cambiar	4	6	5	120	NC
		No hay paso de combustible	Parada del motor	Filtro de combustible taponado	Limpiar o cambiar	4	6	5	120	NC

Bomba de inyección	Inyectar combustible en los cilindros y aspirar gas-aceite del depósito de combustible	Ruido	Vibración	Inyección mal sincronizada	Ajustar	4	6	3	72	NC
		Agarrotamiento de inyectores	Pérdida de potencia	Mal funcionamiento bomba de inyección	Reparar o reemplazar	6	4	4	96	NC
		No hay combustión	Parada del motor	Mal funcionamiento bomba de inyección	Reparar o reemplazar	6	6	4	144	SC
		Baja presión de combustible	Parada del motor	Inyección mal sincronizada	Ajustar	6	6	4	144	SC
		Se observan gases de escape ya sea negro gris oscuro	Alta presión de combustible	Configuración inadecuada de la salida de presión de combustible	Revisar la salida de presión y ajustar	4	3	2	24	NC
		Se observan gases de escape ya sea negro gris oscuro	Alta presión de combustible	Sobrecarga	Reducir la carga	4	4	2	32	NC
		Taponamiento	Perdida de eficiencia	Inyección de combustible desigual	Reparar o reemplazar bomba de inyección	6	4	5	120	NC
		Consumo excesivo de combustible	Sobrecalentamiento del motor	Sobrecarga de funcionamiento	Bajar la carga	6	8	2	96	NC
		No hay suficiente combustible	Perdida de eficiencia	Inyección mal sincronizada	Ajustar	4	6	4	96	NC
		Ruido	Parada del motor	Tapón de ventilación abierto en la bomba de inyección de combustible	Mantener siempre el tapón de ventilación de aire cerrada en la bomba de inyección de combustible, excepto cuando está saliendo el aire.	4	6	1	24	NC
		Desgaste en la bomba de inyección	Parada del motor	Polvo y suciedad en el combustible	Inspeccionar y limpiar el depósito de combustible periódicamente	6	4	4	96	NC
Inyectores	Suministran combustible al interior del cilindro o al conducto de admisión del mismo	Baja temperatura del cilindro	Pérdida de potencia	Inyectores obstruidos	Limpiar	6	4	4	96	NC
		Baja temperatura del cilindro	Parada del motor	Inyectores agarrotados o tapados	Reparar o reemplazar	6	4	4	96	NC
		Salida deficiente	Perdida de eficiencia	Inyección incorrecta	Ajustar	4	6	4	96	NC
Cigüeñal	Transmite la potencia al	Desbalanceo	Alta vibración	Atascamiento de cigüeñal	Reparar o reemplazar	9	1	8	72	NC

	eje	Consumo excesivo de aceite lubricante	Cavitación	Cojinete del cigüeñal, y pasador del cigüeñal usados	Reemplazar	6	2	6	72	NC
		Baja presión de aceite	Cavitación	Excesivo paso de aceite en el cojinete del cigüeñal	Reparar	6	2	4	48	NC
Árbol de levas	Convertir el movimiento rotacional en movimiento alternativo	Desbalanceo	No hay admisión y escape	Fatiga del árbol de levas	Reparar o reemplazar	9	1	8	72	NC
		Desbalanceo	No hay admisión y escape	Atascamiento o desgaste del árbol de levas	Reparar o reemplazar	9	1	8	72	NC
Pistones	Piezas que efectúan el movimiento alternativo que transmiten la potencia	Motor no comprime	Motor no arranca	Atascamiento de pistones	Reparar o reemplazar	9	1	8	72	NC
Cilindros	Permiten el movimiento de los pistones	Baja compresión	Parada del motor	Desgaste de cilindros	Reparar o reemplazar	9	1	8	72	NC
		No hay compresión en la cámara de combustión	No hay encendido	Fugas de compresión del cilindro	Reemplazar la junta de la culata, apretar el tornillo de la culata, bujía y porta tobera	9	1	8	72	NC
		Desgaste y rayas en los cilindros	Parada del motor	Impurezas en el aceite del motor	Inspeccionar los cilindros y realizar el cambio de filtros de aceite y de aceite	8	2	8	128	SC
Rodamiento de cigüeñal	Permite el giro del cigüeñal en la bancada	Ruido	Sobrecalentamiento del motor	Atascamiento o desgaste de rodamiento	Reparar o reemplazar	8	1	8	64	NC
Válvulas	Controlar la admisión de la mezcla y la salida de los gases quemados	No hay combustión	No hay encendido	Sincronización de válvulas incorrecta	Corregir o sustituir	6	2	6	72	NC
Anillos de compresión	Mantienen la presión y lubrican el pistón	No hay compresión en la cámara de combustión	Pérdida de potencia	Anillos del pistón y el cilindro desgastados	Reemplazar	6	1	8	48	NC
		Se observan gases de escape ya sea blanco o azul	Pérdida de eficiencia	Compresión deficiente	Ajustar el juego de la parte superior	6	6	6	216	C
Batería	Proporcionar potencia para encender el arranque y al sistema de	Arranque no funciona	No hay encendido	Batería descargada	Cargar	8	2	7	112	NC

	ignición para encender el motor	Batería descarga da rápidamente	No hay encendido	Electrolitos de la batería insuficientes	Reponer el agua destilada y cargar	8	1	7	56	NC
Arranque	Facilita el encendido del motor	Circuito abierto	Motor no arranca	Mal funcionamiento de arranque	Reparar o reemplazar	8	1	6	48	NC
Cableado eléctrico	Conexión eléctrica del motor	No hay chispa	Arranque no funciona	Cable desgastado	Inspeccionar y reemplazar las conexiones eléctricas	7	1	5	35	NC
		No hay chispa	Arranque no funciona	Cableado desconectado	Conectar	7	4	4	112	NC
Filtro de aire	Purifica el aire de admisión	Restricción de aire	Motor no arranca	Filtro de aire tapado	Limpiar o cambiar	6	6	5	180	SC
Gobernador	Controla la velocidad de giro del motor	Revoluciones no uniformes del motor	Pérdida de potencia	Mal funcionamiento del gobernador	Reparar	6	2	7	84	NC
Depósito de aceite	Almacenar el aceite del motor	Se observan gases de escape ya sea blanco o azul	Sobrecalentamiento del motor	Exceso de aceite del motor	Reducir hasta el nivel especificado	5	2	4	40	NC
Anillos de lubricación	Lubrican el cilindro del motor	Se observan gases de escape ya sea blanco o azul	Sobrecalentamiento del motor	Anillos de pistón y revestimiento desgastados o atascados	Reparar o reemplazar	5	1	8	40	NC
		Humo negro excesivo	Carbonización	Anillo de lubricación gastado o pegado	Reemplazar	5	1	8	40	NC
Tobera de inyección	Inyectar una carga de combustible en la cámara de combustión de forma que pueda arder por completo	Agarrotamiento de inyectores	Parada del motor	Deficiente inyección en las toberas	Reparar o reemplazar la tobera	8	2	8	128	SC
		Desgaste en la tobera de inyección	Parada del motor	Polvo y suciedad en el combustible	Inspeccionar y limpiar el depósito de combustible periódicamente	7	2	8	112	NC
		Mala combustión	Parada del motor	Salida incorrecta de presión de la tobera	Ajustar	6	4	7	168	SC
		Baja temperatura del cilindro	Pérdida de potencia	Deficiente inyección en las toberas	Reparar o reemplazar la tobera	6	4	7	168	SC
Culata	Recubre el volumen donde se produce la combustión	Baja compresión	Pérdida de potencia	Fugas de compresión	Sustituir la junta de la culata, apretar el tornillo de la culata, bujía y porta tobera	8	1	10	80	NC

		Baja compresión	Sobrecalentamiento del motor	Bloque de cilindros o culata defectuosos	Reemplazar	8	1	10	80	NC
		Baja compresión	Sobrecalentamiento del motor	Junta de culata defectuosa	Reemplazar	8	1	10	80	NC
Vástago de las válvulas	Es la parte que se introduce en una guía para que puedan subir y bajar las válvulas centradas en la culata	Falla de combustión	Pérdida de potencia	Vástago de la válvula y guía de la válvula roto	Reemplazar	9	1	8	72	NC
Sellos	Sellar uniones por las que se podrían fugar fluidos	No hay bombeo de aceite	Parada del motor	Fugas de aceite, debido a los sellos o empaques defectuosos	Reemplazar	6	6	6	216	C
Aceite lubricante	Enfriar las zonas calientes del motor y de las piezas en movimiento. Proteger las superficies internas del motor contra la corrosión	Agua mezclada en el aceite lubricante	Sobrecalentamiento del motor	Junta de la culata defectuosa	Reemplazar	6	1	6	36	NC
		Alta presión de aceite	Sobrecalentamiento del motor	Diferentes tipos de aceite	Usar el tipo de aceite especificado	5	2	5	50	NC
Medidor de nivel de aceite	Controla la cantidad necesaria de aceite en el motor	Baja presión de aceite	Sobrecalentamiento del motor	Aceite del motor es insuficiente	Reponer	4	6	4	96	NC
		Fugas de aceite	Sobrecalentamiento del motor	Aceite del motor es insuficiente	Reponer	4	6	4	96	NC
Filtro de aceite	Ayudar a limpiar el aceite de materias que contiene en suspensión	No hay bombeo de aceite	Parada del motor	Filtro de aceite obstruido	Limpiar	4	6	2	48	NC
		Fugas de aceite	Desgaste de piezas rotativas	Ajuste excesivo puede causar deformaciones en los sellos de goma	Ajustar el filtro de aceite según las especificaciones del fabricante	6	6	4	144	SC
Rodamiento	Punto de apoyo del balancín para guiarlo en su rotación	Baja presión de aceite	Cavitación	Excesivo paso de aceite en el rodamiento del balancín	Reemplazar	6	2	6	72	NC
Conductos de aceite	Deriva el aceite a las piezas del motor	Taponamiento	Sobrecalentamiento del motor	Conducto de aceite atascado	Limpiar	6	6	5	180	SC

Bomba de aceite	Proporcionar un flujo y presión constante de aceite limpio a todos los componentes que tienen fricción durante el funcionamiento del motor	Baja presión de aceite	Sobrecalentamiento del motor	La válvula de alivio de la bomba de aceite puede estar pegada, abierta o instalada al revés	Reparar o reemplazar	7	2	8	112	NC
		Baja presión de aceite	Desgaste de piezas rotativas	Tolerancias excesivas dentro de la bomba de aceite	Reparar o reemplazar	8	1	8	64	NC
Correa del ventilador	Mueve al ventilador	No hay flujo de aire	Alta temperatura del motor	Correa del ventilador rota	Reemplazar	6	1	7	42	NC
		Bajo flujo de aire	Alta temperatura del motor	Correa del ventilador defectuosa	Reemplazar	6	2	4	48	NC
		Bajo flujo de aire	Alta temperatura del motor	La correa del ventilador se desliza	Ajustar la tensión de la correa o cambiar	4	8	4	128	SC
Refrigerante	Líquido que enfría el motor	Contaminación	Sobrecalentamiento del motor	Insuficiente agua de refrigeración	Reponer	5	9	3	135	SC
		Taponamiento	Alta temperatura del motor	Inadecuado mantenimiento al sistema de refrigeración	Realizar/Programar mantenimiento mecánico	5	5	4	100	NC
Radiador	Enfría el refrigerante del sistema	Taponamiento	Alta temperatura del motor	Red del radiador y aleta del radiador obstruido con polvo	Limpiar	6	10	4	240	C
		Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento del motor	Interior del radiador corroído	Limpiar o cambiar	6	8	4	192	SC
		Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento del motor	Tapa del radiador suelta o defectuosa	Ajustar	6	10	2	120	NC
Conexiones de refrigeración	Interconecta las piezas del sistema de refrigeración	Taponamiento	Sobrecalentamiento del motor	Ruta de flujo de refrigeración de agua corroído	Limpiar o cambiar	6	8	4	192	SC
Alternador	Recarga y mantenimiento del voltaje de la batería	Consumo prematuro de la carga de la batería	No hay encendido	Alternador defectuoso	Reemplazar	4	2	3	24	NC

6.5 ELABORACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

En este punto de la propuesta se jerarquizan las componentes principales que integran el taladro de perforación minera, con la finalidad de optimizar su funcionamiento mediante la mejora de su mantenimiento.

Los criterios empleados serán;

- Frecuencia de fallas
- Impacto operacional
- Flexibilidad operacional
- Costo de mantenimiento
- Impacto e seguridad, ambiente e higiene

Los criterios empleados para la obtención de la criticidad total del sistema, se muestran en los siguientes cuadros;

Tabla 14. Criterios de criticidad.

Frecuencia de fallas	
Elevado mayor a 4 fallas/año	4
Promedio 2-4 fallas/año	3
Buena 1-2 fallas/año	2
Excelente menos de 1 fallas/año	1

Impacto Operacional	
Parada total del equipo	10
Parada parcial del equipo y repercute a otro equipo o subsistema	7-9
Impacta a niveles de producción o calidad	5-6
Repercute en costos operacionales asociado a disponibilidad	2-4
No genera ningún efecto significativo	1

Flexibilidad Operacional	
No existe opción igual o equipo similar de repuesto	4
El equipo puede seguir funcionando	2-3
Existe otro igual o disponible fuera del sistema (stand by)	1

Costo de mantenimiento	
Más de 2 millones y más de 1 día de parada	2
Menos de 2 millones y más de 1 día de parada	1

Impacto a Seguridad Ambiente e Higiene	
Accidente catastrófico	8
Accidente mayor serio	6-7
Accidente menor e incidente menor	4-5
Cuasi accidente o incidente menor	2-3
Desvío	1
No provoca ningún tipo de riesgo	0

Fuente: Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempo en pozos de alta producción. Martin Da Costa Burga, 2010.

CRITICIDAD TOTAL = Frecuencia de falla x Consecuencia

Frecuencia = Numero de fallas en un tiempo determinado.

Consecuencia = (Impacto Operacional x Flexibilidad Operacional) + Costo Mtto + Impacto SAH.

En la tabla 15 se observan los resultados del análisis de criticidad realizado para los equipos del taladro de perforación minera

Tabla 15. Resultado del análisis de criticidad.

Resultado del análisis de criticidad								
Empresa: CONTRATANTE								
Departamento: DOP Operaciones								
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía								
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)								
PARTES CRITICAS								
Parte	Frecuencia	Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos de mto	Impacto SAH	Consecuencia	Total	Jerarquización
Componente: EMK Motor Kubota V1505-T								
Cigüeñal	3	7	4	2	1	31	93	C
Radiador	4	5	3	2	4	21	84	C
Componente: ERB001 Winche Hydracore 2000								
Freno	4	9	3	1	6	34	136	C
PARTES SEMICRITICAS								
Componente: EMK Motor Kubota V1505-T								
Conexiones de refrigeración	3	5	3	1	5	21	63	SC
Árbol de levas	2	7	4	2	1	31	62	SC
Cilindros	2	7	4	2	1	31	62	SC
Vástago de las válvulas	2	7	4	1	0	29	58	SC
Bomba de inyección	4	5	2	2	2	14	56	SC
Depósito de combustible	3	4	3	1	2	15	45	SC
Filtro de combustible	3	4	3	1	1	14	42	SC
Tobera de inyección	3	5	2	1	1	12	36	SC
Pistones	1	7	4	2	1	31	31	SC
Correa del ventilador	3	4	2	1	1	10	30	SC
Aceite lubricante	3	3	2	1	2	9	27	SC
Filtro de aceite	3	2	3	1	2	9	27	SC

Culata	3	4	1	2	0	6	18	SC
Componente: EMD001 Motor DEK F400S								
Tobera de inyección	2	8	4	1	0	33	66	SC
Válvula	2	7	4	1	0	29	58	SC
Árbol de levas	1	8	4	2	0	34	34	SC
Bomba de aceite	1	6	4	1	0	25	25	SC
Componente: EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps								
Ductos de lubricación	2	7	3	1	1	23	46	SC
Eje de la bomba	1	7	4	1	0	29	29	SC
Componente: EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series								
Bomba	2	9	4	2	0	38	76	SC
Unidad de dirección	2	7	4	1	0	29	58	SC
Eje del motor	2	7	3	1	0	22	44	SC
Líneas de conducción	2	7	3	1	0	22	44	SC
Varillaje de la dirección	1	8	4	2	0	34	34	SC
Componente: EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K								
Cilindros	1	8	4	2	0	34	34	SC
Nivel de aceite	3	5	2	1	0	11	33	SC
Cables de alimentación	3	4	2	1	0	9	27	SC
Componente: EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000								
Cilindro	2	6	4	2	2	28	56	SC
Componente: ERB001 Winche Hydracore 2000								
Tren de engranajes	2	8	4	2	0	34	68	SC
Motor hidráulico	3	7	3	1	0	22	66	SC
Estructura: Tambor, tornillos	3	7	2	1	0	15	45	SC
PARTES NO CRITICAS								
Componente: EMK Motor Kubota V1505-T								
Rodamiento de cigüeñal	2	5	3	1	1	17	34	NC

Depósito de aceite	2	5	3	1	1	17	34	NC
Válvulas	2	5	3	1	0	16	32	NC
Anillos de compresión	2	5	3	1	0	16	32	NC
Gobernador	2	5	3	1	0	16	32	NC
Anillo de lubricación	2	4	3	1	1	14	28	NC
Arranque	2	4	3	1	0	13	26	NC
Bomba de aceite	2	3	3	1	2	12	24	NC
Refrigerante	2	3	3	1	2	12	24	NC
Medidor de nivel de aceite	2	4	2	1	1	10	20	NC
Batería	2	7	1	1	1	9	18	NC
Conductos de aceite	2	2	3	1	2	9	18	NC
Alternador	2	7	1	1	1	9	18	NC
Inyectores	2	5	1	1	2	8	16	NC
Filtro de aire	2	2	3	1	0	7	14	NC
Sellos	2	4	1	1	2	7	14	NC
Rodamiento	1	5	2	1	2	13	13	NC
Tubo de combustible	2	1	3	1	1	5	10	NC
Cableado eléctrico	2	1	3	1	0	4	8	NC
Componente: EMD001 Motor DEK F400S								
Anillo de compresión	2	6	3	1	0	19	38	NC
Gobernador	2	6	3	1	0	19	38	NC
Aceite lubricante	2	6	3	1	0	19	38	NC
Ventilador	2	6	3	1	0	19	38	NC
Depósito de aceite	2	5	3	1	2	18	36	NC
Pistón	1	7	4	1	0	29	29	NC
Cilindro	1	7	4	1	0	29	29	NC
Bomba de inyección	2	8	1	2	1	11	22	NC
Sellos	2	7	1	1	3	11	22	NC

Depósito de combustible	2	3	3	1	0	10	20	NC
Filtro de combustible	2	7	1	1	1	9	18	NC
Cigüeñal	1	4	3	1	1	14	14	NC
Filtro de aceite	2	6	1	1	0	7	14	NC
Vástago de la válvula	1	5	2	1	0	11	11	NC
Conductos de aceite	1	5	2	1	0	11	11	NC
Componente: EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps								
Tanque de suministro de aceite hidráulico	2	6	3	1	0	19	38	NC
Válvula de entrada	2	6	3	1	0	19	38	NC
Filtro de entrada	2	6	3	1	0	19	38	NC
Correa de transmisión	2	6	3	1	0	19	38	NC
Válvula de alivio	2	6	3	1	0	19	38	NC
Cilindros	2	6	3	1	0	19	38	NC
Tubo de aspiración	2	6	3	1	0	19	38	NC
Válvula de retención	2	6	2	2	0	14	28	NC
Impulsor	2	6	2	1	0	13	26	NC
Pistones	1	6	3	1	0	19	19	NC
Línea de succión	1	6	3	1	0	19	19	NC
Cámaras de bombeo	1	5	3	1	0	16	16	NC
Rodamiento	1	5	3	1	0	16	16	NC
Sellos	2	4	1	1	0	5	10	NC
Componente: EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series								
Volante	2	6	3	1	0	19	38	NC
Cilindro	1	7	4	1	0	29	29	NC
Compensador de la bomba	1	5	4	2	0	22	22	NC
Acople del motor	1	6	3	1	0	19	19	NC
Divisor de flujo	1	5	3	1	0	16	16	NC
Válvula de alivio	1	5	3	1	0	16	16	NC

Sellos y mangueras	2	6	1	1	0	7	14	NC
Eje de dirección	1	5	2	1	0	11	11	NC
Componente: EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K								
Línea de combustible	2	7	2	1	5	20	40	NC
Depósito de combustible	2	7	2	1	0	15	30	NC
Filtro de aire	2	6	2	1	1	14	28	NC
Filtro de combustible	2	5	2	1	0	11	22	NC
Cable de bujía	2	6	1	1	0	7	14	NC
Interruptor del motor	2	5	1	1	0	6	12	NC
Limitador del motor	2	5	1	1	0	6	12	NC
Anillos del pistón	1	5	2	1	0	11	11	NC
Panel de energía	1	4	2	1	0	9	9	NC
Bujía	1	5	1	1	0	6	6	NC
Componente: EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000								
Cojinete	2	4	3	1	0	13	26	NC
Vástago	1	5	3	1	0	16	16	NC
Sellos	2	5	1	1	0	6	12	NC
Mangueras	2	5	1	1	0	6	12	NC
Componente: ERB001 Winche Hydracore 2000								
Sistema hidráulico asociado al winche	2	8	2	1	0	17	34	NC
Componente: ETA 001 Tanque de suministro de aceite hidráulico								
Tubería de suministro	2	5	2	1	0	11	22	NC
Tubería de retorno	2	4	2	1	0	9	18	NC
Drenaje	2	3	2	1	0	7	14	NC
Rejilla de llenado	2	5	1	1	0	6	12	NC
Depósito de aceite	1	5	2	1	0	11	11	NC
Respiradero	1	3	2	1	0	7	7	NC
Mirilla-Indicador	1	3	1	1	0	4	4	NC

Tapa de llenado	1	1	1	1	0	2	2	NC
Componente: ETC001 Panel de control Hydracore 2000								
Válvulas de seguridad	1	7	3	1	5	27	27	NC
Válvulas anti retorno	1	7	3	1	5	27	27	NC
Indicadores de presión	1	7	3	1	5	27	27	NC
Palancas o mandos	1	5	2	1	5	16	16	NC
Válvulas de regulación y control	1	5	2	1	0	11	11	NC
Problema de operario	1	2	1	1	3	6	6	NC
Conexión de energía principal	1	5	1	1	0	6	6	NC

6.6 EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS DE LA VIDA ÚTIL DEL TALADRO DE PERFORACIÓN MINERA

Para poder efectuar el análisis se definió el modelo a utilizar Weibull, ya que las características que posee nos permitirán describir el tipo de comportamiento de cada uno de los equipos a estudiar. Una de las ventajas de este modelo es que es muy manejable y se acomoda a las tres zonas (Infancia, Vida útil y Desgaste) de la curva de la bañera. Uno de los métodos más comunes y más práctico a emplear es el Método Gráfico; para lo cual se empleó un software llamado PTC Windchill Quality Solutions 10.2 (Tryout).

6.6.1 Determinación de los factores característicos de la vida útil

Para el desarrollo de este punto se tomara como ejemplo de nuevo un motor de combustión interna Kubota. La fecha de puesta en marcha del equipo es: **30/01/2012**. Esta fecha es la misma para todos los equipos del taladro de perforación minera.

Tabla 16. Datos de vida del equipo EMK001 Motor Kubota.

TAG Equipo	Fecha	Tiempo entre fallas	Tiempo entre reparaciones
EMK001 Motor Kubota V1505-T	08/02/2012	9	2,25
EMK001 Motor Kubota V1505-T	17/02/2012	9	11,45
EMK001 Motor Kubota V1505-T	15/03/2012	27	2,00
EMK001 Motor Kubota V1505-T	31/05/2012	77	6,00
EMK001 Motor Kubota V1505-T	16/06/2012	16	4,00
EMK001 Motor Kubota V1505-T	28/07/2012	42	4,00
EMK001 Motor Kubota V1505-T	08/08/2012	11	3,43
EMK001 Motor Kubota V1505-T	06/09/2012	29	1,00
EMK001 Motor Kubota V1505-T	30/09/2012	24	8,15
EMK001 Motor Kubota V1505-T	11/11/2012	42	4,00
EMK001 Motor Kubota V1505-T	02/12/2012	21	8,45
EMK001 Motor Kubota V1505-T	19/12/2012	17	1,45
EMK001 Motor Kubota V1505-T	07/04/2013	109	2,15

EMK001 Motor Kubota V1505-T	28/04/2013	21	4,00
EMK001 Motor Kubota V1505-T	06/05/2013	8	4,00
EMK001 Motor Kubota V1505-T	09/08/2013	95	2,00
EMK001 Motor Kubota V1505-T	12/01/2014	156	4,00
EMK001 Motor Kubota V1505-T	28/05/2014	136	3,50
EMK001 Motor Kubota V1505-T	18/08/2014	82	1,00

Fuente: Departamento de operaciones.

La tabla 16 muestra la información histórica del periodo de operación de un motor de combustión interna Kubota, para los demás equipos los periodos de operación y su tiempo entre fallas pueden ser consultados en los anexos R – AA.

Los datos son reordenados y al ser $N < 20$ se empleó la aproximación por rangos medios, graficando con Weibull se obtiene lo que se muestra en las figuras 31 y 32.

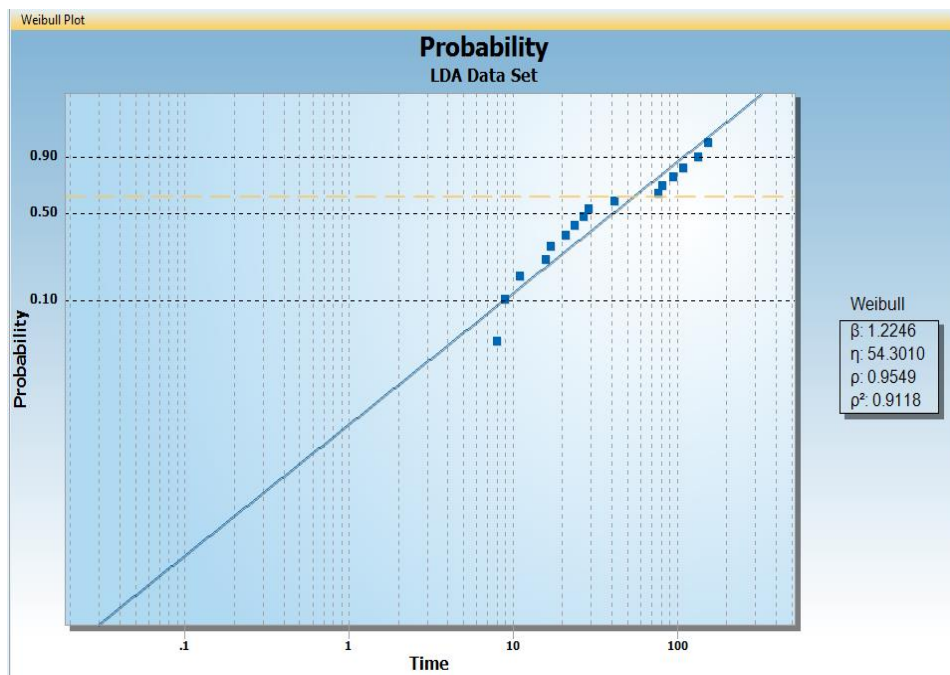


Figura 31. Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el motor de combustión interna Kubota EMK001.

Los resultados obtenidos para el indicador de confiabilidad se muestran en la tabla 17:

Tabla 17. Resultados de confiabilidad para el EMK001 Motor Kubota.

Tag	Componente	Fecha inicial de operación	β	η	R(1066 días)	R(2 días)
EMK001	Motor Kubota V1505-T	30/01/2012	1.224	54,30	0,0000000000000002 46%	98%

Fuente: Autoría del proyecto.

En los anexos BB - UU se pueden observar todas las gráficas obtenidas para la simulación de Confiabilidad y Mantenibilidad mediante el método Weibull para cada uno de los equipos que intervienen dentro del proceso de operación del taladro de perforación minera.

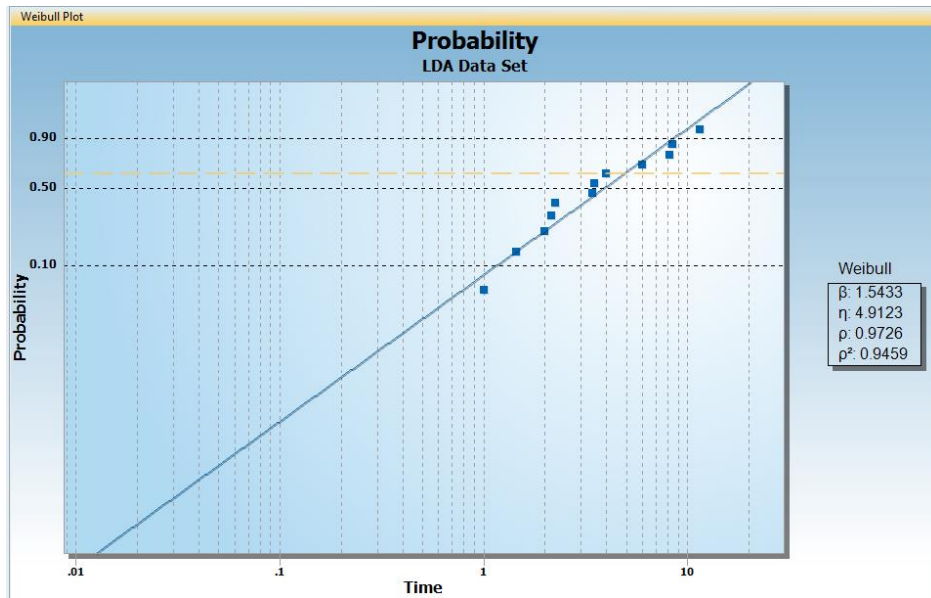


Figura 32. Simulación de Mantenibilidad mediante el método gráfico de Weibull para el motor de combustión interna Kubota EMK001.

Los resultados obtenidos para el indicador de Mantenibilidad para el mismo motor de combustión interna Kubota se muestran en la tabla 18:

Tabla 18. Resultados de Mantenibilidad para el EMK001 Motor Kubota.

Tag	Componente	Fecha inicial de operación	β	η	M(5 horas)	M(1 hora)
EMK001	Motor Kubota V1505-T	30/01/2012	1.224	54,30	64%	8%

A continuación se muestran las curvas de confiabilidad y Mantenibilidad del motor de combustión interna Kubota (Ver figuras 33 y 34), en estas se puede observar el comportamiento de estos indicadores en función del tiempo efectivo de trabajo que ha tenido el equipo:

Tabla 19. Datos de confiabilidad para el EMK 001 Motor Kubota.

t (días)	R (t)
1	99.3%
2	98.3%
3	97,3%
4	96,3%
5	94,2%
6	93,2%
7	92,1%
8	90,1%
9	89,2%
10	88,2%
15	81.3%
20	74.5%
25	67.9%
30	61.6%
35	55.8%
40	50.3%
45	45.2%
50	40.5%
100	12.1%
548	0,0%
1066	0.0%

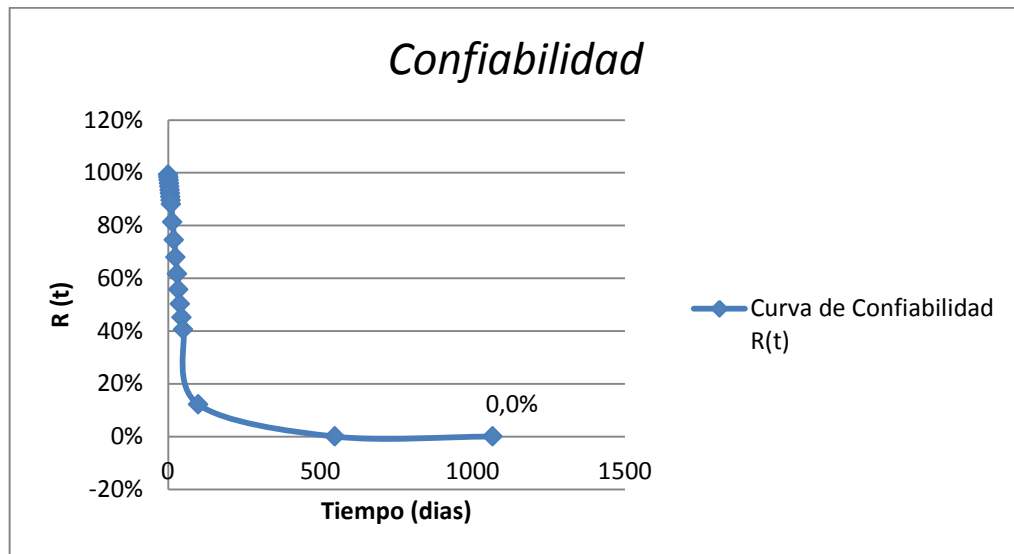


Figura 33. Curva de confiabilidad para el EMK001 Motor Kubota.

Tabla 20. Datos de Mantenibilidad para el EMK 001 Motor Kubota.

t (horas)	M (t)
0,5	2.9%
1	8.3%
1,5	14.4%
2	22.2%
2,5	29.8%
3	37,4%
3,5	44,8%
4	51,8%
4,5	58.3%
5	64,2%
10	95,7%
15	99,3%
20	100,0%
25	100,0%
30	100,0%
35	100,0%
40	100,0%
45	100,0%
50	100,0%
100	100,0%
500	100,0%

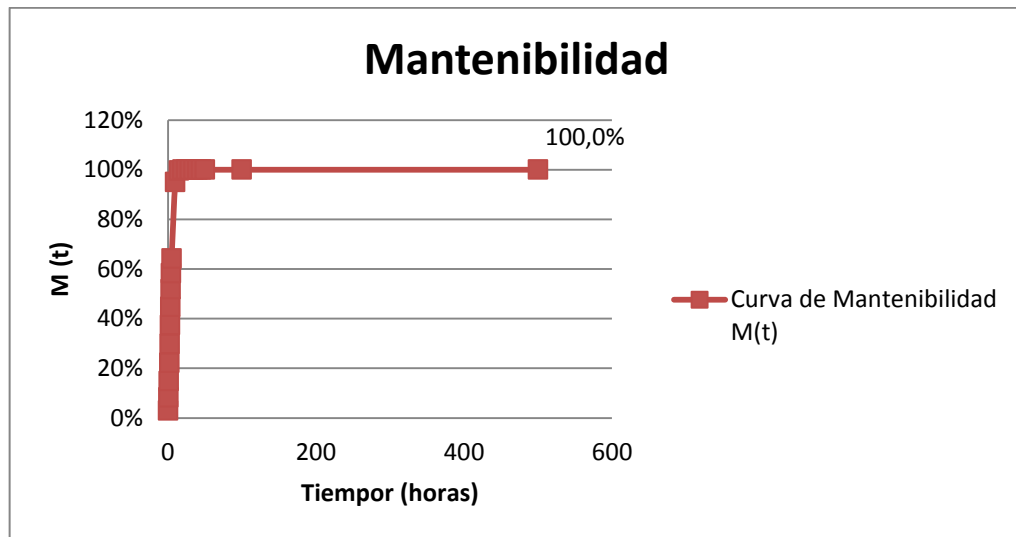


Figura 34. Curva de confiabilidad para el EMK001 Motor Kubota.

6.7 Diagrama de decisiones

Después de replantearse el análisis de los equipos críticos del taladro de perforación minera se elaboró el árbol lógico de decisiones de mantenimiento según el RCM mostrado en la figura 35:

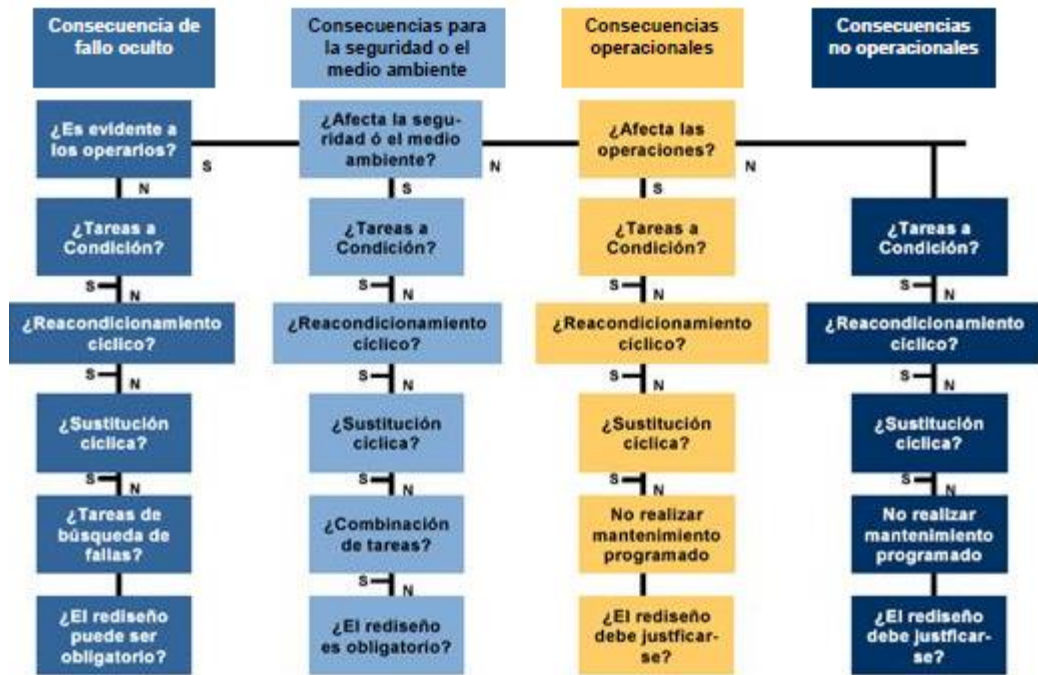


Figura 35. Árbol lógico de decisiones de las actividades de mantenimiento.
Fuente: Reliability Centered Maintenance. John Moubray, 1991. USA.

6.7.1 La hoja de información

Antes de la elaboración de la hoja de decisiones, donde se responden las preguntas planteadas en el árbol lógico (ver figura 35) se estratifico la referencia de información para poder establecer las tareas propuestas, esto se plasma en las hojas de información y son el desdoblamiento de las causas y modos de fallo obtenidos en el AMEF.

A continuación se muestra el desarrollo de la hoja de un motor de combustión interna Kubota, las demás hojas de información planteadas se encuentran en los anexos VV-CCC:

Tabla 21. Hoja de información EMK Motor Kubota V1505-T.

Empresa: Contratante						
Departamento: DOP Operaciones						
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía						
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						
Sistema: PER Equipos operativos perforación						
Subsistema: STPGUA101 Transmisión de potencia						
Componente: EMK Motor Kubota V1505-T						
Estándar de Función: Motor Kubota modelo d1005b(e), numero de cilindros 4, tipo vertical; refrigerado por agua; motor diésel de 4 ciclos, diámetro de carrera 76x73.6mm, potencia al freno; desplazamiento total 1001cm ³ , velocidad máxima 3800rpm; velocidad máxima en ralentí 600rpm, torque máximo 60,6/2000 y 58,4/2400 Nm/rpm, cámara de combustión tipo esférico, combustible de la bomba de inyección: Bosch md tipo de mini bomba, gobernador mecánico centrifugo, dirección de rotación sentido anti horario visto desde el volante, tobera de inyección tipo dnopd, sincronización de inyección sin temporizador 21 a 23° con temporizador 9 a 11°, presión de inyección 140kgf/cm ² , relación de compresión 22:1, lubricación forzada por bomba, indicador de presión de tipo eléctrico, sistema de refrigeración radiador presurizado circulación forzada con bomba de agua, arranque eléctrico de 12v 1,0kw, batería 12v 65amp combustible diésel # 2-d (astm d975), aceite lubricante mil-l- 46152;mil-l-2104 tipo api peso 93kg.						
SUBCOMPONENTE		FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA (F)	MODO DE FALLO (FF)		CAUSAS POTENCIALES DE FALLO (FM)	
Depósito de combustible	1	Almacenar el combustible del motor	A	Fuga de combustible	1	No hay combustible
			B	Parada de motor	1	Aire en el sistema de combustible
						2
Tubo de combustible	2	Alimenta de combustible al sistema	A	Restricción de combustible	1	Tubo de combustible obstruido
Filtro de combustible	3	Mantener limpio el sistema de alimentación del motor	A	Restricción de aire	1	Filtro de combustible obstruido
			B	Revolución del motor no es uniforme	1	Filtro de combustible taponado o sucio
			C	No hay paso de combustible	1	Filtro de combustible taponado
Bomba de inyección	4	Inyectar combustible en los cilindros y aspirar gas-aceite del depósito de combustible	A	Ruido	1	Inyección mal sincronizada
			B	Agarrotamiento de inyectores	1	Mal funcionamiento bomba de inyección
			C	No hay combustión	1	Mal funcionamiento bomba de inyección
			D	Baja presión de combustible	1	Inyección mal sincronizada
			E	Se observan gases de escape ya sea negro gris oscuro	1	Configuración inadecuada de la salida de presión de combustible

					2	Sobrecarga
			F	Taponamiento	1	Inyección de combustible desigual
			G	Consumo excesivo de combustible	1	Sobrecarga de funcionamiento
			H	No hay suficiente combustible	1	Inyección mal sincronizada
			I	Ruido	1	Tapón de ventilación abierto en la bomba de inyección de combustible
			J	Desgaste en la bomba de inyección	1	Polvo y suciedad en el combustible
Inyectores	5	Suministran combustible al interior del cilindro o al conducto de admisión del mismo	A	Baja temperatura del cilindro	1	Inyectores obstruidos
					2	Inyectores agarrotados o tapados
			B	Salida deficiente	1	Inyección incorrecta
Cigüeñal	6	Transmite la potencia al eje	A	Desbalanceo	1	Atascamiento de cigüeñal
			B	Consumo excesivo aceite lubricante	1	Cojinete del cigüeñal, y pasador del cigüeñal usados
			C	Baja presión de aceite	1	Excesivo paso de aceite en el cojinete del cigüeñal
Árbol de levas	7	Convertir el movimiento rotacional en movimiento alternativo	A	Desbalanceo	1	Atascamiento o desgaste del árbol de levas
					2	Fatiga del árbol de levas
Pistones	8	Piezas que efectúan el movimiento alternativo que transmiten la potencia	A	Motor no comprime	1	Atascamiento de pistones
Cilindros	9	Permiten el movimiento de los pistones	A	Baja compresión	1	Desgaste de cilindros
			B	No hay compresión en la cámara de combustión	1	Fugas de compresión del cilindro
			C	Desgaste y rayas en los cilindros	1	Impurezas en el aceite del motor
Rodamiento de cigüeñal	10	Permite el giro del cigüeñal en la bancada	A	Ruido	1	Atascamiento o desgaste de rodamiento

Válvulas	11	Controlar la admisión de la mezcla y la salida de los gases quemados	A	No hay combustión	1	Sincronización de válvulas incorrecta
Anillos de compresión	12	Mantienen la presión y lubrican el pistón	A	No hay compresión en la cámara de combustión	1	Anillos del pistón y el cilindro desgastados
			B	Se observan gases de escape ya sea blanco o azul	1	Compresión deficiente
Batería	13	Proporcionar potencia para encender el arranque y al sistema de ignición para encender el motor	A	Arranque no funciona	1	Batería descargada
			B	Batería descargada rápidamente	1	Electrolitos de la batería insuficientes
Arranque	14	Facilita el encendido del motor	A	Circuito abierto	1	Mal funcionamiento de arranque
Cableado eléctrico	15	Conexión eléctrica del motor	A	No hay chispa	1	Cableado desconectado
					2	Cable desgastado
Filtro de aire	16	Purifica el aire de admisión	A	Restricción de aire	1	Filtro de aire tapado
Gobernador	17	Controla la velocidad de giro del motor	A	Revoluciones no uniformes del motor	1	Mal funcionamiento del gobernador
Depósito de aceite	18	Almacenar el aceite del motor	A	Se observan gases de escape ya sea blanco o azul	1	Exceso de aceite del motor
Anillos de lubricación	19	Lubrican el cilindro del motor	A	Se observan gases de escape ya sea blanco o azul	1	Anillos de pistón y revestimiento desgastados o atascados
			B	Humo negro excesivo	1	Anillo de lubricación gastado o pegado
Tobera de inyección	20	Inyectar una carga de combustible en la cámara de combustión de forma que pueda arder por completo	A	Agarrotamiento de inyectores	1	Deficiente inyección en las toberas
			B	Desgaste en la tobera de inyección	1	Polvo y suciedad en el combustible
			C	Mala combustión	1	Salida incorrecta de presión de la tobera
			D	Baja temperatura del cilindro	1	Deficiente inyección en las toberas
Culata	21	Recubre el volumen donde se produce la	A	Baja compresión	1	Fugas de compresión
					2	Bloque de cilindros o culata defectuosos

		combustión			3	Junta de culata defectuosa
Vástago de las válvulas	22	Es la parte que se introduce en una guía para que puedan subir y bajar las válvulas centradas en la culata	A	Falla de combustión	1	Vástago de la válvula y guía de la válvula roto
Sellos	23	Sellar uniones por las que se podrían fugar fluidos	A	No hay bombeo de aceite	1	Fugas de aceite, debido a los sellos o empaques defectuosos
Aceite lubricante	24	Enfriar las zonas calientes del motor y de las piezas en movimiento. Proteger las superficies internas del motor contra la corrosión	A	Agua mezclada en el aceite lubricante	1	Junta de la culata defectuosa
			B	Alta presión de aceite	1	Diferentes tipos de aceite
Medidor de nivel de aceite	25	Controla la cantidad necesaria de aceite en el motor	A	Baja presión de aceite	1	Aceite del motor es insuficiente
			B	Fugas de aceite	1	Aceite del motor es insuficiente
Filtro de aceite	26	Ayudar a limpiar el aceite de materias que contiene en suspensión	A	No hay bombeo de aceite	1	Filtro de aceite obstruido
			B	Fugas de aceite	1	Ajuste excesivo puede causar deformaciones en los sellos de goma
Rodamiento	27	Punto de apoyo del balancín para guiarlo en su rotación	A	Baja presión de aceite	1	Excesivo paso de aceite en el rodamiento del balancín
Conductos de aceite	28	Deriva el aceite a las piezas del motor	A	Taponamiento	1	Conducto de aceite atascado
Bomba de aceite	29	Proporcionar un flujo y presión constante de aceite limpio a todos los componentes que tienen fricción durante el funcionamiento del motor	A	Baja presión de aceite	1	La válvula de alivio de la bomba de aceite puede estar pegada, abierta o instalada al revés
					2	Tolerancias excesivas dentro de la bomba de aceite
Correa del	30	Mueve al	A	No hay flujo de aire	1	Correa del

ventilador		ventilador	B	Bajo flujo de aire	1	ventilador rota	La correa del ventilador se desliza
					2	Correa del ventilador defectuosa	
Refrigerante	31	Líquido que enfría el motor	A	Contaminación	1		Insuficiente agua de refrigeración
			B	Taponamiento	1		Inadecuado mantenimiento al sistema de refrigeración
Radiador	32	Enfría el refrigerante del sistema	A	Taponamiento	1		Red del radiador y aleta del radiador obstruido con polvo
			B	Fuga de refrigerante	1		Interior del radiador corroído
					2		Tapa del radiador suelta o defectuosa
Conexiones de refrigeración	33	Interconecta las piezas del sistema de refrigeración	A	Taponamiento	1		Ruta de flujo de refrigeración de agua corroído
Alternador	34	Recarga y mantenimiento del voltaje de la batería	A	Consumo prematuro de la carga de la batería	1		Alternador defectuoso

6.7.2 Hoja de decisión

Es en esta parte se integran las consecuencias y las tareas, se da respuesta a las últimas 3 preguntas de la metodología del RCM:

- ¿Qué importa si falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse en caso de no encontrar una tarea proactivamente apropiada?²⁵

La hoja de decisión está dividida en 16 columnas. Las primeras tres columnas F, FF, y FM identifican el modo de falla que se analizan es esa línea. Se utilizan para correlacionar las referencias de las hojas de información y las hojas de decisión.

Los encabezamientos de las siguientes diez columnas se refieren a las preguntas del árbol de decisiones (ver figura 35), de manera que:

- Las columnas tituladas H, S, E, O y N son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de los modos de falla, colocando S o N (Sí o No según aplique).
- Las tres columnas siguientes (tituladas H1, H2, H3, etc.) registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así, que tipo de tarea.
- Si se hace necesario responder a cualquiera de las preguntas “a falta de”, las columnas H4, H5 y S4 son las que permiten registrar esas respuestas, colocando S o N (Sí o No según aplique).
- Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hay), la frecuencia en la que debe hacerse, y quién ha sido seleccionado para realizarla.
- La columna de tarea propuesta también se utiliza para colocar actividades de “rediseño”, o si se decidió que el modo de fallo sea tratado (Moubray, 1991).

²⁵ DA COSTA BURGA, Martin. *Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción*. Tesis para optar por el título de Ingeniero Mecánico. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 2010.

A continuación se muestra el desarrollo de la hoja de decisión de un motor de combustión interna Kubota, las demás hojas planteadas se encuentran en los anexos DDD - KKK:

Tabla 22. Hoja de decisión EMK Motor Kubota V1505-T.

Empresa: CONTRATANTE							Autor: Andrea Paola González; Daniel Bohorquez						Fecha:			Hoja No. 1	
Departamento: DOP Operaciones							Auditor									de 9	
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía																	
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)																	
Sistema: PER Equipos operativos perforación																	
Subsistema: STPGUA101 Transmisión de potencia																	
Componente: EMK Motor Kubota V1505-T																	
REFERENCIA DE INFORMACION			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea propuesta	Intervalo inicial (horas)	A realizarse por		
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4					
							N1	N2	N3								
Depósito de combustible																	
1	A	1	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	Verificar el nivel de combustible	Diario	Operario		
1	B	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Purga del aire	100 horas	Mecánico		
1	B	2	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Inspeccionar sistema de combustible	100 horas	Mecánico		
Tubo de combustible																	
2	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Limpiar	1000 horas	Mecánico		
Filtro de combustible																	
3	A	1	N	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Limpiar o cambiar	100 horas para limpieza - 400 horas para cambio	Mecánico		
3	B	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Limpiar o cambiar	100 horas para limpieza - 400 horas para cambio	Mecánico		
3	C	1	N	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Limpiar o cambiar	100 horas para limpieza - 400 horas para cambio	Mecánico		
Bomba de inyección																	
4	A	1	S	S	S	S	N	S	N	N	N	N	Comprobar funcionamiento de la bomba	400 horas	Mecánico		
4	B	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Comprobar y limpiar los inyectores	2000 horas	Mecánico		
4	C	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Comprobar funcionamiento de la bomba	400 horas	Mecánico		
4	D	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Comprobar funcionamiento	400 horas	Mecánico		

													y limpiar la bomba de inyección		
4	E	1	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	Mantener carga de trabajo constante	Diario	Operario
4	E	2	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	Mantener carga de trabajo constante	Diario	Operario
4	F	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Comprobar funcionamiento de la bomba	400 horas	Mecánico
4	G	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Mantener carga de trabajo constante	Diario	Operario
4	H	1	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Comprobar funcionamiento y limpiar la bomba de inyección	400 horas	Mecánico
4	I	1	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	Mantener siempre el tapón de ventilación de aire cerrada en la bomba de inyección de combustible, excepto cuando está saliendo el aire	Diario	Operario
4	J	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Inspeccionar y limpiar el depósito de combustible periódicamente	1000 horas	Operario
Inyectores															
5	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Limpiar	2000 horas	Mecánico
5	A	2	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Comprobar estado de los inyectores	2000 horas	Mecánico
5	B	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Comprobar y limpiar los inyectores	2000 horas	Mecánico
Cigüeñal															
6	A	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Capacitar al personal continuamente en el correcto procedimiento de montaje del cigüeñal	Oportunidad de mejora	Ingeniero
6	B	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado del cojinete del cigüeñal	8500 horas	Mecánico
6	C	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado del cojinete del cigüeñal	8500 horas	Mecánico
Árbol de levas															
7	A	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Capacitar al personal continuamente en el correcto procedimiento de	Oportunidad de mejora	Ingeniero

														montaje del árbol de levas		
7	A	2	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	Capacitar al personal continuamente en el correcto procedimiento de montaje del árbol de levas	Oportunidad de mejora	Ingeniero
Pistones																
8	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Verificar desgaste de los pistones	8500 horas	Mecánico
Cilindros																
9	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Verificar desgaste de los cilindros	8500 horas	Mecánico
9	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Reemplazar la junta de la culata, apretar el tornillo de la culata, bujía y porta tobera	8500 horas	Mecánico
9	C	1	N	N	N	S	S	N	N	S	N	N	N	Realizar análisis predictivo del aceite	250 horas	Ingeniero especialista
Rodamiento de cigüeñal																
10	A	1	S	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	Verificar estado del cojinete del cigüeñal	8500 horas	Mecánico
Válvulas																
11	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Comprobar juego de las válvulas	800 horas	Mecánico
Anillos de compresión																
12	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Verificar desgaste de anillos de compresión	8500 horas	Mecánico
12	B	1	S	S	S	S	N	S	N	N	N	N	N	Ajustar el juego de la parte superior	8500 horas	Mecánico
Batería																
13	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Comprobar estado de la batería	500 horas	Operario
13	B	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	Comprobar estado de la batería	500 horas	Operario
Arranque																
14	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Verificar el funcionamiento del arranque	2000 horas	Mecánico
Cableado eléctrico																

15	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado de cables eléctricos	2000 horas	Mecánico
15	A	2	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado de cables eléctricos	2000 horas	Mecánico
Filtro de aire															
16	A	1	N	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Limpiar o cambiar	100 horas para limpieza - 8500 horas para cambio	Mecánico
Gobernador															
17	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar y regular gobernador	1500 horas	Mecánico
Depósito de aceite															
18	A	1	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	Reducir hasta el nivel especificado	Diario	Operario
Anillos de lubricación															
19	A	1	S	S	S	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado y desgaste de los anillos de lubricación	3 meses	Mecánico
19	B	1	S	S	S	S	S	N	N	N	N	N	Comprobar la conexión de escape y entrada de la cubierta del turbo para verificar si hay fugas en los gases de escape	2000 horas	Mecánico
Tobera de inyección															
20	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Comprobar y limpiar los inyectores	2000 horas	Mecánico
20	B	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Inspeccionar y limpiar el depósito de combustible periódicamente	1000 horas	Operario
20	C	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Comprobar la presión de inyección de la tobera. Si la condición de la pulverización es defectuosa, sustituya la tobera	1500 horas	Mecánico
20	D	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Comprobar estado de la tobera	500 horas	Mecánico
Culata															
21	A	1	N	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Realizar análisis predictivo del aceite	250 horas	Ingeniero especialista
21	A	2	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar pérdida de presión en el motor	1500 horas	Mecánico

21	A	3	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar pérdida de presión en el motor	1500 horas	Mecánico
Vástago de las válvulas															
22	A	1	N	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Realizar análisis predictivo del aceite	250 horas	Ingeniero especialista
Sellos															
23	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Reemplazar	2000 horas	Mecánico
Aceite lubricante															
24	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Reemplazar	200 horas	Mecánico
24	B	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Usar el tipo de aceite especificado	Actividad de planeación junto con el departamento de compras	Ingeniero
Medidor de nivel de aceite															
25	A	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Chequear el nivel de aceite	Diario	Operario
25	B	1	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	Chequear el nivel de aceite	Diario	Operario
Filtro de aceite															
26	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Limpiar el filtro de aceite	Diario	Operario
26	B	1	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	Cambiar el filtro de aceite según las especificaciones del fabricante	200 horas	Mecánico
Rodamiento															
27	A	1	N	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Realizar análisis de vibraciones	3000 horas	Ingeniero especialista
Conductos de aceite															
28	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Limpiar	100 horas	Mecánico
Bomba de aceite															
29	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar pérdida de presión en el motor	1500 horas	Mecánico
29	A	2	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar pérdida de presión en el motor	1500 horas	Mecánico
Correa del ventilador															
30	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Comprobar daños en la correa del ventilador, si la correa presenta daños graves reemplazar	100 horas	Mecánico
30	B	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Revisar la tensión de la correa del ventilador. Si la deflexión no está dentro de	100 horas	Mecánico

													los factores de especificación ajustar		
30	B	2	N	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Revisar la tensión de la correa del ventilador. Si la deflexión no está dentro de los factores de especificación ajustar	100 horas	Mecánico
Refrigerante															
31	A	1	N	S	S	S	N	N	S	N	N	N	Cambiar refrigerante/reponer	17000 horas	Operario/Mecánico
31	B	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Limpiar sistema de refrigeración	2000 horas	Mecánico
Radiador															
32	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Limpiar el interior del radiador	500 horas	Mecánico
32	B	1	S	S	S	S	N	S	N	N	N	N	Limpiar el interior del radiador	500 horas	Mecánico
32	B	2	S	S	S	S	N	S	N	N	N	N	Limpiar /Reemplazar la tapa de presión del radiador	3000 horas	Mecánico
Conexiones de refrigeración															
33	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar el estado de las conexiones de refrigeración	200 horas	Mecánico
Alternador															
34	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Inspeccionar el alternador	3000 horas	Mecánico

7. PRESENTACION DE RESULTADOS

7.1 RESULTADOS DEL AMEF

A continuación se muestran los resultados de la clasificación obtenidas a través del AMEF:

Tabla 23. Resultados AMEF EMK Motor Kubota V1505-T.

Empresa: CONTRATANTE								
Departamento: DOP Operaciones								
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía								
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						N° AMEF: 1		
Sistema: PER Equipos operativos perforación								
Subsistema: STPGUA101 Transmisión de potencia								
Componente: EMK Motor Kubota V1505-T								
Estándar de Función: Motor Kubota modelo d1005b(e), numero de cilindros 4, tipo vertical; refrigerado por agua; motor diésel de 4 ciclos, diámetro de carrera 76x73.6mm, potencia al freno; desplazamiento total 1001cm ³ , velocidad máxima 3800rpm; velocidad máxima en ralentí 600rpm, torque máximo 60,6/2000 y 58,4/2400 Nm/rpm, cámara de combustión tipo esférico, combustible de la bomba de inyección: Bosch md tipo de mini bomba, gobernador mecánico centrifugo, dirección de rotación sentido anti horario visto desde el volante, tobera de inyección tipo dnopd, sincronización de inyección sin temporizador 21 a 23° con temporizador 9 a 11°, presión de inyección 140kgf/cm ² , relación de compresión 22:1, lubricación forzada por bomba, indicador de presión de tipo eléctrico, sistema de refrigeración radiador presurizado circulación forzada con bomba de agua, arranque eléctrico de 12v 1,0kw, batería 12v 65amp combustible diésel # 2-d (astm d975), aceite lubricante mil-l- 46152; mil-l-2104 tipo api peso 93kg.								
SUBCOMPONENTE	MODO DE FALLO	EFFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	G	O	D	NPR	Nivel
Radiador	Taponamiento	Alta temperatura del motor	Red del radiador y aleta del radiador obstruido con polvo	6	10	4	240	C
Anillos de compresión	Se observan gases de escape ya sea blanco o azul	Perdida de eficiencia	Compresión deficiente	6	6	6	216	C
Sellos	No hay bombeo de aceite	Parada del motor	Fugas de aceite, debido a los sellos o empaques defectuosos	6	6	6	216	C
Radiador	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento del motor	Interior del radiador corroído	6	8	4	192	SC

Conexiones de refrigeración	Taponamiento	Sobrecalentamiento del motor	Ruta de flujo de refrigeración de agua corroído	6	8	4	192	SC
Filtro de aire	Restricción de aire	Motor no arranca	Filtro de aire tapado	6	6	5	180	SC
Conductos de aceite	Taponamiento	Sobrecalentamiento del motor	Conducto de aceite atascado	6	6	5	180	SC
Tobera de inyección	Mala combustión	Parada del motor	Salida incorrecta de presión de la tobera	6	4	7	168	SC
Tobera de inyección	Baja temperatura del cilindro	Perdida de potencia	Deficiente inyección en las toberas	6	4	7	168	SC
Depósito de combustible	Parada de motor	Perdida de potencia	Agua en el sistema de combustible	6	6	4	144	SC
Bomba de inyección	No hay combustión	Parada del motor	Mal funcionamiento bomba de inyección	6	6	4	144	SC
Bomba de inyección	Baja presión de combustible	Parada del motor	Inyección mal sincronizada	6	6	4	144	SC
Filtro de aceite	Fugas de aceite	Desgaste de piezas rotativas	Ajuste excesivo puede causar deformaciones en los sellos de goma	6	6	4	144	SC
Refrigerante	Contaminación	Sobrecalentamiento del motor	Insuficiente agua de refrigeración	5	9	3	135	SC
Cilindros	Desgaste y rayas en los cilindros	Parada del motor	Impurezas en el aceite del motor	8	2	8	128	SC
Tobera de inyección	Agarrotamiento de inyectores	Parada del motor	Deficiente inyección en las toberas	8	2	8	128	SC
Correa del ventilador	Bajo flujo de aire	Alta temperatura del motor	La correa del ventilador se desliza	4	8	4	128	SC
Filtro de combustible	Restricción de aire	Motor no arranca	Filtro de combustible obstruido	4	6	5	120	NC
Filtro de combustible	Revolución del motor no es uniforme	Parada del motor	Filtro de combustible taponado o sucio	4	6	5	120	NC
Filtro de combustible	No hay paso de combustible	Parada del motor	Filtro de combustible taponado	4	6	5	120	NC
Bomba de inyección	Taponamiento	Perdida de eficiencia	Inyección de combustible desigual	6	4	5	120	NC
Radiador	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento del motor	Tapa del radiador suelta o defectuosa	6	10	2	120	NC
Batería	Arranque no funciona	No hay encendido	Batería descargada	8	2	7	112	NC

Cableado eléctrico	No hay chispa	Arranque no funciona	Cableado desconectado	7	4	4	112	NC
Tobera de inyección	Desgaste en la tobera de inyección	Parada del motor	Polvo y suciedad en el combustible	7	2	8	112	NC
Bomba de aceite	Baja presión de aceite	Sobrecalentamiento del motor	La válvula de alivio de la bomba de aceite puede estar pegada, abierta o instalada al revés	7	2	8	112	NC
Refrigerante	Taponamiento	Alta temperatura del motor	Inadecuado mantenimiento al sistema de refrigeración	5	5	4	100	NC
Bomba de inyección	Agarrotamiento de inyectores	Perdida de potencia	Mal funcionamiento bomba de inyección	6	4	4	96	NC
Bomba de inyección	Consumo excesivo de combustible	Sobrecalentamiento del motor	Sobrecarga de funcionamiento	6	8	2	96	NC
Bomba de inyección	No hay suficiente combustible	Perdida de eficiencia	Inyección mal sincronizada	4	6	4	96	NC
Bomba de inyección	Desgaste en la bomba de inyección	Parada del motor	Polvo y suciedad en el combustible	6	4	4	96	NC
Inyectores	Baja temperatura del cilindro	Perdida de potencia	Inyectores obstruidos	6	4	4	96	NC
Inyectores	Baja temperatura del cilindro	Parada del motor	Inyectores agarrotados o tapados	6	4	4	96	NC
Inyectores	Salida deficiente	Perdida de eficiencia	Inyección incorrecta	4	6	4	96	NC
Medidor de nivel de aceite	Baja presión de aceite	Sobrecalentamiento del motor	Aceite del motor es insuficiente	4	6	4	96	NC
Medidor de nivel de aceite	Fugas de aceite	Sobrecalentamiento del motor	Aceite del motor es insuficiente	4	6	4	96	NC
Gobernador	Revoluciones no uniformes del motor	Perdida de potencia	Mal funcionamiento del gobernador	6	2	7	84	NC
Culata	Baja compresión	Perdida de potencia	Fugas de compresión	8	1	10	80	NC
Culata	Baja compresión	Sobrecalentamiento del motor	Bloque de cilindros o culata defectuosos	8	1	10	80	NC
Culata	Baja compresión	Sobrecalentamiento del motor	Junta de culata defectuosa	8	1	10	80	NC
Bomba de inyección	Ruido	Vibración	Inyección mal sincronizada	4	6	3	72	NC
Cigüeñal	Desbalanceo	Alta vibración	Atascamiento de cigüeñal	9	1	8	72	NC

Cigüeñal	Consumo excesivo de aceite lubricante	Cavitación	Cojinete del cigüeñal, y pasador del cigüeñal usados	6	2	6	72	NC
Árbol de levas	Desbalanceo	No hay admisión y escape	Fatiga del árbol de levas	9	1	8	72	NC
Árbol de levas	Desbalanceo	No hay admisión y escape	Atascamiento o desgaste del árbol de levas	9	1	8	72	NC
Pistones	Motor no comprime	Motor no arranca	Atascamiento de pistones	9	1	8	72	NC
Cilindros	Baja compresión	Parada del motor	Desgaste de cilindros	9	1	8	72	NC
Cilindros	No hay compresión en la cámara de combustión	No hay encendido	Fugas de compresión del cilindro	9	1	8	72	NC
Válvulas	No hay combustión	No hay encendido	Sincronización de válvulas incorrecta	6	2	6	72	NC
Vástago de las válvulas	Falla de combustión	Perdida de potencia	Vástago de la válvula y guía de la válvula roto	9	1	8	72	NC
Rodamiento	Baja presión de aceite	Cavitación	Excesivo paso de aceite en el rodamiento del balancín	6	2	6	72	NC
Rodamiento de cigüeñal	Ruido	Sobrecalentamiento del motor	Atascamiento o desgaste de rodamiento	8	1	8	64	NC
Bomba de aceite	Baja presión de aceite	Desgaste de piezas rotativas	Tolerancias excesivas dentro de la bomba de aceite	8	1	8	64	NC
Batería	Batería descarga rápidamente	No hay encendido	Electrolitos de la batería insuficientes	8	1	7	56	NC
Aceite lubricante	Alta presión de aceite	Sobrecalentamiento del motor	Diferentes tipos de aceite	5	2	5	50	NC
Depósito de combustible	Parada de motor	Perdida de potencia	Aire en el sistema de combustible	2	6	4	48	NC
Tubo de combustible	Restricción de combustible	Motor no arranca	Tubo de combustible obstruido	4	6	2	48	NC
Cigüeñal	Baja presión de aceite	Cavitación	Excesivo paso de aceite en el cojinete del cigüeñal	6	2	4	48	NC
Anillos de compresión	No hay compresión en la cámara de combustión	Perdida de potencia	Anillos del pistón y el cilindro desgastados	6	1	8	48	NC
Arranque	Circuito abierto	Motor no arranca	Mal	8	1	6	48	NC

			funcionamiento de arranque					
Filtro de aceite	No hay bombeo de aceite	Parada del motor	Filtro de aceite obstruido	4	6	2	48	NC
Correa del ventilador	Bajo flujo de aire	Alta temperatura del motor	Correa del ventilador defectuosa	6	2	4	48	NC
Correa del ventilador	No hay flujo de aire	Alta temperatura del motor	Correa del ventilador rota	6	1	7	42	NC
Depósito de aceite	Se observan gases de escape ya sea blanco o azul	Sobrecalentamiento del motor	Exceso de aceite del motor	5	2	4	40	NC
Anillos de lubricación	Se observan gases de escape ya sea blanco o azul	Sobrecalentamiento del motor	Anillos de pistón y revestimiento desgastados o atascados	5	1	8	40	NC
Anillos de lubricación	Humo negro excesivo	Carbonización	Anillo de lubricación gastado o pegado	5	1	8	40	NC
Depósito de combustible	Fuga de combustible	Motor no arranca	No hay combustible	2	6	3	36	NC
Aceite lubricante	Agua mezclada en el aceite lubricante	Sobrecalentamiento del motor	Junta de la culata defectuosa	6	1	6	36	NC
Cableado eléctrico	No hay chispa	Arranque no funciona	Cable desgastado	7	1	5	35	NC
Bomba de inyección	Se observan gases de escape ya sea negro gris oscuro	Alta presión de combustible	Sobrecarga	4	4	2	32	NC
Bomba de inyección	Se observan gases de escape ya sea negro gris oscuro	Alta presión de combustible	Configuración inadecuada de la salida de presión de combustible	4	3	2	24	NC
Bomba de inyección	Ruido	Parada del motor	Tapón de ventilación abierto en la bomba de inyección de combustible	4	6	1	24	NC
Alternador	Consumo prematuro de la carga de la batería	No hay encendido	Alternador defectuoso	4	2	3	24	NC

Tabla 24. Resultados AMEF Generador eléctrico portatil Sportsman GEN 10K.

Empresa: CONTRATANTE								
Departamento: DOP Operaciones								
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía								
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						N° AMEF: 2		
Sistema: GEN Equipo de generación eléctrica								
Subsistema: MEGUA 101 Generador eléctrico								
Componente: EGE 001 Generador eléctrico portatil Sportsman GEN 10K								
Estándar de Función: Motor 4 tiempos ohv, arranque eléctrico, motor a gasolina 15 hp, parada automática de aceite baja, alarma de bajo nivel de aceite, salida de 4-120 volt a/c, 1-120/240 volt bloqueo giratorio de ac, 8 galones del tanque de combustible, tiempo de trabajo del motor: 8 horas @ 50% carga, 10,000 vatios/7,000 vatios de funcionamiento, 37.12 oz (1.1litro) capacidad de aceite, nivel de ruido del motor: < 77db, 420cc desplazamiento, aprobado por la EPA, (batería no incluida)								
SUBCOMPONENTE	MODO DE FALLO	EFFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	G	O	D	NPR	Nivel
Filtro de aire	Restricción del aire	Combustión incompleta	Filtro de aire está sucio	6	6	5	180	SC
Nivel de aceite	Fugas de aceite	Sobrecalentamiento del motor	Aceite del motor es insuficiente	5	8	4	160	SC
Nivel de aceite	Fugas de aceite	Ruido en el motor	Nivel de aceite bajo	5	8	4	160	SC
Filtro de aire	Restricción del aire	Golpeteo en el motor	Filtro de aire está sucio	6	5	5	150	SC
Cables de alimentación	El generador funciona pero no admite todos los aparatos eléctricos conectados	Sobrecalentamiento en los cables de alimentación del tablero	El generador está sobrecargado	4	8	4	128	SC
Depósito de combustible	Golpeteo del motor	Parada de motor	Motor está lleno de gasolina contaminada y/o vieja gasolina	4	6	5	120	NC
Cable de bujía	Circuito abierto	Golpeteo en el motor	Cable de la bujía suelto	5	6	4	120	NC
Filtro de aire	Restricción del aire	Motor no arranca	Filtro de aire está sucio	5	6	4	120	NC
Filtro de aire	Restricción del aire	Perdida de potencia	Filtro de aire está sucio	5	6	4	120	NC
Filtro de aire	Restricción del aire	Alto consumo de aceite	Filtro de aire está sucio	5	6	4	120	NC
Filtro de combustible	Revolución del motor no es uniforme	Motor no arranca	Filtro de combustible obstruido	4	6	5	120	NC
Filtro de combustible	Revolución del motor no es uniforme	Baja potencia	Filtro de combustible taponado o sucio	4	6	5	120	NC

Cables de alimentación	El generador funciona pero no admite todos los aparatos eléctricos conectados	Sobrecalentamiento en los cables de alimentación del tablero	Ventilación insuficiente	3	8	4	96	NC
Panel de energía	Carga no energizada	Sin salida de Corriente Alterna	Regulación de voltaje automática defectuosa	6	4	4	96	NC
Limitador del motor	Oscilación en la tensión de la carga	El generador oscila	Limitador del motor defectuoso	4	6	4	96	NC
Panel de energía	Caída de tensión en la carga	Sin salida de Corriente Alterna	Condensador defectuoso	5	4	4	80	NC
Depósito de combustible	Fuga de combustible	Parada de motor	Mal mantenimiento	4	6	3	72	NC
Nivel de aceite	Des calibración	Sobrecalentamiento del motor	Generador no está sobre una superficie nivelada	2	6	6	72	NC
Depósito de combustible	Baja potencia	Parada de motor	Sin combustible	4	4	4	64	NC
Panel de energía	Salida de fase sin energizar	Sin salida de Corriente Alterna	Cortocircuito abierto	4	4	4	64	NC
Cilindros	Baja compresión	Parada del motor	Desgaste de cilindros	8	1	8	64	NC
Bujía	No hay chispa	Falla en el arranque	Bujía defectuosa o con desgaste	6	2	5	60	NC
Cable de bujía	Circuito abierto	Falla en el arranque	Cable corroído/sulfatado	6	2	5	60	NC
Panel de energía	Carga no energizada	Sin salida de Corriente Alterna	Conjunto de cepillo defectuoso	5	2	6	60	NC
Depósito de combustible	Fuga de combustible	El motor no arranca	Sin combustible	3	6	3	54	NC
Bujía	Golpeteo del motor	Alta vibración	Bujía está muy sucia	5	2	5	50	NC
Bujía	Oscilaciones	Parada de motor	Excesivo entrehierro	5	2	5	50	NC
Anillos de lubricación	Mala combustión	Alto consumo de aceite	Desgaste en los anillos de lubricación	5	1	8	40	NC
Anillos del pistón	Mala combustión	Perdida de potencia	Formación de hollín que obstruye las encías y los anillos del pistón	5	1	8	40	NC
Interruptor del motor	El motor no arranca	Perdida de potencia	Interruptor del motor está en "off"	2	6	2	24	NC
Interruptor del motor	El generador funciona pero no hay salida eléctrica	Perdida de potencia	Interruptor de circuito está apagado	2	6	2	24	NC
Panel de energía	Carga no energizada	Sin salida de Corriente Alterna	Cable incorrectamente conectado	3	4	2	24	NC

Tabla 25. Resultados AMEF EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.

Empresa: CONTRATANTE								
Departamento: DOP Operaciones								
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía								
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						N° AMEF: 3		
Sistema: PER Equipos operativos perforación								
Subsistema: SATGUA101 Actuadores taladro de perforación								
Componente: EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps								
Estándar de Función: Modelo I06, numero de pistones 3, configuración horizontal de triple pistón, longitud de la carrera 1.5", capacidad de carga 2800lb, peso de la bomba 175lb, sentido de giro: parte superior del eje hacia la cabeza, velocidad intermitente 500rpm, velocidad continua 350rpm,maximo grado de velocidad válvula de bolas 200rpm, velocidad mínima 100rpm, eficiencia mecánica 90%, sistema de lubricación: splash retorno por gravedad, aceite lubricante 2/4, tipo de aceite lubricante SAE 30, temperatura máxima de fluido 140 °F, temperatura mínima de fluido 0°F, estándar del tamaño de succión 1.5"npt, estándar de tamaño de descarga 1.25"npt, tipo de material acero dúctil, níquel, aluminio, bronce, tipo de válvula "válvula de disco"								
SUBCOMPONENTE	MODO DE FALLO	EFFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	G	O	D	NPR	Nivel
Ductos de lubricación	Obstrucción de los pasajes de lubricación	Parada de la bomba	Aceite contaminado	6	6	6	216	C
Tanque de suministro de aceite hidráulico	No hay flujo en la bomba	La bomba no recibe flujo	No hay liquido en el deposito (tanque)	6	6	5	180	SC
Impulsor	Cavitación	Presión de succión baja en la entrada de la bomba	Formación de bolsas de gas en los puntos altos en la absorción	6	4	7	168	SC
Tanque de suministro de aceite hidráulico	Reducción de la vida de la válvula	Sobrecalentamiento	Partículas altamente abrasivas en fluido	5	6	5	150	SC
Válvula de entrada	No hay flujo en la bomba	La bomba no recibe flujo	Línea de la válvula de entrada cerrada	6	6	4	144	SC
Correa de transmisión	Ruido	Presión insuficiente de la bomba	Velocidad en la bomba es demasiado baja	6	6	4	144	SC
Correa de transmisión	Ruido	Caudal insuficiente de la bomba	Velocidad en la bomba es demasiado baja	6	6	4	144	SC
Tubo de aspiración	Entrada de aire por el tubo de aspiración	Cavitación	Entrada de aire por el tubo de aspiración	6	6	4	144	SC
Filtro de entrada	La bomba no toma el flujo completo de aceite	Desplazamiento lento de los cilindros	Filtro de entrada está totalmente tapado con escombros	5	4	7	140	SC

Cilindros	La bomba no toma el flujo completo de aceite	Desplazamiento lento de los cilindros	Descarga de la bomba reducida	5	4	7	140	SC
Pistones	Fugas de producto	Vibración excesiva	Sujeción incorrecta de la máquina a pistones axiales.	8	2	8	128	SC
Filtro de entrada	No hay flujo	La bomba no recibe flujo	Filtro de entrada está totalmente tapado con escombros	5	6	4	120	NC
Válvula de retención	No hay flujo	Caudal insuficiente de la bomba	Válvulas de retención gastadas	6	4	5	120	NC
Rodamiento	Juego en el eje	Vibración	Rodamiento defectuoso	7	2	8	112	NC
Sellos	Fugas	Disminución de rendimiento de la bomba	Fuga excesiva por los sellos de la bomba	5	4	5	100	NC
Tanque de suministro de aceite hidráulico	Conexiones desajustadas	Ruido excesivo en bomba	Aire en el fluido	4	6	4	96	NC
Tanque de suministro de aceite hidráulico	Ruido	Mal funcionamiento de las bombas por golpes o vibraciones	Bajo nivel de aceite en el extremo de alimentación	4	6	4	96	NC
Correa de transmisión	Sacudidas del cigüeñal o arranque y detención de la rotación	Vibración	Correas de transmisión sueltas o con deslizamiento	6	2	8	96	NC
Cámaras de bombeo	Cavitación	Baja presión del lado de la succión de la bomba	Erosión del metal	6	2	8	96	NC
Válvula de alivio	No hay flujo	Presión insuficiente de la bomba	Válvula de alivio mal ajustada o desgastada	5	4	4	80	NC
Válvula de alivio	No hay flujo	Caudal insuficiente de la bomba	Válvula de alivio mal ajustada o desgastada	5	4	4	80	NC
Cilindros	Cavitación	Cilindro de fluido roto o agrietado en el extremo	Choque hidráulico (cavitación o aire mezclado)	8	1	8	64	NC
Pistones	Cavitación	Biela rota	Choque hidráulico debido a la cavitación	8	1	8	64	NC
Eje de la bomba	No da caudal	Parada de la bomba	Eje de la bomba roto	8	1	8	64	NC
Ductos de lubricación	Baja presión en la bomba	Parada de la bomba	Desgaste del cojinete patín de deslizamiento	6	1	8	48	NC
Línea de succión	Fluctuación rápida en la presión de succión	Ruido y Cavitación excesivo	Desgaste en las diferentes partes de la bomba	6	1	8	48	NC

Fuente: Autoría del proyecto.

Tabla 26. Resultados AMEF EMD001 Motor DEK F400S.

Empresa: CONTRATANTE								
Departamento: DOP Operaciones								
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía								
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						N° AMEF: 4		
Sistema: CAG Captación de agua								
Subsistema: CAGGUA101 Captación de agua para proceso								
Componente: EMD001 Motor DEK F400S								
Estándar de Función: Motor Diésel de inyección directa DEK F400S, 1 cilindro, carrera 70 mm, 4 tiempos, desplazamiento 406 cc, potencia continua 7.7 HP/3000 rpm, potencia máxima 8.8 HP/3000 rpm, sentido de giro anti horario (visto desde el eje del motor), sistema de arranque YOYO retráctil, capacidad de tanque 5.5 L, capacidad de aceite 1.65 L., refrigerado por aire, consumo de combustible 201 g/hp.h, sistema de enfriamiento aire forzado, sistema de lastre centrifugo, tiempo de trabajo continuo 2.5 h, nivel de ruido 88 dB a 4 m, dimensiones: longitud 525 mm, ancho 470 mm, altura 565 mm, peso 56 Kg.								
SUBCOMPONENTE	MODO DE FALLO	EFFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	G	O	D	NPR	Nivel
Filtro de aceite	No hay bombeo de aceite	Parada del motor	Filtro de aceite obstruido	7	7	6	294	C
Ventilador	Bajo flujo de aire	Sobrecalentamiento del motor	El ventilador no funciona bien	8	6	6	288	C
Válvula	No hay combustión	No hay encendido	Sincronización de válvulas incorrecta	7	5	8	280	C
Tobera de inyección	Mala combustión	Parada del motor	Salida incorrecta de presión de la tobera	7	5	8	280	C
Bomba de inyección	Baja presión de combustible	Parada del motor	Inyección mal sincronizada	7	5	7	245	C
Anillo de compresión	Se observan gases de escape ya sea blanco o azul	Perdida de eficiencia	Compresión deficiente	7	5	7	245	C
Aceite lubricante	Agua mezclada en el aceite lubricante	Sobrecalentamiento del motor	Junta de la culata defectuosa	8	6	5	240	C
Tobera de inyección	Baja temperatura del cilindro	Perdida de potencia	Deficiente inyección en las toberas	7	4	8	224	C
Cilindro	Desgaste y rayas en los cilindros	Parada del motor	Impurezas en el aceite del motor	8	3	9	216	C
Bomba de inyección	Consumo excesivo de combustible	Sobrecalentamiento del motor	Sobrecarga de funcionamiento	7	5	6	210	C
Filtro de aceite	Saturación del filtro	Desgaste del motor	Falta de cambio del filtro regularmente	7	6	5	210	C
Bomba de inyección	Agarrotamiento de inyectores	Perdida de potencia	Mal funcionamiento bomba de inyección	8	3	7	168	SC

Cigüeñal	Baja presión de aceite	Cavitación	Excesivo paso de aceite en el cojinete del cigüeñal	7	3	8	168	SC
Tobera de inyección	Desgaste en la tobera de inyección	Parada del motor	Polvo y suciedad en el combustible	7	3	8	168	SC
Sellos	No hay bombeo de aceite	Parada del motor	Fugas de aceite, debido a los sellos o empaques defectuosos	6	4	7	168	SC
Bomba de inyección	Ruido	Vibración	Inyección mal sincronizada	7	3	7	147	SC
Bomba de inyección	No hay suficiente combustible	Perdida de eficiencia	Inyección mal sincronizada	7	3	7	147	SC
Gobernador	Revoluciones no uniformes del motor	Perdida de potencia	Mal funcionamiento del gobernador	6	4	6	144	SC
Depósito de combustible	Parada de motor	Perdida de potencia	Agua en el sistema de combustible	7	5	4	140	SC
Cilindro	No hay compresión en la cámara de combustión	No hay encendido	Fugas de compresión del cilindro	8	2	8	128	SC
Anillo de compresión	No hay compresión en la cámara de combustión	Perdida de potencia	Anillos del pistón y el cilindro desgastados	8	2	8	128	SC
Bomba de inyección	Ruido	Parada del motor	Tapón de ventilación abierto en la bomba de inyección de combustible	6	3	7	126	SC
Depósito de aceite	Se observan gases de escape ya sea blanco o azul	Sobrecalentamiento del motor	Exceso de aceite del motor	3	7	6	126	SC
Filtro de combustible	Restricción de aire	Motor no arranca	Filtro de combustible obstruido	5	8	3	120	NC
Filtro de combustible	Revolución del motor no es uniforme	Parada del motor	Filtro de combustible taponado o sucio	5	8	3	120	NC
Filtro de combustible	No hay paso de combustible	Parada del motor	Filtro de combustible taponado	5	8	3	120	NC
Conductos de aceite	Taponamiento	Sobrecalentamiento del motor	Conducto de aceite atascado	8	2	7	112	NC
Bomba de aceite	Baja presión de aceite	Sobrecalentamiento del motor	La válvula de alivio de la bomba de aceite puede estar pegada, abierta o instalada al revés	8	2	7	112	NC
Bomba de aceite	Baja presión de aceite	Desgaste de piezas rotativas	Tolerancias excesivas dentro de la bomba de aceite	8	2	7	112	NC

Bomba de inyección	Se observan gases de escape ya sea negro gris oscuro	Alta presión de combustible	Sobrecarga	6	3	6	108	NC
Aceite lubricante	Alta presión de aceite	Sobrecalentamiento del motor	Diferentes tipos de aceite	7	2	7	98	NC
Filtro de aceite	Fugas de aceite	Desgaste de piezas rotativas	Ajuste excesivo puede causar deformaciones en los sellos de goma	7	2	6	84	NC
Bomba de inyección	No hay combustión	Parada del motor	Mal funcionamiento bomba de inyección	9	1	8	72	NC
Pistón	Motor no comprime	Motor no arranca	Atascamiento de pistones	8	1	9	72	NC
Cilindro	Baja compresión	Parada del motor	Desgaste de cilindros	8	1	9	72	NC
Tobera de inyección	Agarrotamiento del inyector	Parada del motor	Deficiente inyección en las toberas	8	1	9	72	NC
Cigüeñal	Desbalanceo	Vibración	Atascamiento de cigüeñal	8	1	8	64	NC
Árbol de levas	Desbalanceo	No hay admisión y escape	Atascamiento o desgaste del árbol de levas	8	1	8	64	NC
Bomba de inyección	Desgaste en la bomba de inyección	Parada del motor	Polvo y suciedad en el combustible	7	1	8	56	NC
Cigüeñal	Consumo excesivo aceite lubricante	Cavitación	Cojinete del cigüeñal, y pasador del cigüeñal usados	7	1	8	56	NC
Vástago de la válvula	Falla de combustión	Perdida de potencia	Vástago de la válvula y guía de la válvula roto	7	1	8	56	NC
Depósito de combustible	Parada de motor	Perdida de potencia	Aire en el sistema de combustible	6	2	4	48	NC
Bomba de inyección	Taponamiento	Perdida de eficiencia	Inyección de combustible desigual	8	1	6	48	NC
Depósito de combustible	Fuga de combustible	Motor no arranca	No hay combustible	4	1	3	12	NC

Tabla 27. Resultados AMEF ETA 001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.

Empresa: CONTRATANTE								
Departamento: DOP Operaciones								
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía								
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)				N° AMEF: 5				
Sistema: PER Equipos operativos perforación								
Subsistema: LUBGUA101 Suministro hidráulico taladro de perforación								
Componente: ETA 001 Tanque de suministro de aceite hidráulico								
Estándar de Función: Capacidad 12.5 gal., temperatura de trabajo 120 a 150°F, temperatura máxima permitida 180°F.								
SUBCOMPONENTE	MODO DE FALLO	EFEITOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	G	O	D	NPR	Nivel
Tubería de suministro	Taponamiento	Sistema hidráulico no arranca	Obstrucción de la tubería	6	5	5	150	SC
Tubería de retorno	Taponamiento	Colapso del sistema hidráulico	Obstrucción de la tubería	6	5	5	150	SC
Mirilla-Indicador	Sistema hidráulico no arranca	Pérdida de potencia del sistema hidráulico	Indicador dañado, no se reconoce el nivel actual de aceite en el tanque	7	3	7	147	SC
Drenaje	Taponamiento	No se puede retirar el aceite usado normalmente	Partículas de mayor tamaño al drenaje lo están obstruyendo	6	6	4	144	SC
Rejilla de llenado	Taponamiento en alguna parte del depósito de aceite	Pérdida de potencia del sistema hidráulico	Rejilla dañada	6	6	4	144	SC
Respiradero	Elevación de la temperatura del aceite	Pérdida de potencia del sistema hidráulico	Respiradero taponado	5	4	4	80	NC
Respiradero	Taponamiento	El aceite no fluye normalmente hacia el sistema hidráulico	Partículas de mayor tamaño al agujero del respiradero entraron en contacto con el mismo	5	3	5	75	NC
Tapa de llenado	Exceso de aire en el tanque	Pérdida de potencia del sistema hidráulico	Pérdida de la tapa	7	2	5	70	NC
Depósito de aceite	Fuga de aceite	Sistema hidráulico no arranca	Rotura de la estructura del depósito	8	1	7	56	NC
Respiradero	Taponamiento en alguna parte del depósito de aceite	Pérdida de potencia del sistema hidráulico	Rejilla dañada	5	2	5	50	NC
Depósito de aceite	Fuga de aceite	Sistema hidráulico no arranca	No hay aceite	8	1	5	40	NC

Tabla 28. Resultados AMEF EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.

Empresa: CONTRATANTE								
Departamento: DOP Operaciones								
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía								
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						N° AMEF: 6		
Sistema: PER Equipos operativos perforación								
Subsistema: SATGUA101 Actuadores taladro de perforación								
Componente: EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series								
Estándar de Función: Desplazamiento del motor de 4,9 in ^{^3} /rv, 908 rpm, torque 2065 lb-in, extracción máxima 12.000 lb, empuje máximo 8.000 lb, peso 20,5 lb.								
SUBCOMPONENTE	MODO DE FALLO	EFFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	G	O	D	NPR	Nivel
Bomba	Dirección lenta, dirección dura, o pérdida de energía.	Parada brusca del taladro operado por el motor de rotación	Desgaste o mal funcionamiento de la bomba	8	5	6	240	C
Unidad de dirección	Dirección suave	Pérdida de potencia	Bajo nivel de aceite hidráulico	6	5	6	180	SC
Eje del motor	Dirección no funciona	No hay movimiento del motor	Columna superior del eje esta suelta o dañada	4	6	6	144	SC
Eje del motor	Dirección no funciona	No hay movimiento del motor	El cuñero del eje puede estar roto	6	4	6	144	SC
Unidad de dirección	Dirección no funciona	No hay movimiento del motor	No hay flujo de aceite	6	4	6	144	SC
Volante	Aumento del par del motor de una manera brusca	Rotura de los engranajes	Choque térmico	8	2	8	128	SC
Unidad de dirección	Dirección suave	Pérdida de potencia	Aire atrapado en las líneas de conducción o en el cilindro de operación	3	6	7	126	SC
Sellos y mangueras	Movimiento lento de la dirección	Pérdida de potencia y de rotación	Fuga en los sellos del pistón o en las líneas hidráulicas conectadas al motor	5	5	5	125	SC
Volante	Volante descentrado	Desviación de la trayectoria del eje del motor	Alta presión que ocasiona un lento retorno del fluido hidráulico	4	6	5	120	NC
Líneas de conducción	Oscilación e inestabilidad del motor	Mal operación en el proceso de perforación	Aire en las líneas de conducción	4	6	5	120	NC
Cilindro	Tendencia del motor a desviarse del rumbo a	Desacople del motor	Pistón del cilindro suelto	7	2	8	112	NC

	través de la operación								
Unidad de dirección	Dirección no funciona	No hay movimiento del motor	Daños internos por choque térmico	7	2	7	98	NC	
Unidad de dirección	Unidad de dirección bloqueada	No hay movimiento del motor	Energía hidráulica insuficiente	8	2	6	96	NC	
Compensador de la bomba	Dirección lenta, dirección dura, o pérdida de energía.	Pérdida de potencia	El compensador de la bomba se encuentra desgastado y permite que la presión del sistema sea inferior a la especificada	6	2	7	84	NC	
Unidad de dirección	Tendencia del motor a desviarse del rumbo a través de la operación	Rotura de la broca operada por el motor	Desgaste severo en la unidad de control de dirección	8	1	8	64	NC	
Unidad de dirección	Dirección errática	Pérdida de potencia y de rotación	Daños por choque térmico	8	1	8	64	NC	
Unidad de dirección	Unidad de dirección bloqueada	No hay movimiento del motor	Desgaste severo del pin	8	1	8	64	NC	
Divisor de flujo	Dirección lenta, dirección dura, o pérdida de energía.	Pérdida de potencia	El pistón del divisor de flujo está pegado	6	2	5	60	NC	
Unidad de dirección	Juego excesivo del volante	No hay un movimiento correcto del motor	Acople entre el eje motriz y los engranes está fallando	5	2	6	60	NC	
Eje del motor	Dirección lenta, dirección dura, o pérdida de energía.	Rotura del eje	Sobrecarga en el eje de dirección	8	1	7	56	NC	
Eje del motor	Tendencia del motor a desviarse del rumbo a través de la operación	Rotura del eje	Aire en el sistema debido al bajo nivel de aceite	8	1	7	56	NC	
Cilindro	Desviación de la trayectoria del eje del motor	Rotura de la broca operada por el motor	El cilindro del extremo del vástago se extiende lentamente sin girar el volante	7	1	8	56	NC	

Varillaje de la dirección	Desviación de la trayectoria del eje del motor	Daño permanente de la dirección	Varillaje de la dirección desgastado o dañado	7	1	8	56	NC
Volante	Juego excesivo del volante	Giros bruscos del motor	Eje de la columna de dirección desgastado	8	1	7	56	NC
Líneas de conducción	Eje gira en sentido contrario al mando que dio el operador	Rotura de la broca operada por el motor	Líneas de accionamiento del motor están mal conectadas	8	1	7	56	NC
Cilindro	Dirección errática	Desacople del motor	Pistón del cilindro suelto	6	1	7	42	NC
Volante	Volante descentrado	Desviación de la trayectoria del eje del motor	Desalineación de la columna de dirección o de la conexión estriada de entrada	6	1	7	42	NC
Eje de dirección	Dirección errática	Desgaste del eje	Aire en el sistema debido al bajo nivel de aceite	6	1	7	42	NC
Acople del motor	Tendencia del motor a desviarse del rumbo a través de la operación	Rotura del acople o del cilindro	Conexión mecánica desgastada	8	1	5	40	NC
Acople del motor	Tendencia del motor a desviarse del rumbo a través de la operación	Rotura del acople o del cilindro	Flexión de la articulación o el cilindro de vástagos.	7	1	5	35	NC
Válvula de alivio	Dirección lenta, dirección dura, o pérdida de energía.	Pérdida de potencia	Mal funcionamiento de la válvula de alivio permite que la presión del sistema sea inferior a la especificada	6	1	5	30	NC
Unidad de dirección	Movimiento lento de la dirección	Pérdida de potencia y de rotación	Desgaste en la unidad de dirección	6	1	5	30	NC
Unidad de dirección	Dirección gira con una ligera resistencia	Movimiento lento del motor	Junta del pistón está afuera	6	1	5	30	NC

Tabla 29. Resultados AMEF EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.

Empresa: CONTRATANTE								
Departamento: DOP Operaciones								
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía								
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						N° AMEF: 7		
Sistema: PER Equipos operativos perforación								
Subsistema: SATGUA101 Actuadores taladro de perforación								
Componente: EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000								
Estándar de Función: Apertura y cierre hidráulico, empuje axial 12000 lb, capacidad máxima BO a HW, número de mordazas 2, tamaño máximo del vástago 4-1/2", peso 76 lb.								
SUBCOMPONENTE	MODO DE FALLO	EFFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	G	O	D	NPR	Nivel
Cojinete	Foot clamp no cierra correctamente	Rotura de tubo de perforación, juego en el taladro	Cojinete descentrado	7	6	7	294	C
Cilindro	Desgaste y rayas en los cilindros	Fuga de aceite, pérdida de presión y potencia	Aceite contaminado, exposición a ambientes contaminantes	8	6	6	288	C
Cojinete	Foot clamp no cierra correctamente	Falla en la carga/descarga, apriete/desapriete de los tubos	Juego en el cojinete, mal instalación	8	7	5	280	C
Cilindro	El cilindro presenta una alta temperatura de operación	Desgaste del material del cilindro, pérdida de diámetro del cilindro	Fugas internas	7	5	6	210	C
Sellos	Fugas externas	Pérdida de fluido, velocidad y presión	Sellos presentan desgaste por la apertura continua del foot clamp	6	6	5	180	SC
Mangueras	Fugas externas	Pérdida de potencia y presión de cierre	Mala instalación	6	7	4	168	SC
Vástago	Foot clamp no cierra correctamente	Pérdida de potencia	Vástago de la válvula y guía de la válvula roto	8	1	7	56	NC

Tabla 30. Resultados AMEF ERB001 Winche Hydracore 2000.

Empresa: CONTRATANTE								
Departamento: DOP Operaciones								
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía								
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						N° AMEF: 8		
Sistema: PER Equipos operativos perforación								
Subsistema: SATGUA101 Actuadores taladro de perforación								
Componente: ERB001 Winche Hydracore 2000								
Estándar de Función: Winche operado por una válvula de cuatro vías cuatro posiciones 4/4, capacidad 900 ft de cable, calibre del cable 3/16", discos estacionarios que rodean el cable, tambor de aluminio.								
SUBCOMPONENTE	MODO DE FALLO	EFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	G	O	D	NPR	Nivel
Sistema hidráulico asociado al winche	Cable de operación no se desenrolla	Accidentes en la operación de trabajo del taladro	El sistema hidráulico no acumula suficiente presión para liberar el freno	8	6	6	288	C
Tren de engranajes	Cable de operación no se desenrolla	Mal funcionamiento del componente	El tren de engranajes se está trabajando mecánicamente.	6	7	5	210	C
Freno	El winche no levanta la carga, para el caso la broca de perforación	La broca de perforación no puede ser extraída correctamente	El freno no se libera	8	8	3	192	SC
Motor hidráulico	El winche no levanta la carga, para el caso la broca de perforación	La broca de perforación no puede ser extraída correctamente	La presión del sistema hidráulico no es adecuada para activar la carga, o la contrapresión es demasiado alta	8	8	3	192	SC
Estructura: Tambor, tornillos	El winche no levanta la carga, para el caso la broca de perforación	La broca de perforación no puede ser extraída correctamente	El winche se está trabando mecánicamente	7	9	3	189	SC
Freno	Hay pérdida de aceite hidráulico de la caja de freno, motor o apoyo de extremo	Pérdida de presión, velocidad y potencia del winche	Falló el sellado frontal del eje del motor hidráulico	5	9	4	180	SC
Freno	Cable de operación no se desenrolla	Accidentes en la operación de trabajo del taladro	El freno no se libera porque no está recibiendo la señal de piloto	5	10	3	150	SC
Freno	Cable de operación no se desenrolla	Accidentes en la operación de trabajo del taladro	El freno se está trabando mecánicamente	5	10	3	150	SC

Motor hidráulico	Hay pérdida de aceite hidráulico de la caja de freno, motor o apoyo de extremo	Pérdida de presión, velocidad y potencia del winche	Falló el sellado frontal del eje del motor hidráulico	8	6	3	144	SC
------------------	--	---	---	---	---	---	------------	----

Tabla 31. Resultados AMEF ETC001 Panel de control Hydracore 2000.

Empresa: CONTRATANTE								
Departamento: DOP Operaciones								
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía								
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						N° AMEF: 9		
Sistema: PER Equipos operativos perforación								
Subsistema: SCLGUA101 Control taladro de perforación								
Componente: ETC001 Panel de control Hydracore 2000								
Estándar de Función: Control de bloqueo, niveles de velocidad para la bomba de agua, control de desplazamiento, control de motor de rotación, nivel y posición del winche, peso 220 lb.								
SUBCOMPONENTE	MODULO DE FALLO	EFFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	G	O	D	NPR	Nivel
Conexión de energía principal	No responde el control de ningún sistema	No arranca el sistema	Rotura de la toma o del cable	6	3	6	108	NC
Válvulas de regulación y control	Falla de operación	Vibración que ocasiona apertura ligera de la válvula	Bloqueo de la válvula	8	2	5	80	NC
Válvulas de seguridad	Escape	Pérdida de presión para algún comando específico	Bloqueo o apertura descontrolada	6	2	5	60	NC
Problema de operario	Accidente laboral, accidente con el equipo	Movimiento equivocado de algún sistema del taladro de perforación	Falta de capacitación y conocimiento del uso de los controles	8	1	7	56	NC
Válvulas anti retorno	Inversión de flujo	Fuga, explosión	Válvulas anti retorno como insuficiente sistema de seguridad	9	1	6	54	NC
Válvulas de regulación y control	Error en la transmisión de la señal	Error en algún tipo de movimiento del taladro	Falta de comunicación de la señal	6	2	4	48	NC
Válvulas de regulación y control	Error en la transmisión de la señal	Error en algún tipo de movimiento del taladro	Avería interna	6	2	4	48	NC
Indicadores de presión	Falta de presión	No arranca el sistema	El indicador no funciona y se dificulta detectar la falta de presión	8	1	6	48	NC
Indicadores de presión	Sobrepresión	Fuga, explosión	El indicador no funciona y es imposible detectar la elevación de presión	9	1	5	45	NC
Palancas o mandos	Falta de control específico	Accidente, error en la operación	Rotura de la palanca o mando	8	1	5	40	NC
Conexión de energía principal	No responde el control de ningún sistema	No arranca el sistema	Falta de potencia del generador	6	1	6	36	NC

Válvulas de regulación y control	Falla de operación	Vibración que ocasiona apertura ligera de la válvula	Rotura de la válvula	8	1	4	32	NC
Válvulas de regulación y control	Falta de estanqueidad	Formación de sustancias tóxicas y/o corrosivas	Fallo de la junta de estanqueidad por corrosión interna	6	1	5	30	NC
Válvulas de regulación y control	Error en la transmisión de la señal	Fuga, explosión	Sobrepresión	8	1	3	24	NC
Válvulas de seguridad	Explosión	Parada del equipo	Bloqueo o apertura descontrolada	8	1	3	24	NC
Válvulas de regulación y control	Error en la transmisión de la señal	Error en algún tipo de movimiento del taladro	Desconexión eléctrica	2	4	2	16	NC

7.2 RESULTADO DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO GRAFICO

En las siguientes tablas se presentan los cuadros con los resultados de análisis de vida de los equipos del taladro de perforación minera obtenidos a través del método gráfico utilizando el software PTC Windchill Quality Solutions 10.2 (Tryout).

Tabla 32. Parámetros de vida de los equipos del taladro de perforación minera.

Parámetros de vida Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						
Tag	Componente	Periodo de estudio (Días)	$\beta < 1$	$\beta = 1$	$\beta > 1$	Etapa de vida
EMK001	Motor Kubota V1505-T	1066			1,2	Desgaste
EMK002	Motor Kubota V1505-T	1066	0,89			Infancia
EMK003	Motor Kubota V1505-T	1066	0,81			Infancia
EGE001	Generador eléctrico portatil Sportsman GEN 10K	1066			1,2	Desgaste
EBA102	Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	1066	0,88			Infancia
EMD001	Motor DEK F400S	1066			1,1	Desgaste
ETA001	Tanque de suministro de aceite hidráulico	1066	0,93			Infancia
EMR001	Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	1066	0,92			Infancia
EFC001	Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000	1066	0,67			Infancia
ERB001	Winche Hydracore 2000	1066	0,89			Infancia
ETC001	Panel de control Hydracore 2000	1066			1,2	Desgaste

En la tabla 33 se muestran los parámetros de forma β , y de escala η , el tiempo medio entre fallas MTBF y la confiabilidad evaluada en dos diferentes espacios de tiempo para cada uno de los equipos del taladro de perforación minera.

Tabla 33. Indicador de confiabilidad equipos del taladro de perforación minera.

Confiabilidad para el Taladro de Perforación Minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)							
Tag	Componente	Fecha inicial de operación	β	η	MTBF (días)	R(1066 días)	R(2 días)
EMK001	Motor Kubota V1505-T	30/01/2012	1,2	54,3	52	0,000%	98%
EMK002	Motor Kubota V1505-T	30/01/2012	0,9	71,6	71	0,001%	96%
EMK003	Motor Kubota V1505-T	30/01/2012	0,8	71,1	67	0,012%	95%
EGE001	Generador eléctrico portatil Sportsman GEN 10K	30/01/2012	1,2	86,5	82	0,000%	99%
EBA102	Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	30/01/2012	0,9	54,9	54	0,000%	95%
EMD001	Motor DEK F400S	30/01/2012	1,1	112,2	110	0,001%	99%
ETA001	Tanque de suministro de aceite hidráulico	30/01/2012	0,9	101,5	97	0,013%	97%
EMR001	Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	30/01/2012	0,9	42,0	40	0,000%	94%
EFC001	Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000	30/01/2012	0,7	104,0	101	0,863%	93%
ERB001	Winche Hydracore 2000	30/01/2012	0,9	68,7	68	0,001%	96%
ETC001	Panel de control Hydracore 2000	30/01/2012	1,2	125,6	123	0,000%	99%

En la tabla 34 se muestran los parámetros de forma β , y de escala η , el tiempo medio entre reparaciones MTTR y la Mantenibilidad evaluada en dos diferentes espacios para cada uno de los equipos del taladro de perforación minera.

Tabla 34. Indicador de Mantenibilidad equipos del taladro de perforación minera.

Mantenibilidad para el Taladro de Perforación Minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)							
Tag	Componente	Fecha inicial de operación	β	η	MTTR (h)	M(5h)	M(1h)
EMK001	Motor Kubota V1505-T	30/01/2012	1,54	4,91	5	64%	8%
EMK002	Motor Kubota V1505-T	30/01/2012	1,44	3,03	3	87%	18%
EMK003	Motor Kubota V1505-T	30/01/2012	1,13	4,65	5	66%	16%
EGE001	Generador eléctrico portatil Sportsman GEN 10K	30/01/2012	0,9169	6,06	6	57%	17%
EBA102	Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	30/01/2012	1,62	3,95	4	77%	10%
EMD001	Motor DEK F400S	30/01/2012	0,9842	5,23	5	62%	18%
ETA001	Tanque de suministro de aceite hidráulico	30/01/2012	0,7168	6,56	6	56%	23%
EMR001	Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	30/01/2012	1,08	7,24	7	49%	11%

EFC001	Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000	30/01/2012	1,03	4,13	4	70%	21%
ERB001	Winche Hydracore 2000	30/01/2012	1,10	6,58	7	52%	12%
ETC001	Panel de control Hydracore 2000	30/01/2012	1,4	1,61	2	99%	40%

En la tabla 35 se muestra un resumen del análisis CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad) para cada uno de los equipos del taladro de perforación minera.

Tabla 35. Resumen CMD equipos del taladro de perforación minera.

Resumen CMD equipos del taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)							
Tag	Componente	Fecha inicial de operación	R(1066 días)	R (2 días)	M(5h)	M(1h)	A
EMK001	Motor Kubota V1505-T	30/01/2012	0,0000%	100%	64%	8%	99,6%
EMK002	Motor Kubota V1505-T	30/01/2012	0,0014%	96%	87%	18%	99,8%
EMK003	Motor Kubota V1505-T	30/01/2012	0,0124%	95%	66%	16%	99,7%
EGE001	Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K	30/01/2012	0,0000%	99%	57%	17%	99,7%
EBA102	Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	30/01/2012	0,0001%	95%	77%	10%	99,7%
EMD001	Motor DEK F400S	30/01/2012	0,0007%	99%	62%	18%	99,8%
ETA001	Tanque de suministro de aceite hidráulico	30/01/2012	0,0132%	97%	56%	23%	99,7%
EMR001	Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	30/01/2012	0,0000%	94%	49%	11%	99,3%
EFC001	Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000	30/01/2012	0,8635%	93%	70%	21%	99,8%
ERB001	Winche Hydracore 2000	30/01/2012	0,0010%	96%	52%	12%	99,6%
ETC001	Panel de control Hydracore 2000	30/01/2012	0,0001%	100%	99%	40%	99,9%

8. PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

A continuación se presenta el plan de mantenimiento preventivo del taladro de perforación minera en horas efectivas de trabajo:

Tabla 36. Mantenimiento Preventivo EMK Motor Kubota V1505-T.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO													
TAREA	QUIEN	En operación	Frecuencias (horas)										
			100	200	400	500	800	1000	1500	2000	3000	8500	17000
Sistema de alimentación													
Limpiar el depósito y tubo de combustible	Mecánico	N						X		X	X		X
Limpiar el filtro de combustible	Mecánico	N	X	X		X		X	X		X	X	X
Limpiar el filtro de aire	Mecánico	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Cambiar el filtro de aire	Mecánico	N										X	X
Comprobar la conexión de escape y entrada de la cubierta del turbo para verificar si hay fugas en los gases de escape	Mecánico	N								X			
Verificar el juego axial y radial del turbo	Mecánico	N								X			
Comprobar la presión de inyección de la tobera. Si la condición de la pulverización es defectuosa, sustituya la tobera	Mecánico	N							X		X		
Cambiar el filtro de combustible	Mecánico	N			X		X			X			
Comprobar y limpiar los inyectores	Mecánico	N								X			
Comprobar funcionamiento y limpiar la bomba de inyección	Mecánico	N			X		X			X			
Revisión de las mangueras, conexiones y el sistema de admisión de aire	Mecánico	N				X		X	X	X	X	X	X
Verificar y regular gobernador	Mecánico	N							X		X		
Cambiar la tubería de combustible junto con las abrazaderas	Mecánico	N											X
Sistema de fuerza													
Verificar/Revisar ruidos extraños en el rodamiento cigüeñal	Mecánico	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ajustar el juego de la parte superior de los anillos de compresión	Mecánico	N										X	X

Verificar pérdida de presión en el motor	Mecánico	N								X		X		
Verificar estado del cojinete del cigüeñal	Mecánico	N											X	X
Verificar desgaste de los pistones	Mecánico	N											X	X
Verificar desgaste de los cilindros	Mecánico	N											X	X
Verificar desgaste de anillos de compresión	Mecánico	N											X	X
Reemplazar la junta de la culata, apretar el tornillo de la culata, bujía y porta tobera	Mecánico	N											X	X
Sistema de distribución														
Calibración de las válvulas	Mecánico	N											X	X
Comprobar juego de las válvulas	Mecánico	N					X							
Sistema de encendido														
Verificar el funcionamiento del arranque	Eléctrico	S									X			
Verificar estado de los cables eléctricos	Eléctrico	S									X			
Inspeccionar el alternador	Eléctrico	N										X		
Reemplazar correa del alternador	Eléctrico	N										X		
Comprobar estado de la batería	Eléctrico	N				X		X	X	X	X	X	X	X
Sistema de lubricación														
Cambiar el cartucho del filtro de aceite según las especificaciones del fabricante	Mecánico	N		X	X		X	X		X	X		X	
Verificar las emanaciones y la contaminación del tubo de escape	Mecánico	N									X			
Reemplazar el aceite	Mecánico	N		X	X		X	X		X	X		X	
Limpiar los conductos de aceite	Mecánico	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificar estado y desgaste de los anillos de lubricación	Mecánico	N											X	X
Reemplazar elemento del respiradero del cárter	Mecánico	N							X		X			
Limpieza del respiradero del cárter	Mecánico	N				X		X		X		X	X	X
Sistema de refrigeración														
Inspeccionar la bomba de agua	Mecánico	N						X		X	X		X	
Revisar la tensión de la correa del ventilador. Si la deflexión no está dentro de los factores de especificación ajustar	Mecánico	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
Comprobar daños en la correa del ventilador, si la correa presenta daños graves	Mecánico	N	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X

reemplazar													
Reemplazar correa del ventilador	Mecánico	N									X		
Verificar espacio libre del ventilador	Mecánico	N				X		X	X	X	X	X	X
Limpiar /Reemplazar la tapa de presión del radiador	Mecánico	N									X		
Limpiar sistema de refrigeración	Mecánico	N								X			
Limpiar el interior del radiador	Mecánico	N				X		X	X	X	X	X	X
Verificar las tuberías de refrigeración	Mecánico	N		X	X		X	X		X	X		
Verificar el estado de las conexiones de refrigeración	Mecánico	N		X	X		X	X		X	X		
Cambiar las tuberías de refrigeración junto con las abrazaderas	Mecánico	N											X
Cambiar refrigerante del radiador	Mecánico	N											X

Tabla 37. Mantenimiento Preventivo EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO							
TAREA	QUIEN	En operación	Frecuencias (horas)				
EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K			50	100	300	1200	
Sistema de alimentación							
Reemplazar la línea de combustible	Mecánico	N				X	
Revisar/Ajustar correctamente la línea de combustible	Mecánico	N	X	X	X		
Limpiar el tanque de combustible	Mecánico	N			X	X	
Limpiar la cámara de combustión	Mecánico	N			X	X	
Limpiar el filtro de aire	Mecánico	N	X				
Limpiar el filtro de combustible	Mecánico	N	X				
Cambiar el filtro de aire	Mecánico	N		X	X	X	
Cambiar el filtro de combustible	Mecánico	N		X	X	X	
Sistema de encendido							
Revisar/ajustar el juego de la válvula	Mecánico	N		X	X	X	
Revisar si hay restricción de aire	Mecánico	N		X	X	X	
Verificar el estado de la bujía	Mecánico	N		X	X	X	
Limpiar o cambiar la bujía de ser necesario	Mecánico	N		X	X	X	
Limpiar el parachispas	Mecánico	N		X	X	X	
Revisar la conexión del cable de la bujía	Mecánico	N		X	X	X	
Sistema de lubricación							
Revisar el nivel del suelo	Ingeniero/Mecánico	S			X	X	
Cambiar filtro de aceite	Mecánico	N		X	X	X	
Cambiar el aceite	Mecánico	N		X	X	X	
Sistema de control							
Revisar todas las conexiones del panel de energía	Eléctrico	S			X	X	
Revisar la regulación de voltaje	Eléctrico	S			X	X	
Revisar el cortocircuito	Eléctrico	S			X	X	
Sistema de fuerza							
Verificar desgaste de los cilindros	Mecánico	N				X	
Verificar estado y desgaste de los anillos	Mecánico	N				X	

Tabla 38. Mantenimiento Preventivo EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO							
TAREA	QUIEN	En operación	Frecuencias (horas)				
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps			100	1000	4000	8000	
Sistema de alimentación							
Limpiar filtro de entrada de aceite hidráulico	Mecánico	N	X				
Verificar la conexión al racor y comprobar la estanqueidad del circuito	Mecánico	N	X	X	X	X	
Verificar desgaste en la instalación de la línea de entrada	Mecánico	N	X	X	X	X	
Cambiar filtro de entrada de aceite hidráulico	Mecánico	N		X	X	X	
Sistema de fuerza/bombeo							
Revisar y limpiar filtro de succión	Mecánico	N	X	X			
Comprobar los pernos del prensaestopa con una llave de torsión para asegurar que están dentro de las especificaciones	Mecánico	N			X	X	
Inspeccionar los pernos de la biela con una llave de torsión para asegurar que están dentro de las especificaciones.	Mecánico	N			X	X	
Revisar el acople de la bomba	Mecánico	N			X	X	
Cambiar filtro de entrada de succión	Mecánico	N		X	X	X	
Verificar el funcionamiento del sistema de tuberías	Mecánico	N	X	X	X	X	
Verificar desgaste en la instalación de la línea de succión	Mecánico	N	X	X	X	X	
Verificar desgaste de los pistones	Mecánico	N			X	X	
Inspeccionar los cojinetes	Mecánico	N				X	
Verificar la sujeción de la maquina a pistones axiales de acuerdo a las especificaciones del fabricante de la maquina o instalación. Tener en cuenta torques de apriete	Mecánico	N			X	X	
Sistema de control							
Verificar la respuesta de la válvula de regulación	Mecánico	N			X	X	
Verificar la respuesta de la válvula de descarga	Mecánico	N			X	X	
Sistema de lubricación							
Cambiar el aceite	Mecánico	N			X	X	
Alinear la unidad y comprobar las condiciones de los sellos	Mecánico	N				X	
Sistema de distribución							
Revisar el estado del impulsor	Mecánico	N					X

Tabla 39. Mantenimiento Preventivo EMD001 Motor DEK F400S.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO								
TAREA	QUIEN	En operación	Frecuencias (horas)					
EMD001 Motor DEK F400S			100	200	400	500	1000	3000
Sistema de alimentación								
Limpiar y revisar el filtro de aire	Mecánico	N		X			X	X
Cambiar el filtro de aire	Mecánico	N			X			
Limpiar el filtro de combustible	Mecánico	N				X		
Inspeccionar y limpiar el depósito de combustible periódicamente	Mecánico	N				X	X	X
Verificar el estado de la tubería de combustible, reemplazar si es necesario	Mecánico	N				X	X	X
Cambiar el filtro de combustible	Mecánico	N					X	X
Comprobar estado del inyector	Mecánico	N				X	X	X
Comprobar estado de la tobera	Mecánico	N				X	X	X
Comprobar funcionamiento de la bomba de inyección	Mecánico	N				X	X	X
Sistema de fuerza								
Verificar estado del cojinete del cigüeñal	Mecánico	N						X
Reemplazar anillos del pistón	Mecánico	N					X	X
Verificar desgaste del pistón	Mecánico	N						X
Verificar desgaste de los cilindros	Mecánico	N						X
Reemplazar la junta de la culata, apretar el tornillo de la culata, bujía y porta tobera	Mecánico	N						X
Sistema de distribución								
Ajustar el juego de las cabezas de las válvulas de admisión y escape	Mecánico	N				X	X	X
Verificar y ajustar los asientos de las válvulas	Mecánico	N					X	X
Sistema de lubricación								
Limpiar el filtro de aceite	Mecánico	N	X	X	X			
Limpiar los conductos de aceite	Mecánico	N	X	X	X	X	X	X
Cambiar el filtro de aceite	Mecánico	N				X	X	X
Reemplazar el aceite	Mecánico	N	X	X	X	X	X	X
Sistema de refrigeración								
Verificar funcionamiento del ventilador	Mecánico	N				X	X	X

Tabla 40. Mantenimiento Preventivo ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO							
TAREA	QUIEN	En operación	Frecuencias (horas)				
ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico			100	250	500	1000	
Sistema de alimentación							
Inspeccionar la manguera de suministro, cambiar en caso de desgaste o daño externo	Mecánico	N			X	X	
Reemplazar el aceite hidráulico y limpiar el tanque	Mecánico	N				X	
Limpiar la rejilla de llenado	Mecánico	N	X		X	X	
Verificar la condición de la estructura	Mecánico	S		X	X	X	
Sistema de control							
Limpiar el respiradero	Mecánico	N	X		X	X	
Verificar y calibrar el instrumento de medición (Mirilla indicador)	Mecánico	N			X	X	
Sistema de des alimentación							
Reemplazar los filtros de retorno y el filtro de alta presión	Mecánico	N				X	
Inspeccionar la manguera de retorno, cambiar en caso de desgaste o daño externo	Mecánico	N			X	X	
Evitar que el drenaje sea taponado, verificar que no haya partículas ajenas en el drenaje	Mecánico	N	X		X	X	

Tabla 41. Mantenimiento Preventivo EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series

MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
TAREA	QUIEN	En operación	Frecuencias (horas)			
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series			100	500	3000	6000
Sistema hidráulico						
Realizar pruebas de presión y trabajo de la bomba	Mecánico	N		X	X	X
Realizar pruebas de funcionamiento del compensador y la bomba	Mecánico	N		X	X	X
Verificar que la junta este en el lugar que corresponde	Mecánico	N		X	X	X
Verificar estado de las mangueras, tuberías y accesorios	Mecánico		X	X	X	X
Comprobar si los cojinetes están sueltos y los puntos de anclaje de la dirección entre el cilindro y las ruedas directrices	Mecánico	N			X	X
Verificar fugas por los sellos y empaquetaduras	Mecánico		X	X	X	X
Verificar el desgaste del pin	Mecánico	N		X	X	X
Sistema de distribución						
Cambiar los cojinetes	Mecánico	N				X
Verificar desgaste del eje	Mecánico	N	X	X	X	X
Verificar alineación de la columna	Mecánico	N			X	X
Revisar la línea de retorno	Mecánico	N		X	X	X
Sistema de fuerza						
Verificar que el cuñero se encuentre en buen estado	Mecánico	N		X	X	X
Verificar desgaste del acople para una correcta alineación, llevar control	Mecánico	N			X	X
Verificar funcionamiento del cilindro	Mecánico	N		X	X	X

Tabla 42. Mantenimiento Preventivo EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO							
TAREA	QUIEN	En operación	Frecuencias (horas)				
EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000			100	500	1000	6000	
Sistema hidráulico							
Realizar inspección visual del vástago de la válvula	Mecánico	N	X	X	X	X	
Verificar funcionamiento de las mangueras y corregir fugas	Mecánico	N	X	X	X	X	
Verificar condición del cilindro, reparar y/o cambiar	Mecánico	N		X	X	X	
Realizar pruebas de presión interna, y corregir fugas detectadas	Mecánico	N			X	X	
Verificar el desgaste promedio de los sellos, si se requiere realizar el cambio	Mecánico	N		X	X	X	
Sistema estructural							
Verificar montaje del cojinete, corregir falla	Mecánico	N			X		
Cambiar los cojinetes	Mecánico	N				X	
Verificar instalación, corregir montaje	Mecánico	N			X	X	

Tabla 43. Mantenimiento Preventivo ERB001 Winche Hydracore 2000.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO							
TAREA	QUIEN	En operación	Frecuencias (horas)				
ERB001 Winche Hydracore 2000			100	500	1000	3000	
Sistema de transmisión de movimiento							
Verificar la presión del freno, si este no se libera podría estar mecánicamente trabado. Desmontar el extremo del motor para corregir el problema	Mecánico	N		X	X	X	
Inspeccionar los sellos del freno	Mecánico	N		X	X	X	
Verificar el par de arranque	Mecánico	N		X	X	X	
Verificar el sellado frontal del eje del motor	Mecánico	N		X	X	X	
Desmontar el winche para verificar que los engranes presenten una buena condición de funcionamiento	Mecánico	N				X	
Controlar la presión en el puerto de la válvula de freno. Con el sistema hidráulico en funcionamiento, la presión en el puerto será aproximadamente igual a la presión del sistema. El freno está totalmente abierto en determinada presión. Si la presión en el puerto no es correcta, reemplace la válvula de freno	Mecánico	S			X	X	
Sistema hidráulico							
Revisar la válvula de alivio, ubicada en la válvula de control del sistema, si está demasiado baja, o se trabó y quedó abierta, corregir	Mecánico	N		X	X	X	
Verificar el tapón de la presión de descarga en la parte superior de la caja de engranajes, para verificar que se encuentra en buenas condiciones de modo que los gases del aceite caliente puedan escapar	Mecánico	N	X	X	X	X	
Sistema estructural							
Lubricar el cable con aceite ligero	Mecánico	N	X	X	X	X	
Inspeccionar el marco y la estructura en busca de grietas o deformaciones	Mecánico	S				X	
Desmontar e inspeccionar todos los elementos de desgaste, reemplazar algunas piezas si es necesario	Mecánico	N				X	
Inspeccionar el cable, si se encuentra desgastado, sustituir inmediatamente	Mecánico	N		X	X	X	
Verificar los pernos del montaje del winche. Si falta uno sustituirlo y ajustar cualquiera que este flojo	Mecánico	N			X	X	

Tabla 44. Mantenimiento Preventivo ETC001 Panel de control Hydracore 2000.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
TAREA	QUIEN	En operación	Frecuencias (horas)			
ETC001 Panel de control Hydracore 2000			100	300	2000	
Sistema de control						
Verificar conexiones y reparar si es necesario	Mecánico	N		X		
Verificar fugas en el sistema	Mecánico	N	X	X	X	
Probar válvula y/o cambiar	Mecánico	N		X		
Verificar presión en las válvulas de regulación y control	Mecánico	N		X		
Verificar presión y/o cambiar válvula de seguridad	Mecánico	N		X		
Verificar accesorios del sistema, cambiar si se requiere	Mecánico	N		X		
Verificar el estado de la palancas	Mecánico	N		X		
Verificar funcionamiento y calibrar la instrumentación	Mecánico	N			X	
Sistema de alimentación						
Verificar el estado de las conexión de energía principal	Mecánico	N	X	X	X	

Como parte de la propuesta del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM y basado en el análisis CMD se proponen unas rutinas de mantenimiento autónomo para preveer fallas durante la operación diaria de los equipos del taladro de perforación minera.

Tabla 45. Mantenimiento Autónomo Equipos Taladro de Perforación minera.

MANTENIMIENTO AUTONOMO		
TAREA	FREC.	QUIEN
EMK Motor Kubota V1505-T		
Inspección visual general	Diario	Operario
Verificar el nivel de combustible en el depósito	Diario	Operario
Mantener carga de trabajo de la bomba de inyección constante	Diario	Operario
Revisar que el filtro de combustible no presente fugas ni suciedad excesiva	Diario	Operario
Mantener siempre el tapón de ventilación de aire cerrado en la bomba de inyección de combustible, excepto cuando está saliendo el aire	Diario	Operario
Revisar la tubería de combustible y abrazaderas	Diario	Operario
Verificar la carga de batería	Diario	Operario
Chequear el nivel de aceite	Diario	Operario
Limpiar el filtro de aceite	Diario	Operario
Comprobar el nivel de refrigerante y aspas del radiador	Diario	Operario
Limpiar el panel frontal del radiador, que esté libre de insectos y suciedades	Diario	Operario
EMB001 Moto Bomba Honda WB20XT		
Inspección visual general	Diario	Operario
Revisar nivel de combustible	Diario	Operario
Revisar el nivel de aceite	Diario	Operario
Verificar que la tapa del depósito de combustible este en buen estado	Diario	Operario
Regular correctamente el ajuste de las abrazaderas	Diario	Operario
Verificar que los acoples del motor se encuentren lubricados y en buen estado	Diario	Operario
Verificar que el sistema de escape este en buen estado	Diario	Operario
Inspeccionar el estado de la manguera de succión	Diario	Operario
Revisar el nivel de refrigerante	Diario	Operario
Apretar el conector de la manguera y abrazaderas para evitar fugas	Diario	Operario
EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K		
Inspección visual general	Diario	Operario
Revisar que el sistema de parada de emergencia esté funcionando correctamente	Diario	Operario
Revisar nivel de combustible	Diario	Operario
Verificar que el tubo de escape no tenga averías	Diario	Operario
Revisar que el motor no tenga ruidos extraños, averías y vibraciones no comunes	Diario	Operario
Verificar el funcionamiento y marcación correcta del horómetro	Diario	Operario
Verificar y revisar que la instrumentación esté funcionando correctamente	Diario	Operario

Inspeccionar conexiones en el motor de arranque	Diario	Operario
Optimizar el número de dispositivos eléctricos para aumentar la potencia del generador	Diario	Operario
Revisar nivel de aceite	Diario	Operario
EBE Bomba de engranajes Sauer Danfoss SNP2EN		
Llenar el tanque de suministro de aceite hidráulico a nivel adecuado	Diario	Operario
Inspección visual general	Diario	Operario
Volver la presión de entrada a los niveles recomendados	Diario	Operario
Inspeccionar estado de las mangueras y apretar las conexiones que tengan pérdida	Diario	Operario
EBA101 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps		
Inspección general de la bomba y el sistema para comprobar el correcto funcionamiento del equipo	Diario	Operario
Inspeccionar filtro de succión	Diario	Operario
Enjuagar el sistema de la bomba cuando el bombeo se detenga, para evitar que se queden en el interior fluidos que puedan endurecer o corroer la bomba	Diario	Operario
Revisar fugas de agua/aceite	Diario	Operario
Inspeccionar si hay fugas en el área de la camisa - cilindro	Diario	Operario
Verificar que el nivel de aceite este en el nivel correcto y no haya sido contaminado por fluidos de bombeo o condensación	Diario	Operario
Verificar que las líneas de flujo están conectadas y llenar el tanque	Diario	Operario
Verificar que las líneas están conectadas y abrir la válvula	Diario	Operario
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps		
Inspección general de la bomba y el sistema para comprobar el correcto funcionamiento del equipo	Diario	Operario
Inspeccionar filtro de succión	Diario	Operario
Enjuagar el sistema de la bomba cuando el bombeo se detenga, para evitar que se queden en el interior fluidos que puedan endurecer o corroer la bomba	Diario	Operario
Revisar fugas de agua/aceite	Diario	Operario
Inspeccionar si hay fugas en el área de la camisa - cilindro	Diario	Operario
Verificar que el nivel de aceite este en el nivel correcto y no haya sido contaminado por fluidos de bombeo o condensación	Diario	Operario
Verificar que las líneas de flujo están conectadas y llenar el tanque	Diario	Operario
Verificar que las líneas están conectadas y abrir la válvula	Diario	Operario
EMD001 Motor DEK F400S		
Inspección visual general	Diario	Operario
Verificar y apretar tuercas y tornillos	Diario	Operario
Verificar el nivel de combustible	Diario	Operario
Revisar que el filtro no presente fugas, ni presente suciedad excesiva.	Diario	Operario
Mantener carga de trabajo de la bomba de inyección constante	Diario	Operario
Mantener siempre el tapón de ventilación de aire cerrada en la bomba de inyección de combustible, excepto cuando está saliendo el aire	Diario	Operario
Revisar el nivel de aceite	Diario	Operario
Verificar fugas de aceite	Diario	Operario
ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico		
Llenar el depósito de aceite hasta el nivel adecuado	Diario	Operario
Verificar que la instrumentación esté funcionando correctamente	Diario	Operario

Verificar que las soldaduras se encuentren en buen estado	Diario	Operario
Verificar que no haya fugas y el ajuste sea el adecuado, y la presión no sea superior a la permitida en las mangueras	Diario	Operario
Limpiar la rejilla del respiradero	Diario	Operario
Verificar que no haya partículas que taponan el agujero del respiradero	Diario	Operario
EIC101 Intercambiador de calor Thermal Transfer Shell & Tube EK Series		
Inspección visual general	Diario	Operario
Verificar fugas en el sistema	Diario	Operario
Reducir las velocidades y flujo de operación	Diario	Operario
Registrar los datos de temperatura y presión para monitorear cambios	Diario	Operario
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series		
Inspección visual general	Diario	Operario
Comprobar y purgar aire del sistema hidráulico	Diario	Operario
Verificar comportamiento de operación, ruido, vibración y temperaturas del sistema	Diario	Operario
Corregir condición de fuga y adicional fluido	Diario	Operario
Verificar y reconectar líneas correctamente de ser necesario	Diario	Operario
Verificar carga del motor, si es necesario reducir carga en el eje del motor	Diario	Operario
Verificar que la dirección funciona normalmente de ser necesario apretar la tuerca del volante	Diario	Operario
Engrasar el equipo	Diario	Operario
EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000		
Inspección visual general	Diario	Operario
Lavar para evitar la acumulación de suciedad	Diario	Operario
Engrasar el equipo	Diario	Operario
Verificar que no haya materiales abrasivos en el cilindro	Diario	Operario
ERB001 Winche Hydracore 2000		
Inspección visual general	Diario	Operario
Verificar si hay pérdidas de aceite hidráulico	Diario	Operario
Inspeccionar anclaje del tambor y cable	Diario	Operario
Inspeccionar el funcionamiento del freno con carga	Diario	Operario
Revisar que los pernos y tuercas estén en buen estado	Diario	Operario
Engrasar el equipo, tambor del cable, extremo del cojinete, carcasa de embrague	Diario	Operario
EMM001 Mezclador de lodos Hydracore 2000		
Inspección visual general	Diario	Operario
Verificar que no haya fugas en el motor hidráulico	Diario	Operario
Comprobar el estado general y verificar su estructura (Soldaduras)	Diario	Operario
Revise que los acoples ni las mangueras presenten fugas.	Diario	Operario
Verificar material a dosificar	Diario	Operario
ETC001 Panel de control Hydracore 2000		
Inspección visual general	Diario	Operario
Verificar que los manómetros están funcionando correctamente	Diario	Operario
Comprobar que el equipo en general este limpio y libre de daños.	Diario	Operario
Revisar que las tuberías y mangueras de distribución primaria o secundaria estén debidamente conectadas y no tengan fugas, estén obstruidas, quebradas o dobladas	Diario	Operario

Revisar las líneas de distribución entre los dispositivos de medición y los puntos de lubricación que no haya fugas o daños	Diario	Operario
ETR001 Tanque de aditivos refrigeración broca Hydracore 2000		
Verificar que las líneas de presión estén ajustadas correctamente	Diario	Operario
Inspeccionar que las válvulas cuenten con fácil acceso y estén en buen estado	Diario	Operario
Inspeccionar las juntas soldadas, verificar que se encuentren en buenas condiciones y no tenga fugas, verificar corrosión interna	Diario	Operario

Se adjunta el formato de lista de chequeo propuestas para llevar registro de ejecución diaria (Anexo LLL-VVV).

A continuación se propone realizar algunas actividades basadas en monitoreo bajo condición como complemento del plan de mantenimiento.

Tabla 46. Mantenimiento Predictivo Equipos Taladro de perforación minera.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO		
TAREA	FREC.	QUIEN
EMK Motor Kubota V1505-T		
Realizar análisis predictivo del aceite	250 horas	Ingeniero
Realizar termografía de inspección al equipo	3000 horas	Ingeniero
Realizar análisis de vibraciones	3000 horas	Ingeniero
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps		
Realizar análisis de vibraciones	3000 horas	Ingeniero
EMD001 Motor DEK F400S		
Realizar análisis predictivo del aceite	250 horas	Ingeniero
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series		
Realizar termografía de inspección al equipo	3000 horas	Ingeniero
ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico		
Realizar análisis predictivo del aceite hidráulico	500 horas	Ingeniero
EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K		
Realizar termografía de inspección al equipo	3000 horas	Ingeniero

9. PROCEDIMIENTOS DE MEJORA CONTINUA

“No se puede controlar lo que no se mide, no se puede mejorar lo que no se controla”²⁶

La propuesta del proceso de mejora continua para el taladro minero se basó en la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), fundamentando su análisis en la criticidad de los equipos y sus parámetros de vida.

Esta propuesta para el proceso de mejora continua tiene como objetivo optimizar los sistemas productivos de la empresa a través del auto gestión medida con algún nivel de referencia.

Para controlar los procesos del área de mantenimiento se proponen indicadores con los cuales se lograra identificar el nivel en el cual se viene desempeñando la gestión, las causas y el nivel óptimo al cual se debe llegar en un futuro no muy lejano.

El desarrollo de estos indicadores de gestión serán parte fundamental en el mejoramiento de la calidad, debido a que son medios económicos y rápidos de seguimiento a problemas, según la naturaleza y manejo de los mismos.²⁷

A continuación se proponen los indicadores de gestión²⁸ que se adaptan al proceso de operación del taladro minero, con el nuevo plan de mantenimiento

Tabla 47. Indicadores de proceso interno.

INDICADORES PROCESO INTERNO			
Subproceso	Indicador	Formula	Frecuencia
Solicitud servicio	# Solicitudes MC	Cuenta base de datos	Semanal
	# Solicitudes MP	Cuenta base de datos	Semanal

²⁶ DUARTE HOLGUIN, Juan Carlos. *Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM*. Diplomado en gestión de mantenimiento. ACIEM. Bogotá, Colombia. 2011.

²⁷ DUARTE HOLGUIN, Juan Carlos. *Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM*. Diplomado en gestión de mantenimiento. ACIEM. Bogotá, Colombia. 2011.

²⁸ DUARTE HOLGUIN, Juan Carlos. *Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM*. Diplomado en gestión de mantenimiento. ACIEM. Bogotá, Colombia. 2011.

Planeación	Eficacia por plan	Hrs reales/Hrs estimadas	Semestral
	Eficiencia RH	HH reales / HH estimadas	Semestral
	Índice planeación	Planes reales / Planes posibles	Semestral
	Efectividad plan	# Planes bien ejecutados / # Planes realizados	Semestral
	Índice utilización	HH MP + MPd / HH total	Semanal
Programación	% Cumplimiento	# OT real / # OT programada	Semanal
	% Programación	# HH prog / HH posibles	Semanal
	# OT por repuesto	Cuenta base de datos	Semanal
	OT atrasadas(Backlog)	HH OT atrasada / HH posible día	Semanal
	Carga trabajo	HH OT abiertas / HH posible día	Semanal
	# OT > 20 días	Cuenta base de datos	Semanal
Ejecución	% de cierre	# OT terminadas / # OT cerradas	Semanal
	MTBF	# equipos * intervalo (t) / # fallas	Semanal
	Rata de fallas " λ "	1/MTBF	Semanal
	MTTR	Σ duración de paradas / # Paradas	Semanal
	Disponibilidad	MTBF/ MTBF + MTTR	Semanal
	Confiabilidad	$e^{(-\lambda t)}$	Semanal
	# fallas criticas	Cuenta base de datos	Semanal
	# fallas degradada	Cuenta base de datos	Semanal
	# fallas totales	Cuenta base de datos	Semanal
	Eficiencia	Desempeño real vs Capacidad de diseño	Semestral
	Calidad	Relación de producto de buena calidad	Semestral
	Eficiencia Global del Equipo (OEE)	Disponibilidad * Eficiencia * Calidad	Semestral

Fuente: Diplomado en Mantenimiento ACIEM, 2011.

Para la fase de implementación la empresa deberá tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Los resultados deben medir lo que realmente la empresa espera del departamento de mantenimiento.
- Los indicadores deben ser representativos y fáciles de medir.
- Analizar la posibilidad de medir tiempos de ciclos y procesos.
- Implementar una cultura de medición en sus trabajadores.
- Utilizar sólo e indispensablemente los indicadores que le interesen.
- Involucrar a su equipo en la definición del indicador.
- Analizar la eficacia de cada indicador para que sea una herramienta del mejoramiento continuo.
- Eliminar o cambiar aquellos indicadores que lo precisen.

En la tabla 48 se proponen actividades de mejora continua luego de realizar el estudio de las condiciones iniciales operacionales y se recomienda que se implementen paralelamente al plan de mantenimiento.

Tabla 48. Oportunidades de mejora.

OPORTUNIDADES DE MEJORA	
TAREA	QUIEN
EMK Motor Kubota V1505-T	
Implementar horómetros	Ingeniero
Capacitar al personal continuamente en el correcto procedimiento de montaje del cigüeñal, árbol de levas y partes críticas del motor	Ingeniero
EMB001 Moto Bomba Honda WB20XT	
Implementar horómetros	Ingeniero
EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K	
Implementar horómetros	Ingeniero
EBE Bomba de engranajes Sauer Danfoss SNP2EN	
Implementar horómetros	Ingeniero
EBA101 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	
Implementar horómetros	Ingeniero
Instalar un tamiz o filtro en el tanque de suministro de aceite hidráulico	Ingeniero
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	
Implementar horómetros	Ingeniero
Instalar un tamiz o filtro en el tanque de suministro de aceite hidráulico	Ingeniero
EMD001 Motor DEK F400S	
Implementar horómetros	Ingeniero
Capacitar al personal continuamente en el correcto procedimiento de montaje del cigüeñal, y partes críticas del motor	Ingeniero

EIC101 Intercambiador de calor Thermal Transfer Shell & Tube EK Series	
Implementar horómetros	Ingeniero
ERB001 Winche Hydracore 2000	
Implementar horómetros	Ingeniero
Controlar la presión instalando manómetros en cada uno de los lados del motor del winche. Comparar la diferencia que muestran los manómetros con la información del rendimiento del winche	Ingeniero
EMM001 Mezclador de lodos Hydracore 2000	
Implementar horómetros	Ingeniero
Determinar cuáles son los agentes nocivos y acudir a protección anticorrosiva	Ingeniero
ETC001 Panel de control Hydracore 2000	
Implementar horómetros	Ingeniero
Realizar verificación del circuito de control, rediseñar si es necesario	Ingeniero
ETR001 Tanque de aditivos refrigeración broca Hydracore 2000	
Implementar horómetros	Ingeniero
Determinar cuáles son los agentes nocivos y acudir a protección anticorrosiva	Ingeniero

10. CONCLUSIONES

Desarrollando la propuesta del plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad del taladro de perforación minera (Hydracore Drills, Gopher Manportable Drill), que opera en Guadalupe, Antioquia se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- De acuerdo al AMEF y la clasificación obtenida a través del NPR (Número de Prioridad de Riesgo), de los 251 modos de falla analizados, se obtuvo lo siguiente:
 - a. 22 fallas inaceptables (8,77%).
 - b. 61 fallas de reducción deseable (24,4%).
 - c. 168 fallas aceptables (66,9%).

- Durante el análisis de criticidad de las 120 partes se obtuvo lo siguiente:
 - a. 3 partes críticas (2,5%).
 - b. 31 partes semicríticas (25,83%).
 - c. 86 partes no críticas (71,7%).

El 71,7% de partes de los equipos no son críticos, esto se debe al corto tiempo de operación que han funcionado hasta el momento de realizado el análisis.

- De los 11 equipos estudiados 7 de ellos presentan un $\beta < 1$, lo que implica que se encuentran en la etapa de mortalidad infantil, asociado a fallas al inicio del proyecto, problemas de ensamblaje y falta de inspecciones programadas.

Por último, para 4 equipos se ha obtenido un valor de $\beta > 1$, encontrándose en su etapa de desgaste, o de deterioro temprano. Esto se debe a que los equipos presentan problemas por el uso de repuestos de fabricación local, problemas asociados a fatiga, corrosión y erosión.

Del análisis con la metodología Weibull no se encuentran equipos en vida útil, la operación cuenta solo con equipos en etapa de mortalidad infantil y etapa de desgaste.

- La mayoría de los mantenimientos realizados en la plataforma son correctivos, lo cual se debe a problemas asociados al montaje de la plataforma y a las

malas condiciones ambientales bajo las cuales han operado los equipos, y ha contribuido en el desgaste prematuro de algunos componentes.

- Calculando el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y apoyados en los manuales de los equipos se puede determinar la frecuencia optima de intervención para cada uno de los equipos del taladro minero, analizados a través del método grafico; esta etapa es de gran importancia en la propuesta de mantenimiento ya que afecta directamente las hojas de decisiones y el establecimiento de las actividades de mantenimiento preventivo, predictivo y autónomo de los equipos.
- En la propuesta se explican los requisitos necesarios para la implementación de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para la empresa contratante en la operación de un taladro de perforación minera, en Guadalupe (Antioquia), definiendo el proceso, las tareas y las responsabilidades para llevar a cabo la ejecución de este.
- El plan de mantenimiento propuesto apoyado en tareas preventivas, predictivas y autónomas ayuda a disminuir en un alto porcentaje las fallas súbitas en los equipos más críticos del taladro minero, pero no se puede asegurar que los mantenimientos correctivos lleguen a ser en su totalidad cero.
- Con la propuesta del plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y las rutinas de mantenimiento llevadas a cabo en la plataforma, se puede evidenciar que el plan utilizado actualmente no cumple con las necesidades de la empresa. La nueva estrategia basada en definir específicamente los tipos y modos de falla conlleva a un análisis y posterior desarrollo de estrategias más adecuadas que permitirán solucionar de una forma definitiva los problemas que se han presentado durante el tiempo de operación del taladro minero.
- La empresa CONTRATANTE en su operación y mantenimiento actual no realiza el seguimiento a indicadores de mantenimiento y gestión. En la propuesta de mantenimiento Centrado en Confiabilidad se recomienda incluir en su evaluación indicadores de desempeño en la organización de mantenimiento, que permitan identificar el nivel en el cual se encuentra y el nivel óptimo al cual se debe llegar en un mediano plazo de tiempo.
- Durante el proceso de elaboración de la propuesta del plan de mantenimiento se restringió cierta información por parte de la empresa contratante en cuanto a

históricos de fallas, procesos operacionales y almacenamiento de datos, debido a políticas internas de la empresa que no permite la extracción ni divulgación de cualquier tipo de dato tanto técnico o financiero de la empresa.

- De la gráfica de Mantenibilidad realizada para el motor Kubota se puede leer que existe una probabilidad del 95% que una reparación que se realice en el equipo no dure más de 10 horas, lo cual indica que las reparaciones deben realizarse en tiempos inferiores a 10 horas. La Mantenibilidad es creciente, se vuelve máxima o del cien por ciento ante un tiempo grande o que tiende a infinito.
- De la gráfica de confiabilidad realizada para el motor Kubota se puede leer que la probabilidad que el equipo dure más de 100 días sin fallar es del 12,1%, la curva de confiabilidad es decreciente, se vuelve mínima o adquiere el valor de cero por ciento ante un tiempo grande o que tiende a infinito.

11. RECOMENDACIONES

Partiendo de las conclusiones obtenidas se pueden sugerir algunas acciones para mejorar la gestión del mantenimiento en la empresa:

- Implementar el nuevo plan de mantenimiento centrado en confiabilidad con tareas preventivas, predictivas y autónomas, por ejemplo programando los análisis de termografía y vibraciones en los motores Kubota, adicionalmente estableciendo la toma de muestras para análisis de aceite.
- Para una correcta implementación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad se sugiere realizar capacitaciones en confiabilidad en todos los niveles de la organización involucrados en el mantenimiento.
- Implementar el uso de horómetros en los equipos, para llevar a cabo el plan de mantenimiento en horas efectivas de trabajo, asegurando la confiabilidad y Mantenibilidad dentro de tiempos reales.
- Con la implementación del RCM se establece como prioridad la eliminación de las fallas inaceptables (las cuales nos pone en riesgo la continuidad de la operación); mediante un plan de mantenimiento preventivo efectivo y otras herramientas de predicción y monitoreo que involucra la parte de mantenimiento y operación.
- Definir la adquisición de los repuestos en cantidad y tiempo óptimos de los componentes críticos; efectuando un estudio de repuestos de alta y baja rotación, considerando la criticidad de los repuestos y de la reposición automática de los mismos. Por ejemplo revisar los niveles de consumo de los filtros de aceite/combustible/aire para establecer la cantidad mensual de adquisición de estos componentes y el nivel de stock que permita manejar un correcto mantenimiento sin pérdida de producción.
- Establecer el análisis de presupuestos de mantenimiento teniendo en cuenta las características del plan propuesto, en función de los costos de recambio de partes, y reacondicionamiento debido a la nueva frecuencia de mantenimiento y la criticidad de los componentes. Creando de esta manera el control histórico del movimiento de consumibles y repuestos de acuerdo al plan de

mantenimiento aplicado al talador minero. El control de costos se puede llevar a cabo bajo la metodología de Costos Basado en Actividades (ABC), el cual tiene una dimensión en función de un cálculo razonable de los costos.

- Evaluar y supervisar los procedimientos e implementación de mantenimientos mayores del taladro minero en el taller; así como las características de inspección (estado de desgaste de cilindro, cigüeñal, anillos, mangueras, acoples, etc.), para minimizar fallas que desencadenen un estado prematuro de desgaste en los equipos.

- Implementar los indicadores de gestión de mantenimiento propuestos en el presente proyecto, para disminuir los tiempos de paro en la operación, y obtener una mayor confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

- Registrar todas las actividades realizadas en los equipos (mantenimientos preventivos, predictivos, correctivos, parada de operación, etc), para llevar un control efectivo de los equipos y una trazabilidad confiable, que permita determinar modos de falla en el futuro.

BIBLIOGRAFIA

- Balbir S., Dhillon. Engineering Reliability: New techniques and applications. New York, USA. 1981.
- Confiabilidad y análisis estadístico para la predicción de fallas, seguridad, riesgo, costo y garantías de los equipos. Recuperado el 06 de febrero de 2014 de https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDEQFjAB&url=https%3A%2F%2Fgestionmantenimientome ntefactusupq.wikispaces.com%2Ffile%2Fview%2FWeibull.pptx&ei=huL0UtlDBcKiyAHY_4HwDw&usg=AFQjCNHEA87ePGIGHU0FdcSGFTCd2YgnDQ &bvm=bv.60799247,d.aWc.
- Da Costa Burga, Martin. *Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción*. Tesis para optar por el título de Ingeniero Mecánico. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 2010.
- Duarte Holguin, Juan Carlos. *Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM*. Diplomado en gestión de mantenimiento. ACIEM. Bogotá, Colombia. 2011.
- Gómez Lozano, Iván Darío. *Introducción al mantenimiento estratégico*. Ed. Universidad Libre. Colombia, 2006. Páginas (26-27).
- González Fernández, Francisco Javier. *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. 2º Edición. FC Editorial. 2005.
- Guía técnica Colombiana. *Guía para el diagnóstico de condiciones de trabajo o panorama de factores de riesgos, su identificación y valoración*, GTC 45. Bogotá (Colombia), Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 1997, 37p.
- Huertos Castellanos, Daniel. *Mantenimiento Predictivo de Turbinas de gas*. Tesis para optar por el título de Ingeniero Industrial. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. 2011.
- Indicadores de eficiencia para el mantenimiento. Recuperado el 06 de febrero de 2014 de <http://campuscurico.otalca.cl/~fespinos/INDICADORES%20DE%20EFICIENCIA%20PARA%20MANTENIMIENTO.pdf>.

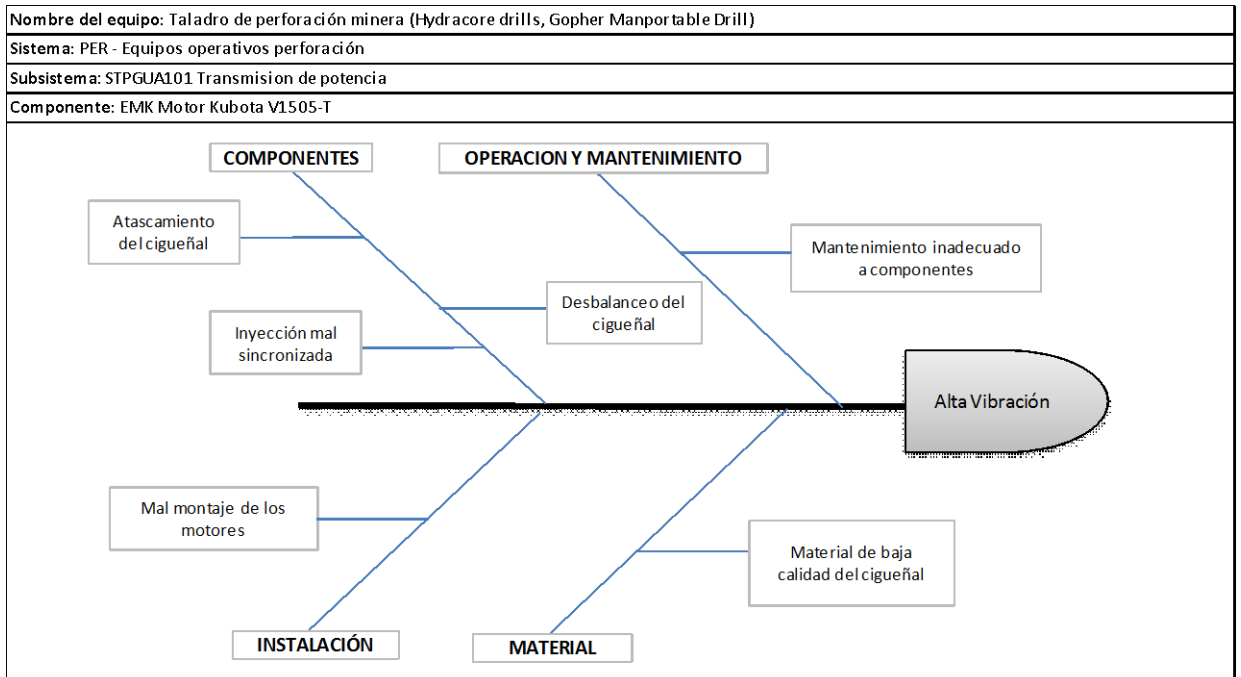
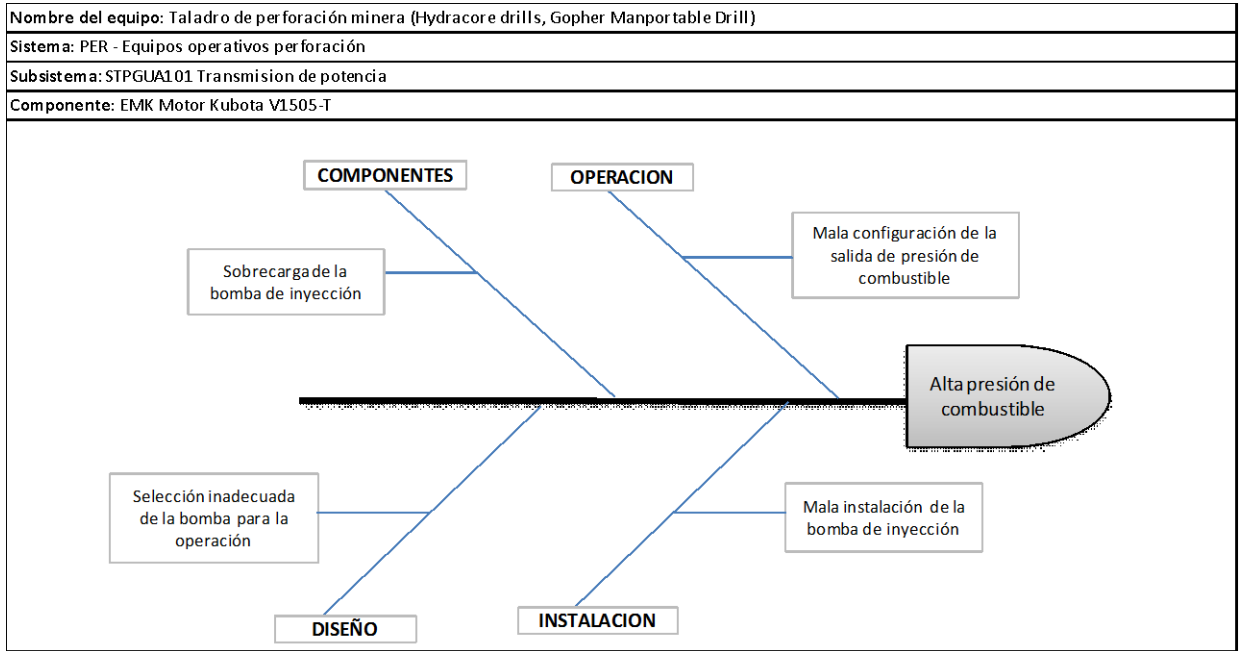
- López Lumbierres, Susana. *Implantación de un programa de inspección de termografía en centrales de ciclo combinado*. Tesis para optar por el título de Ingeniero en Organización Industrial. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. 2007.
- Lucia, J.M. (1990). Criterios para la información de la gestión del mantenimiento. *Revista Mantenimiento*, 1(1-5). ISS 0716-8616.
- Mantenimiento centrado en confiabilidad. Recuperado el 06 de febrero de 2014 de http://ortizruiz.com/OrtRuiz/Mantenimiento_Centrado_en_Confiabilidad.html.
- Mantenimiento de plantas industriales. Recuperado el 06 de febrero de 2014 de http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/administraciondelapoduccionelementos/default5.asp.
- Mantenimiento preventivo. Recuperado el 06 de febrero de 2014 de <http://www.mantenimientoplanificado.com/j%20guadalupe%20articulos/MANTENIMIENTO%20PREVENTIVO%20parte%201.pdf>.
- Mantenimiento y seguridad industrial. Recuperado el 06 de febrero de 2014 de <http://attachments.wetpaintserv.us/aHg4jFps1FFUFN9ffK1uw==601662>.
- Mora Gutiérrez, Alberto. *Mantenimiento: Planeación, ejecución y control*. Bogotá, Colombia. 2009.
- Moubray, Jhon. *RCM II: Reliability Centered Maintenance*. Ed. Industrial Press Inc. New York, USA. 1991.
- Muñoz Abella, María Belén. *Mantenimiento industrial. Área de Ingeniería Mecánica*. Universidad Carlos III de Madrid. Madrid, España. 2003.
- Norma Internacional ISO. *Industrias de petróleo y gas natural - Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos*. ISO 14224. British Standard 2006, Europa.
- NPT 331. *Fiabilidad: La Distribución de Weibull*. Recuperado el 06 de febrero de 2014 de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_331.pdf.

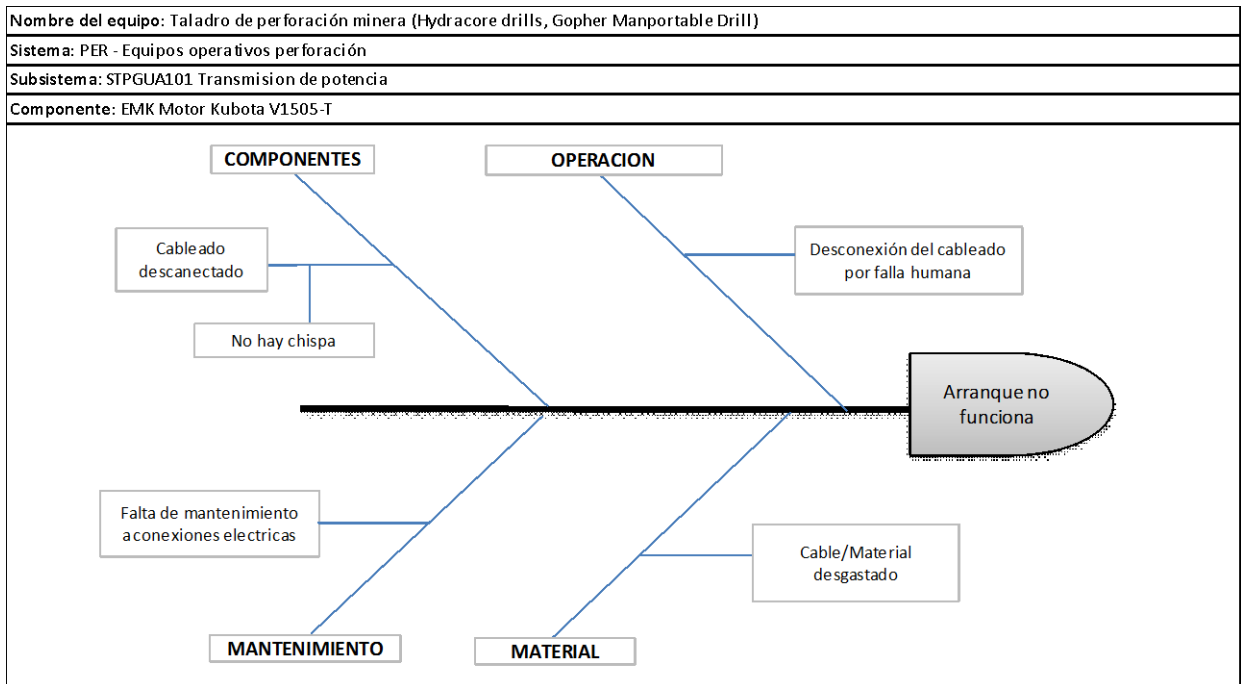
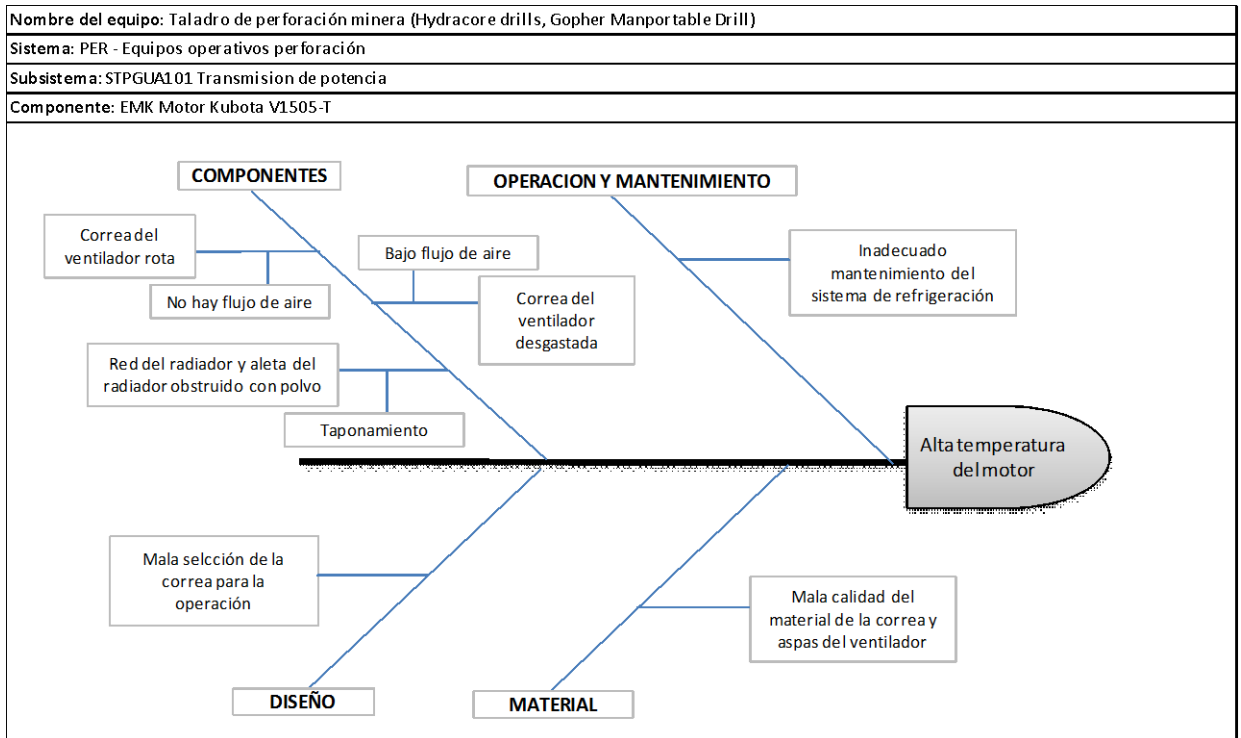
Toro O., Juan Carlos & Céspedes G., Pedro Alejandro. (2001). *Metodología para medir confiabilidad, mantenibilidad y Disponibilidad en mantenimiento*. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.

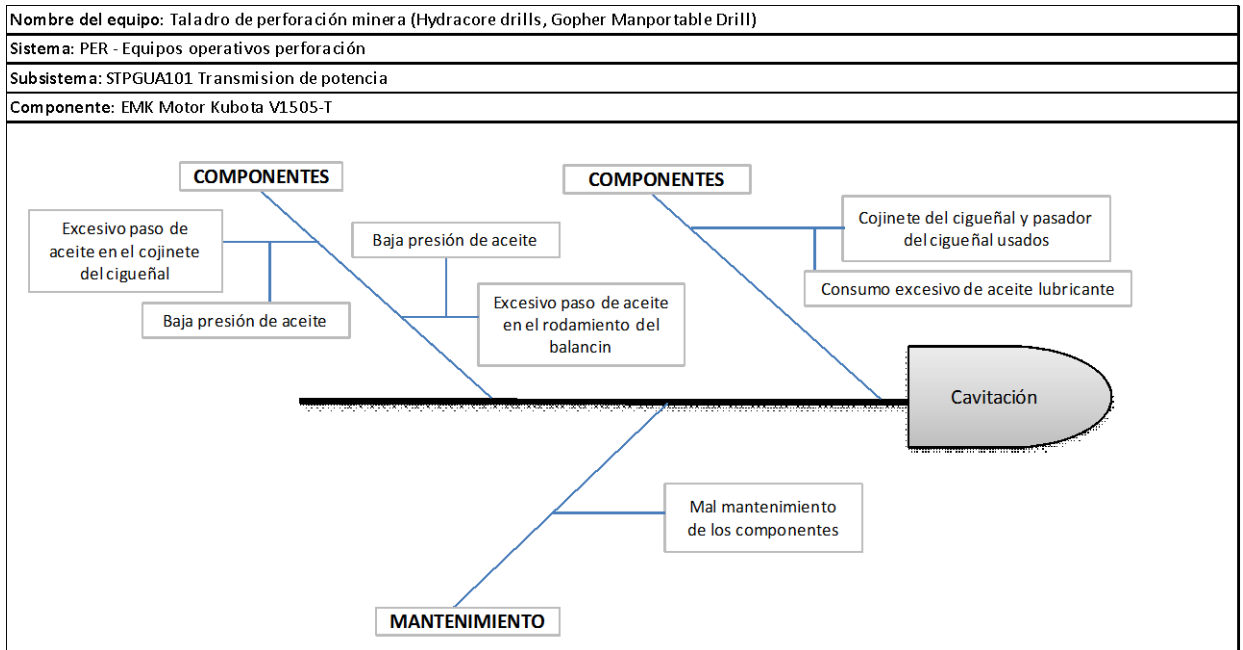
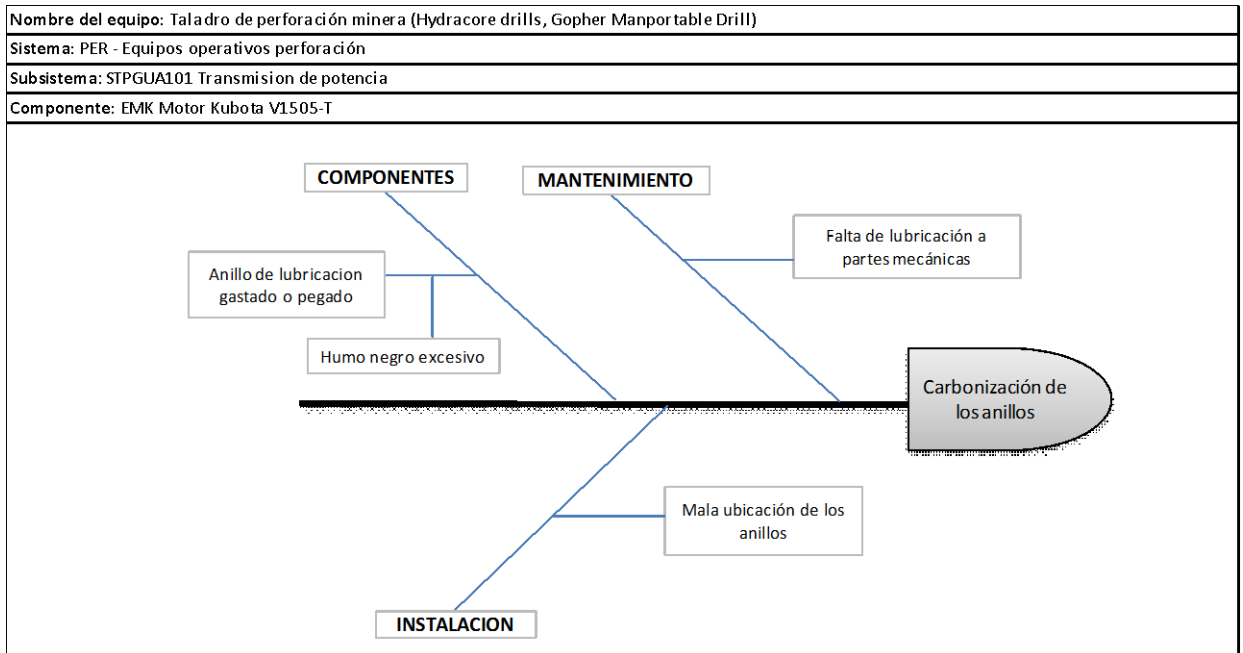
Trujillo, Gerardo. *Monitoreo de Condición – Una estrategia de Integración de Tecnologías*. 1er Congreso Mexicano de Confiabilidad y Mantenimiento. León (Guanajuato), México. 2003.

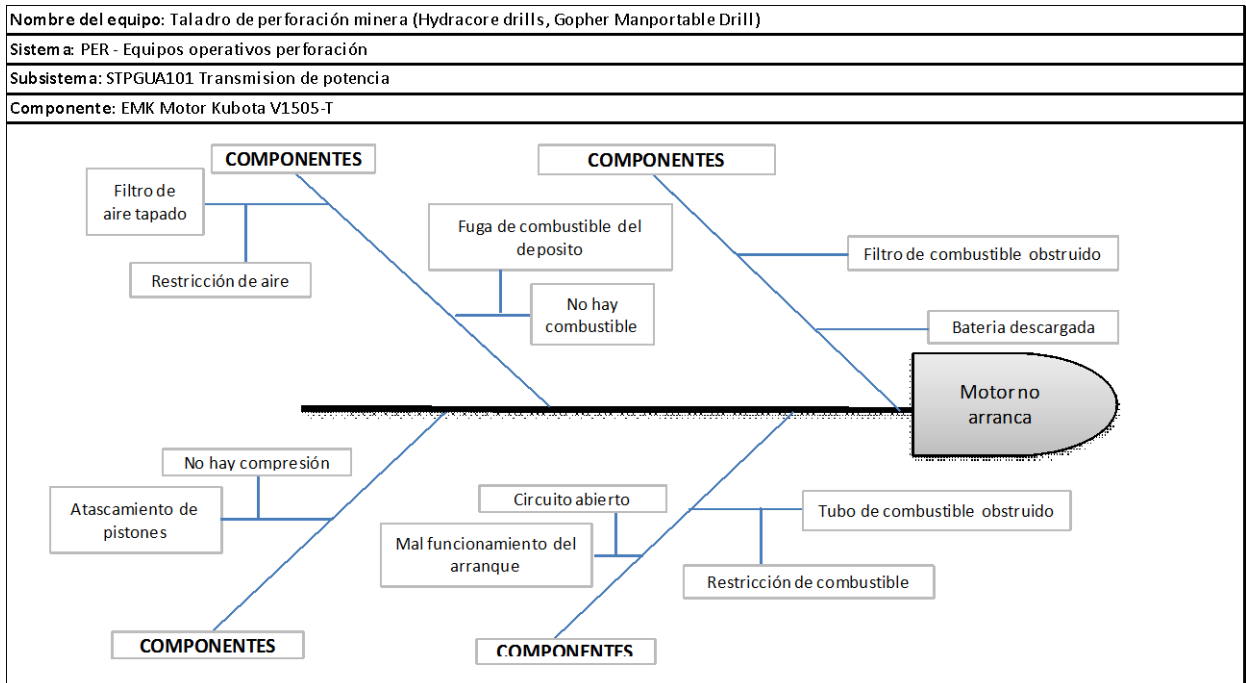
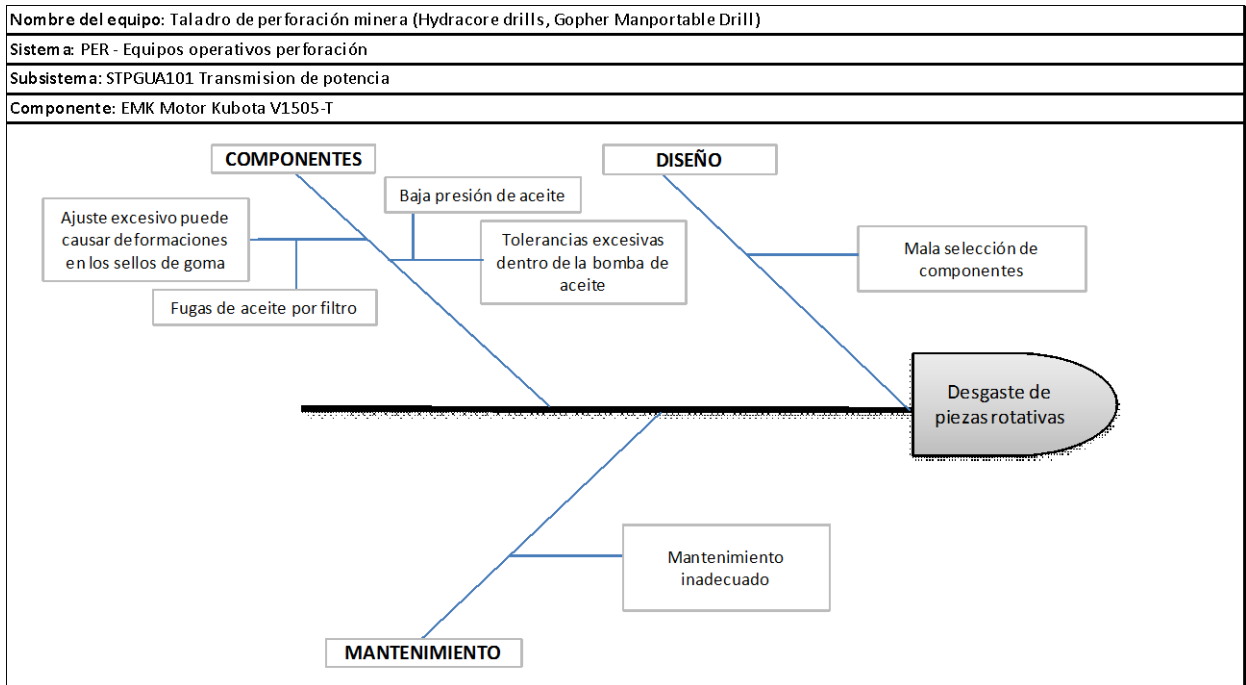
ANEXOS

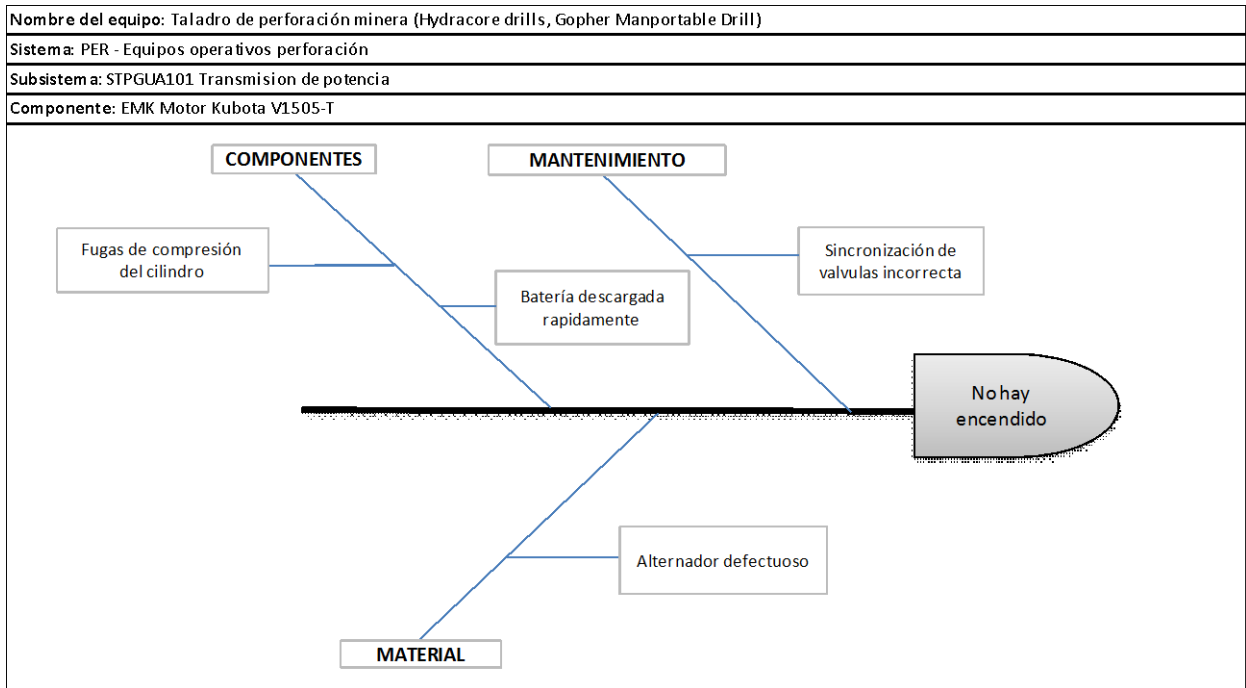
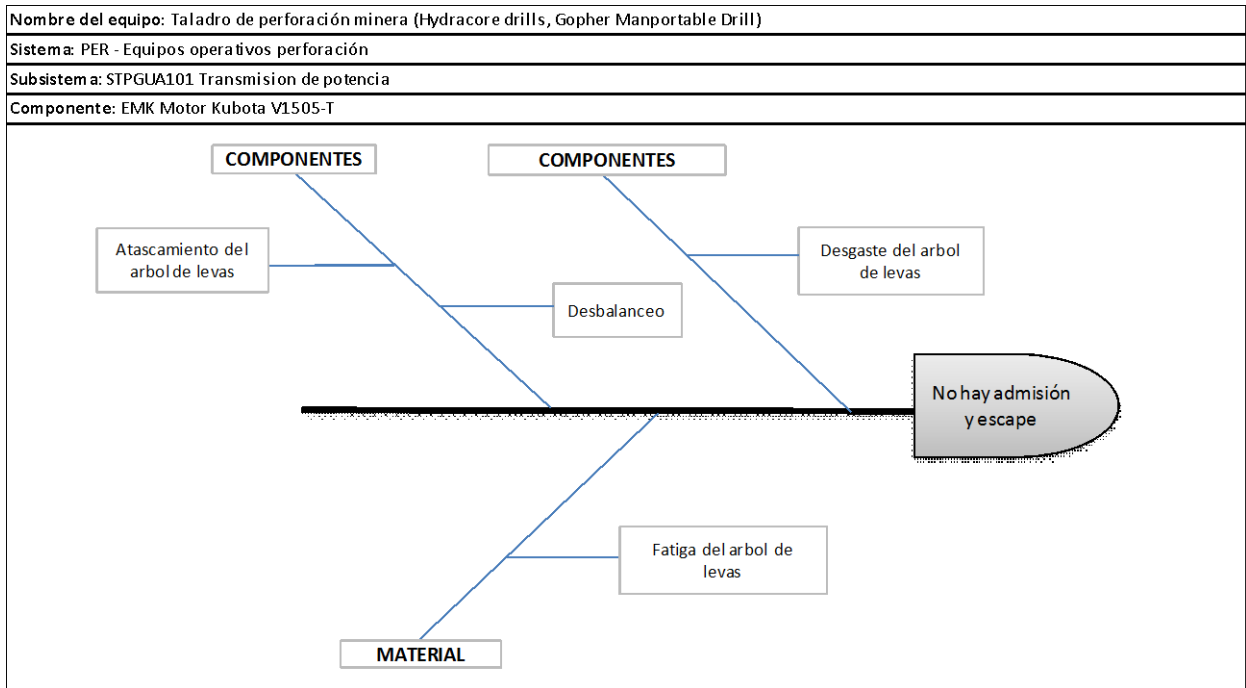
Anexo A. Espinas de pescado EMK Motor Kubota V1505-T.

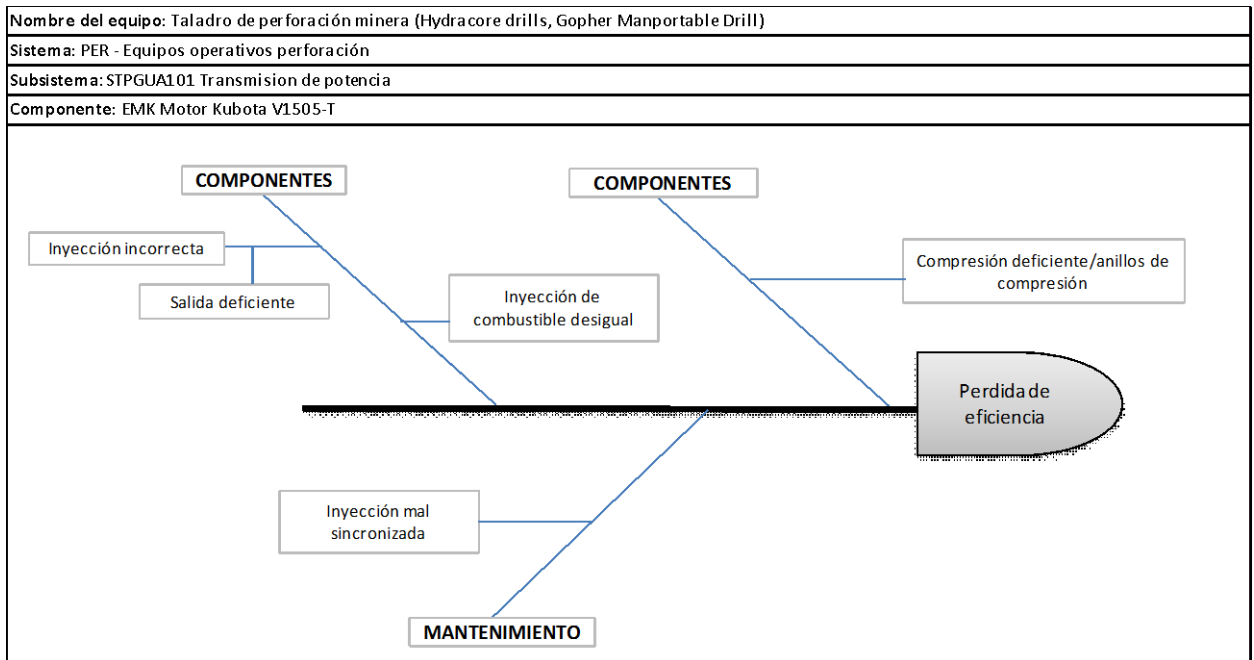
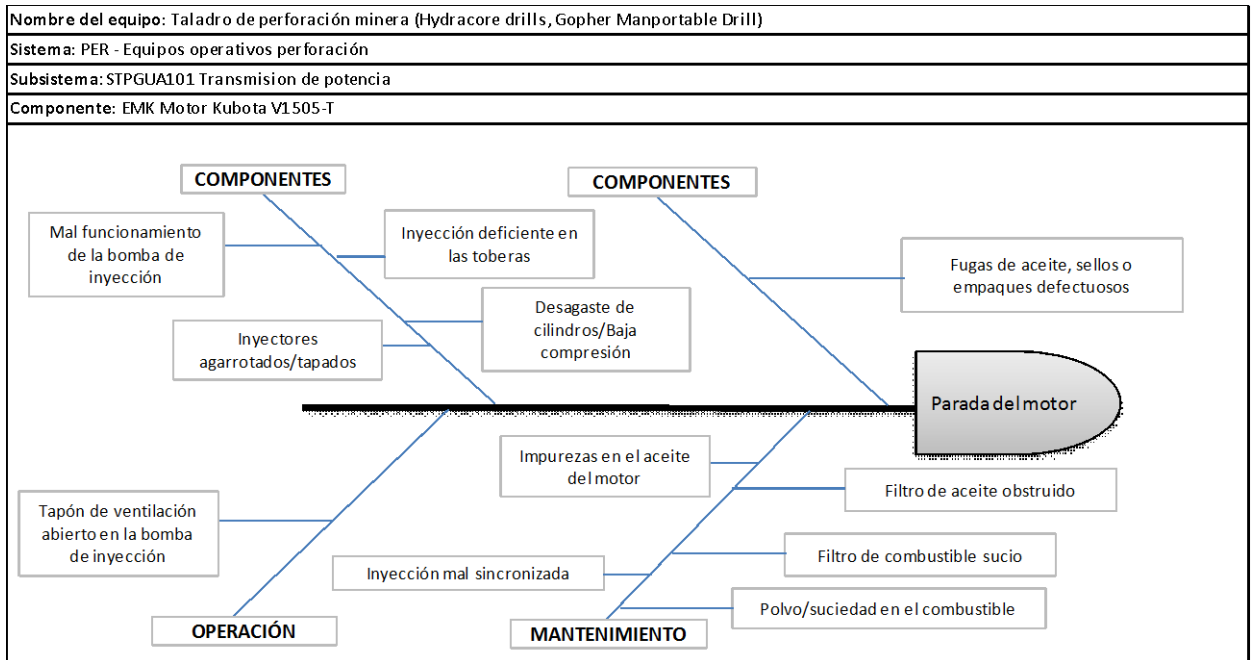


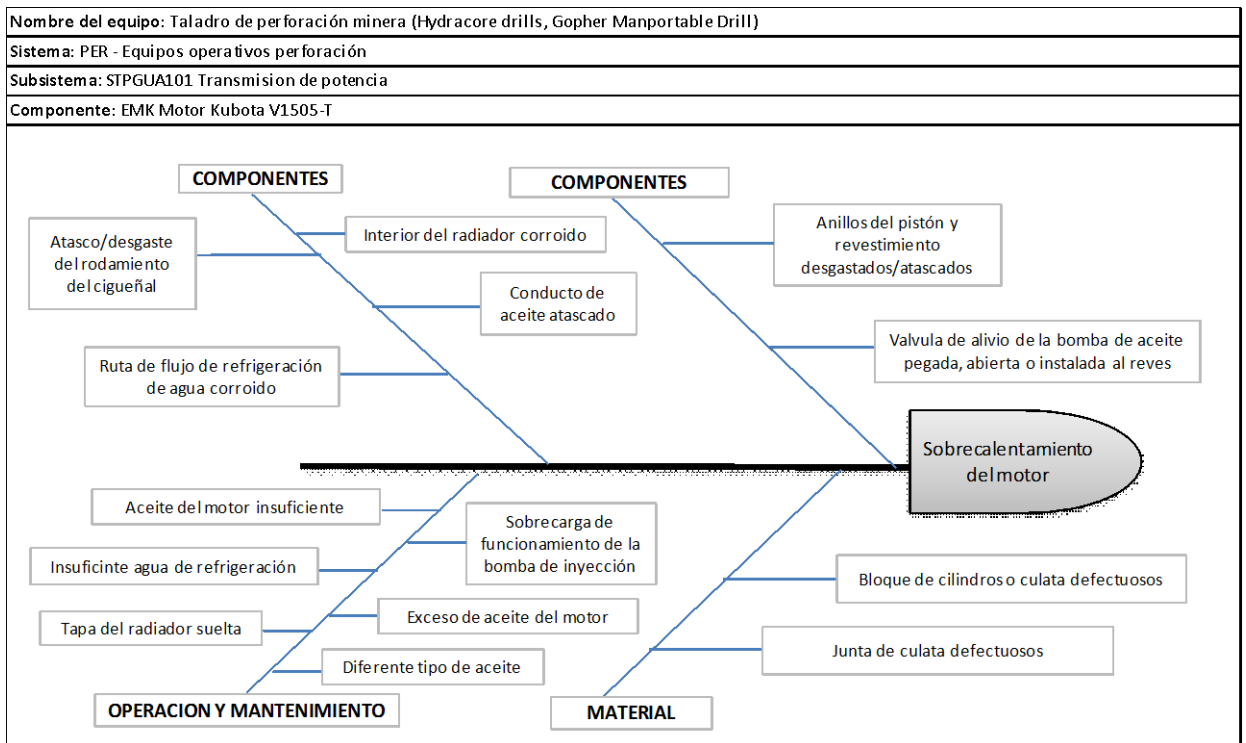
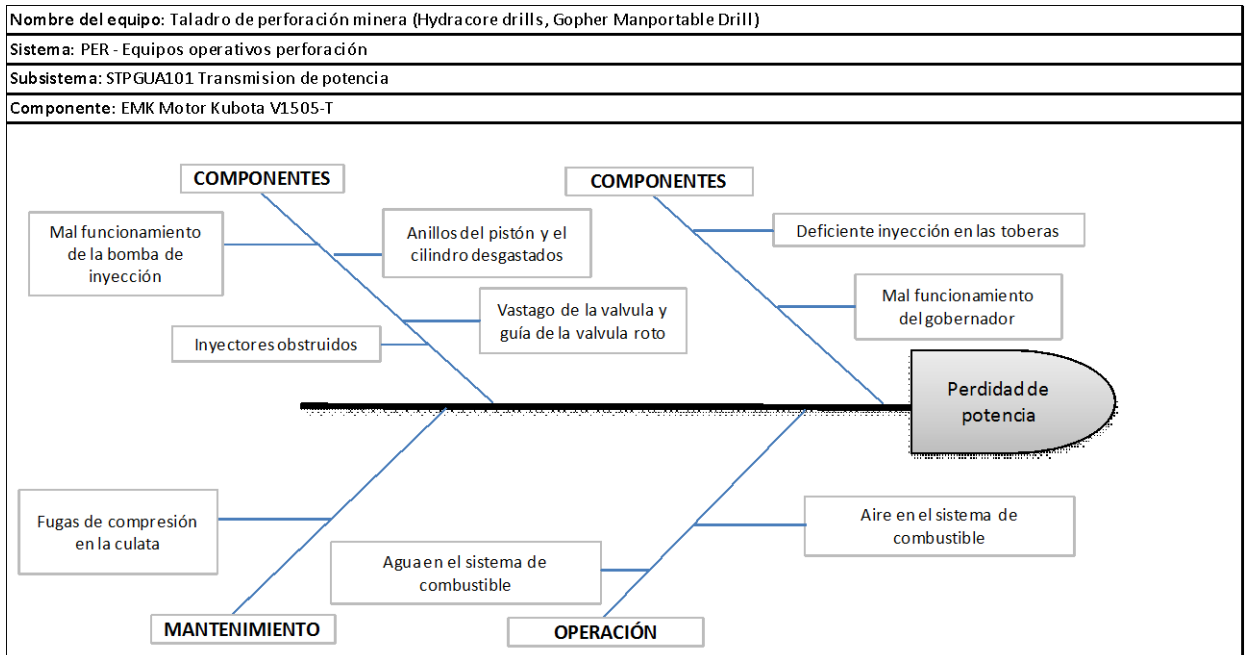




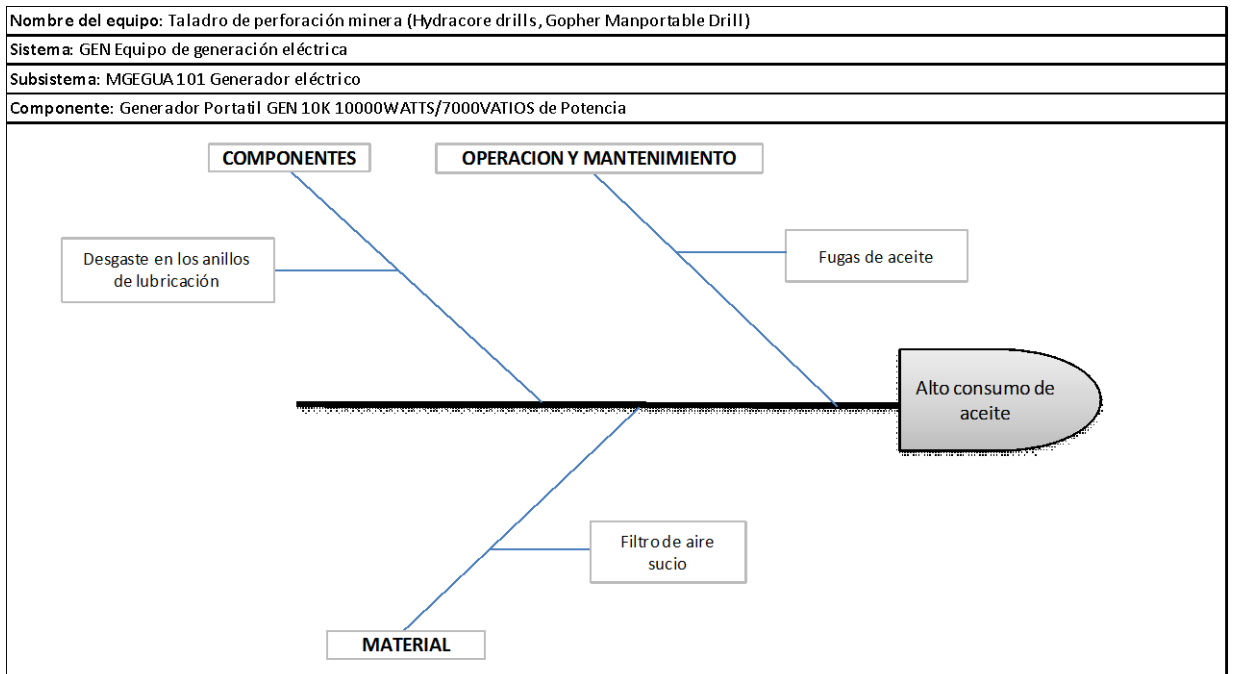
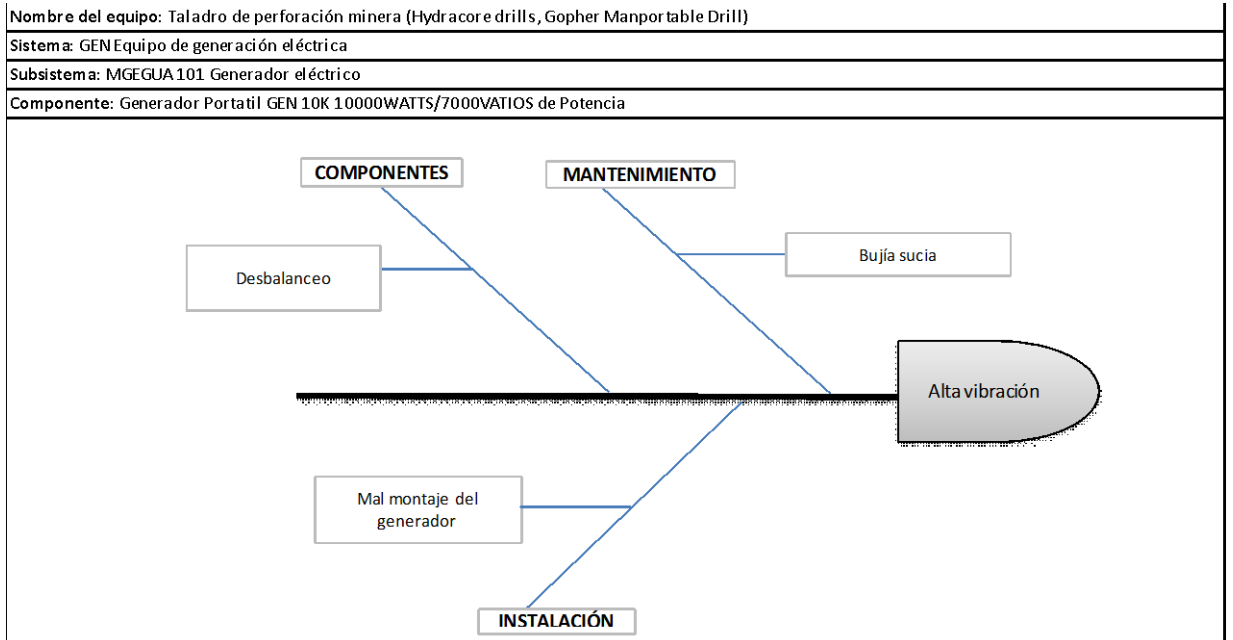


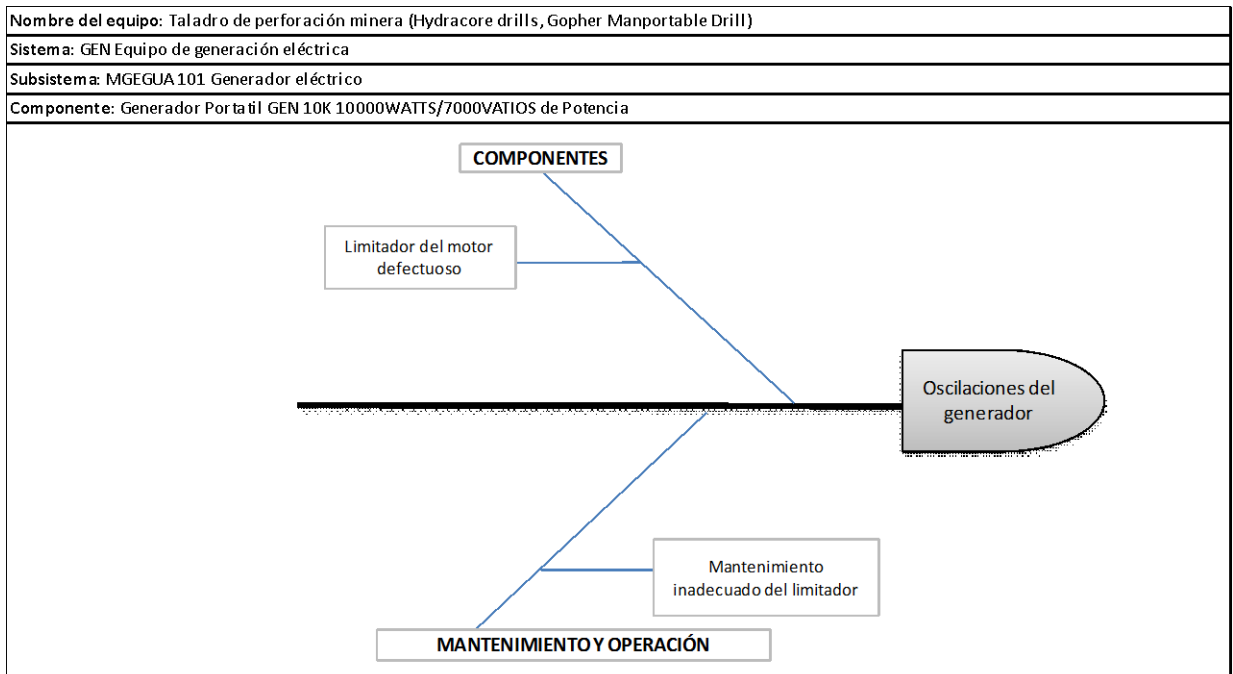
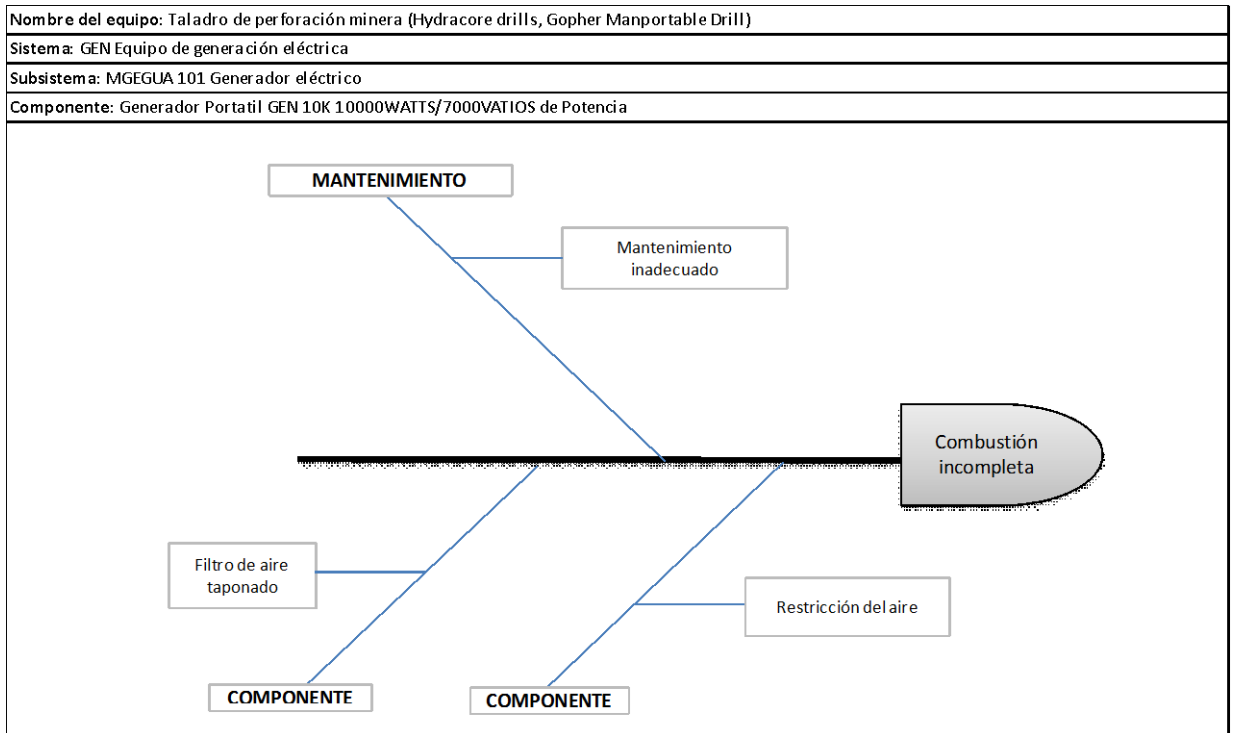


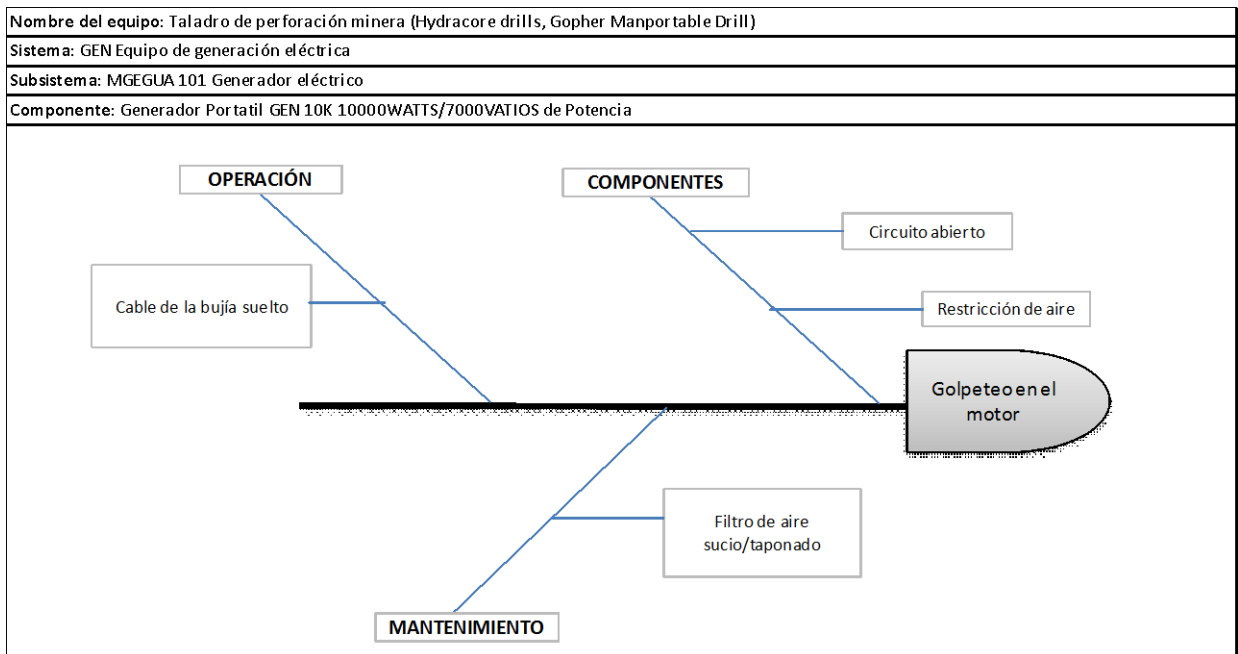
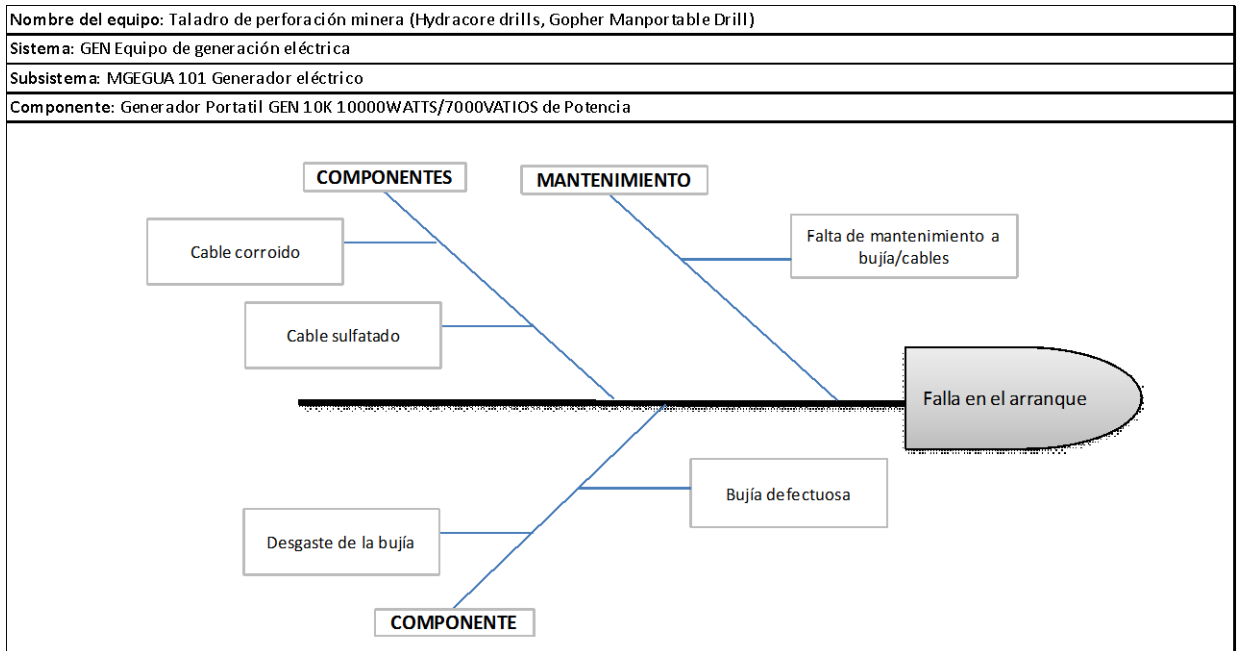


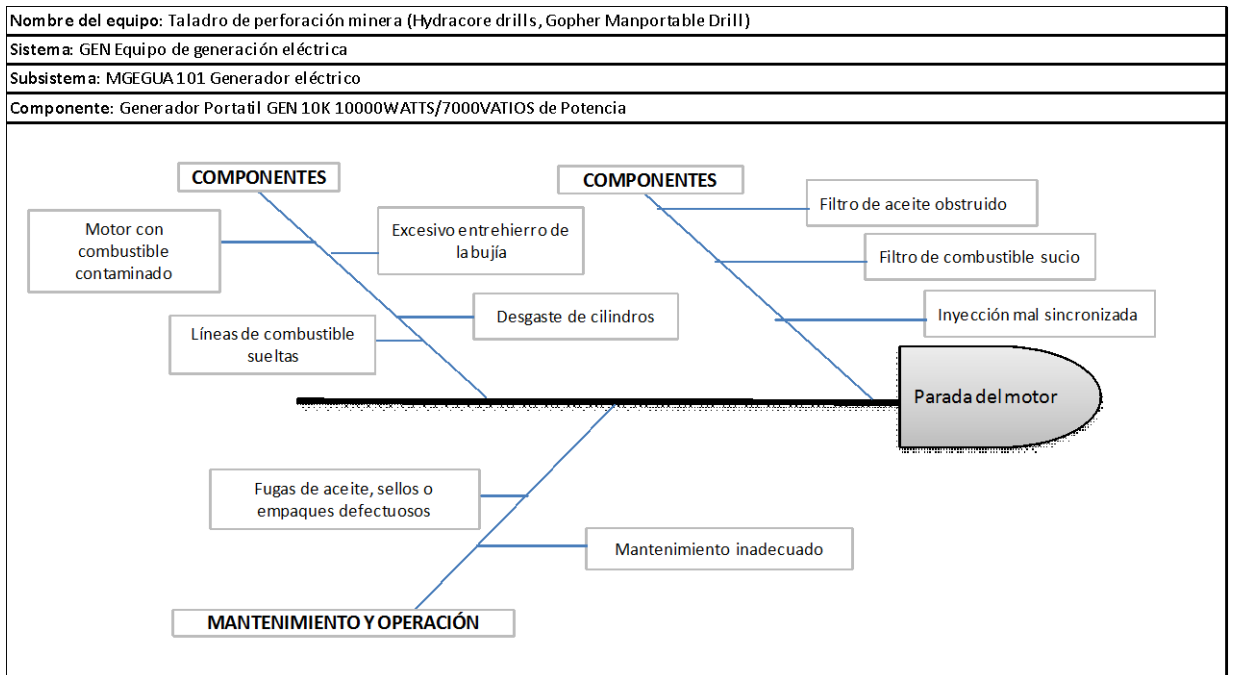
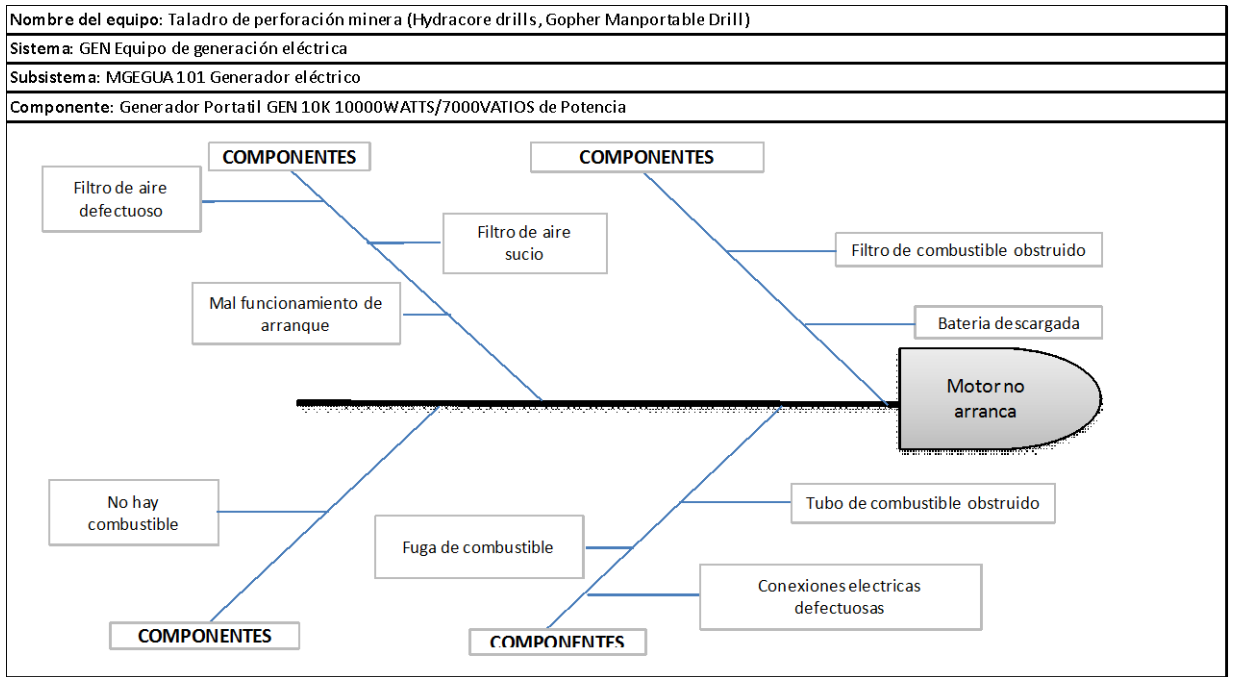


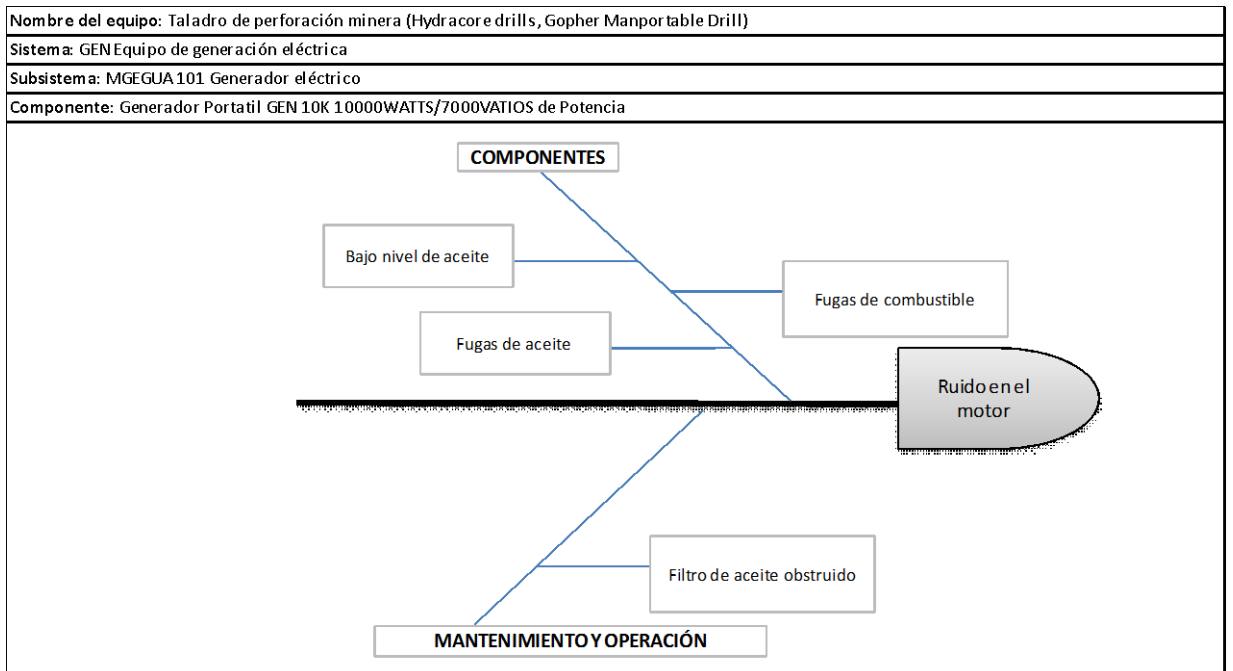
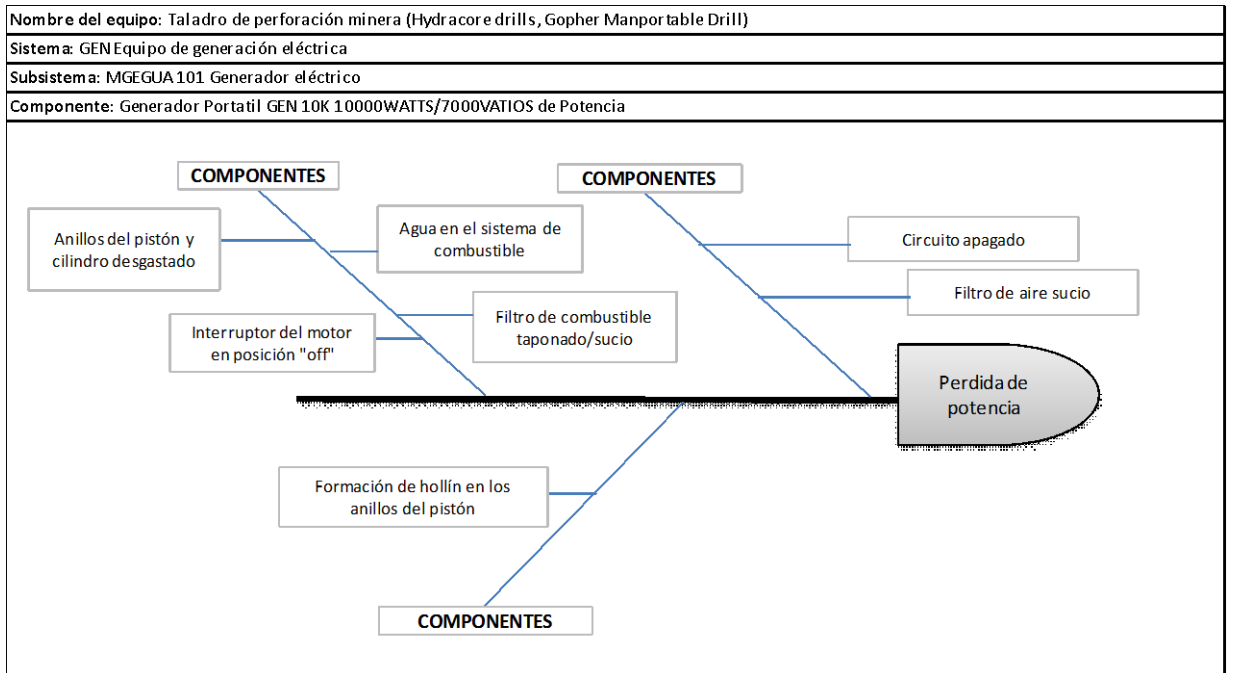
Anexo B Espinas de pescado EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K.

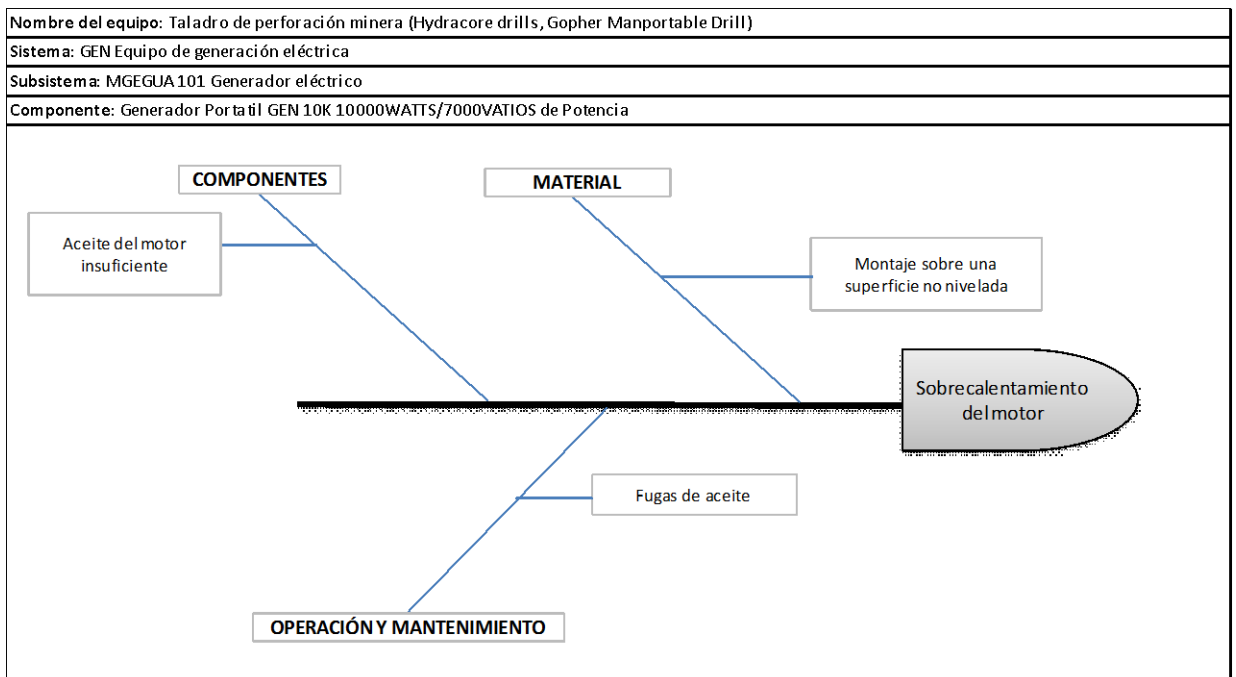
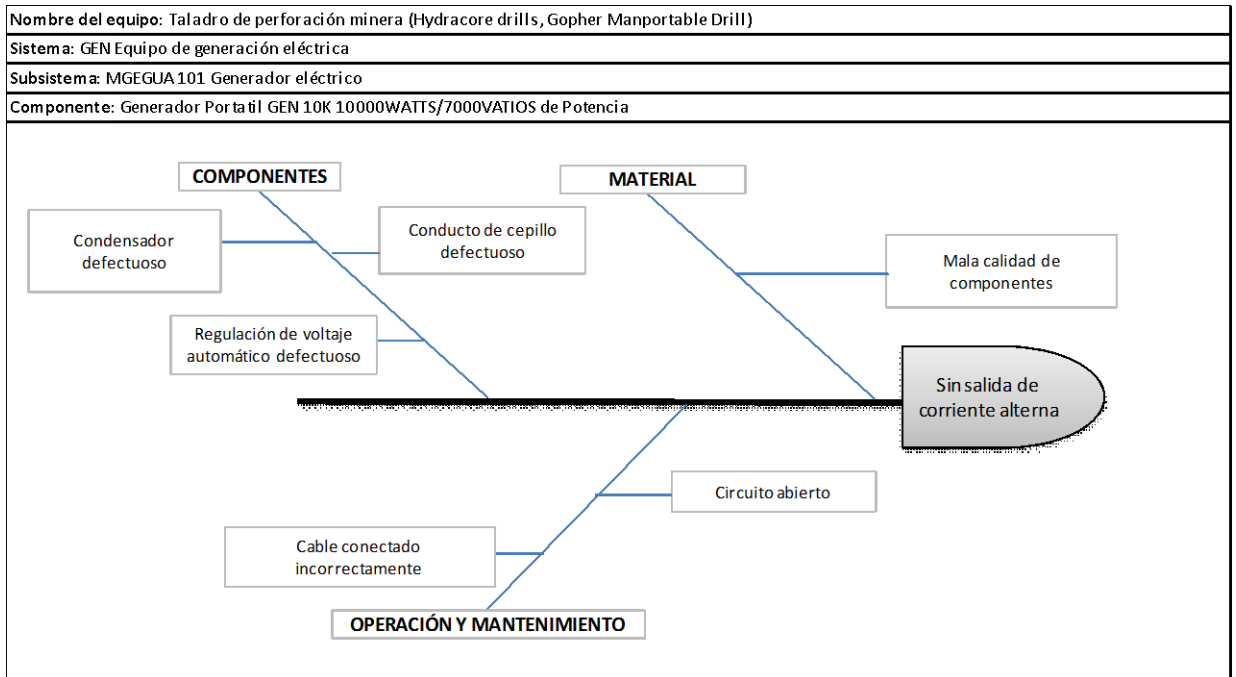


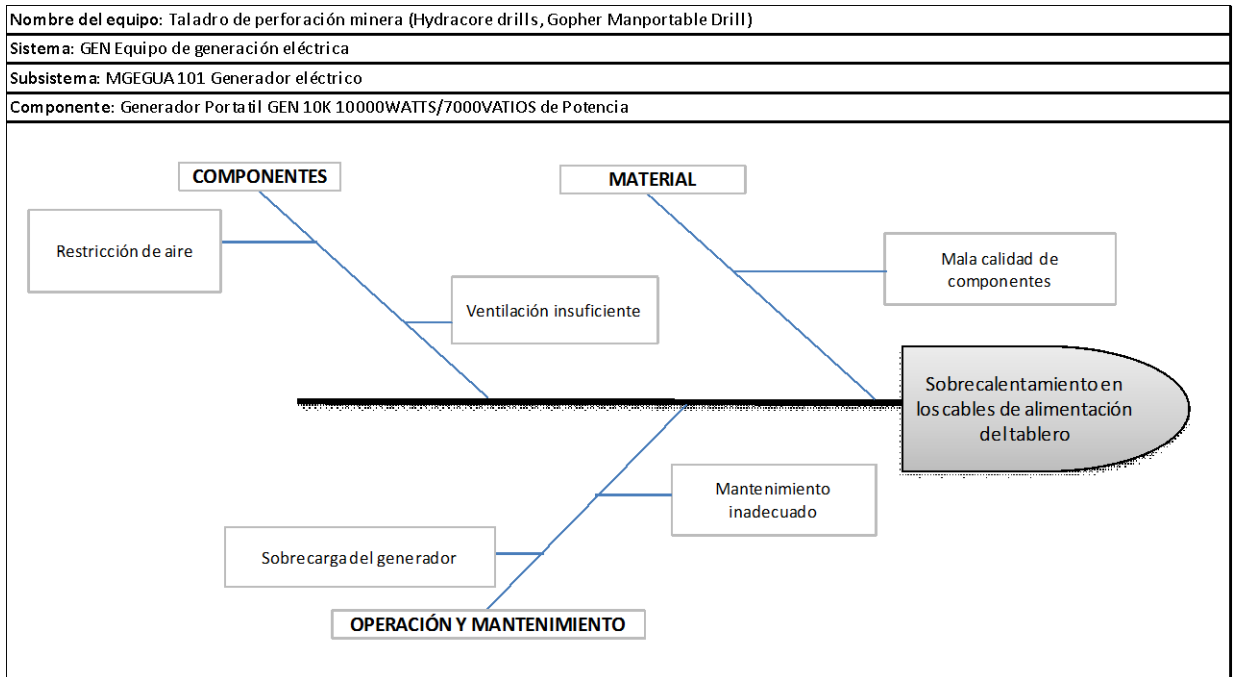




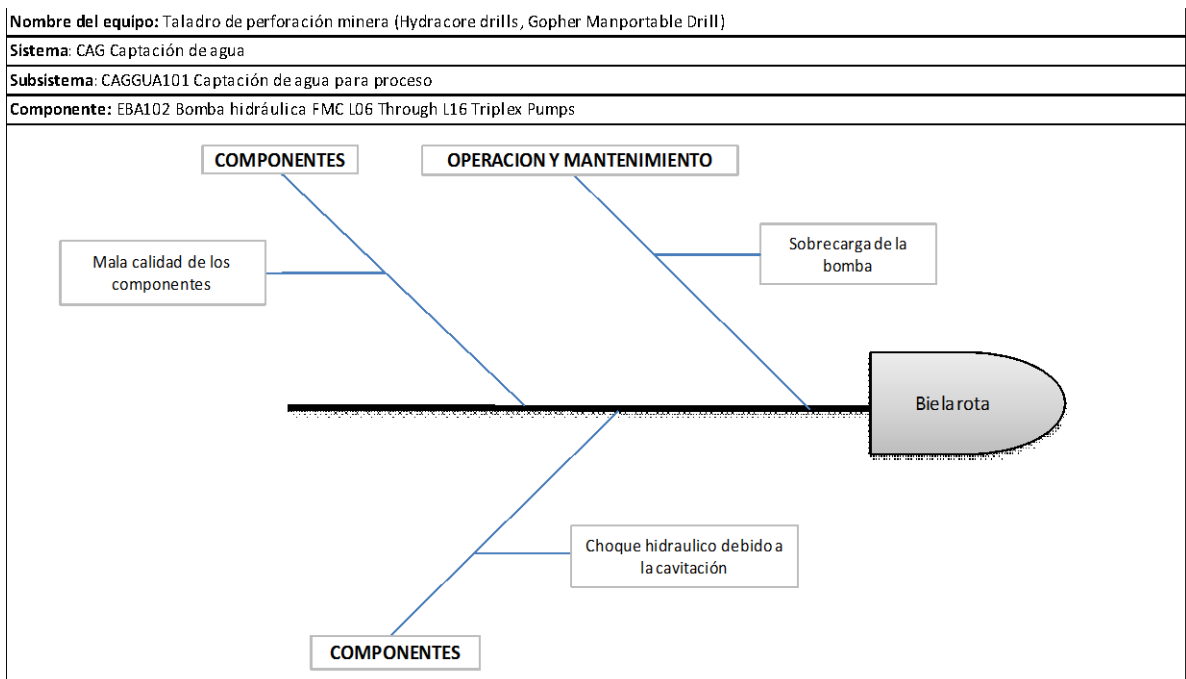
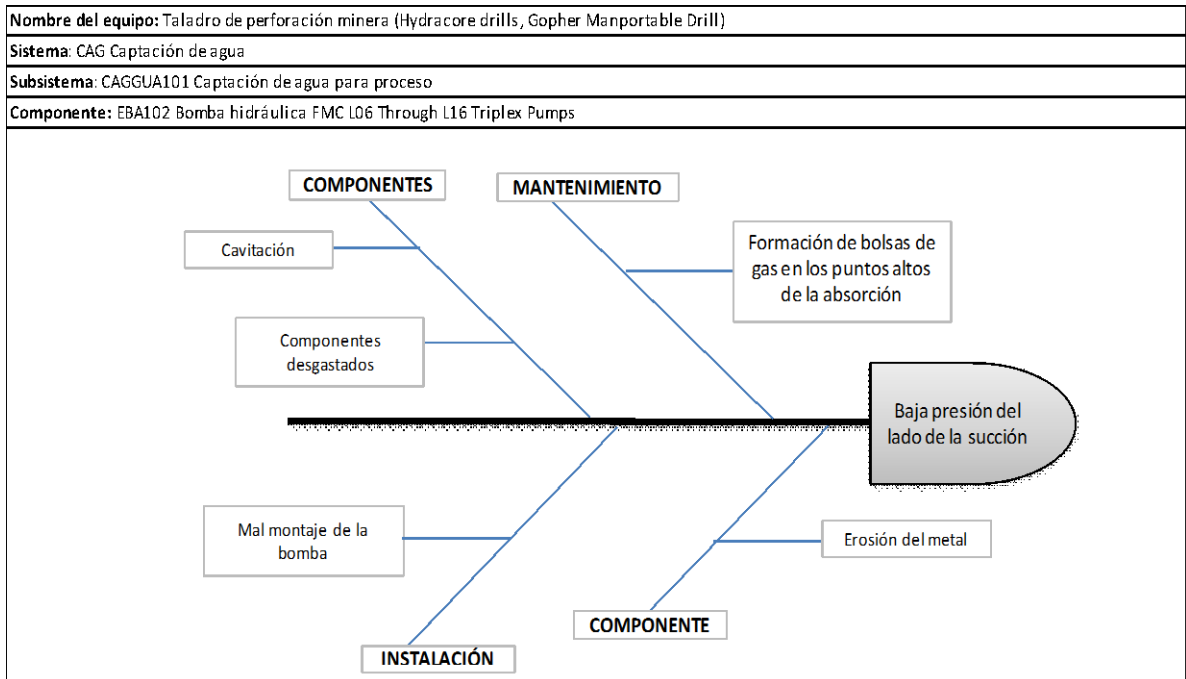


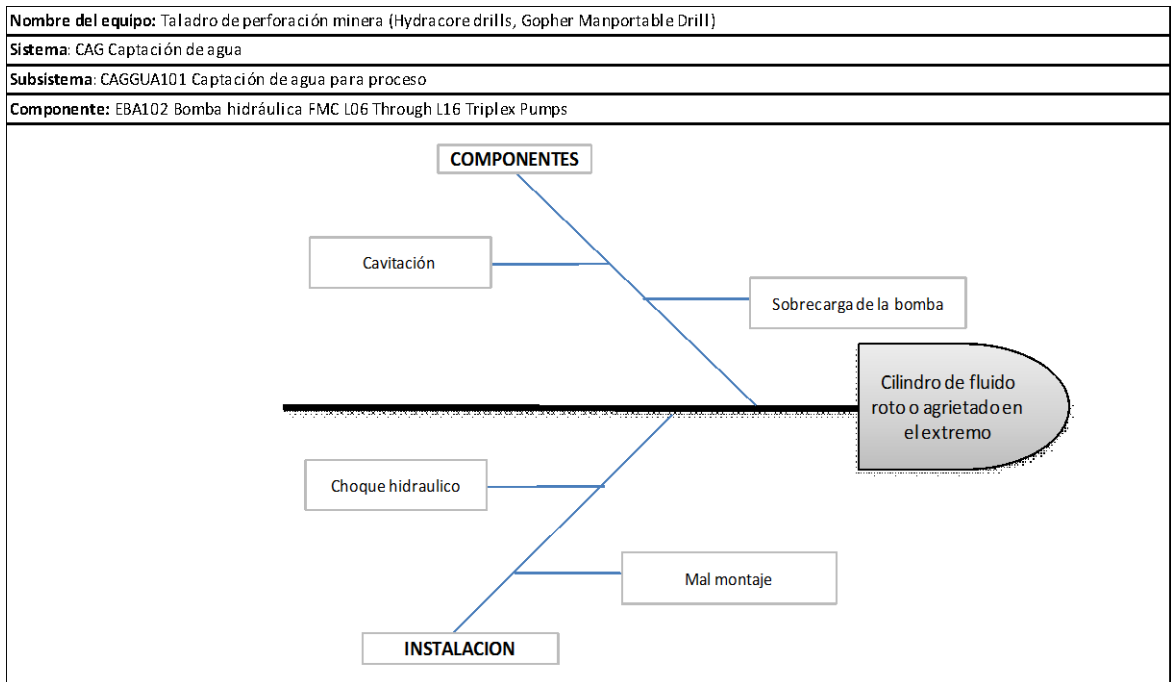
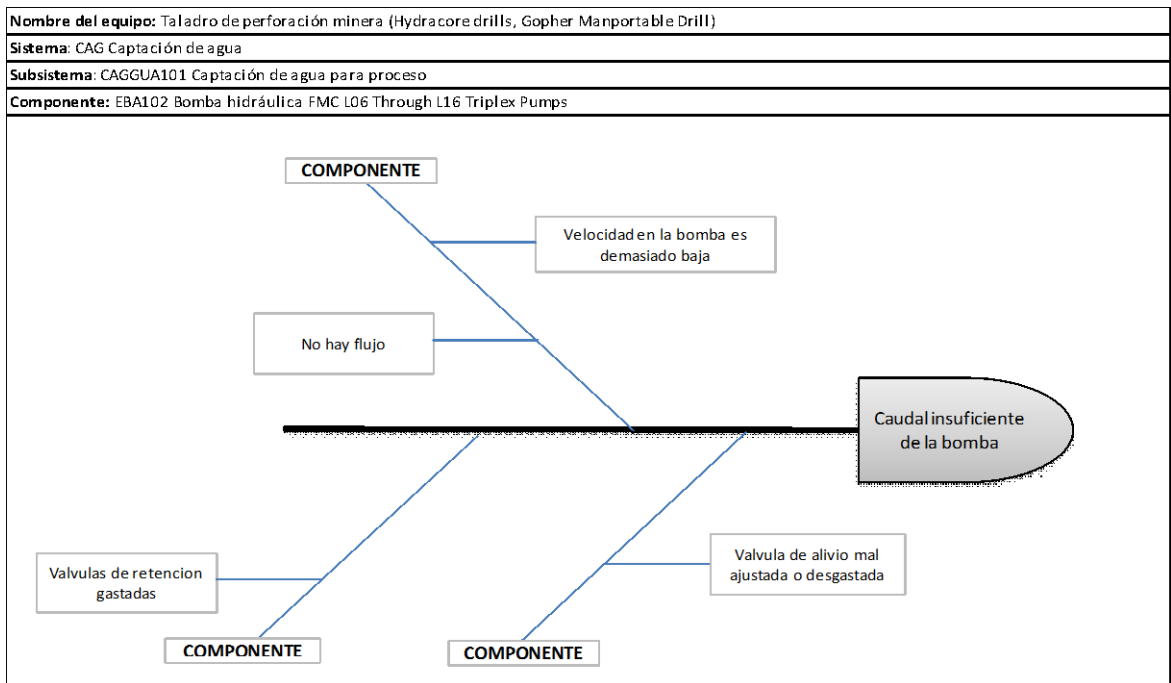


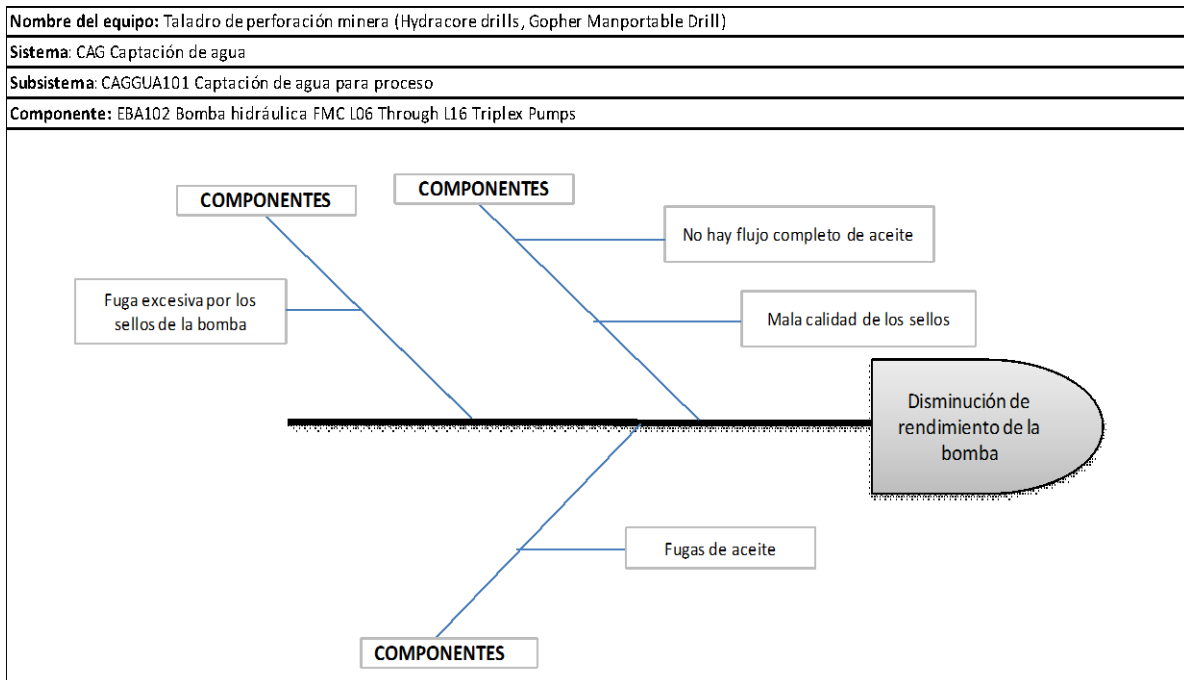
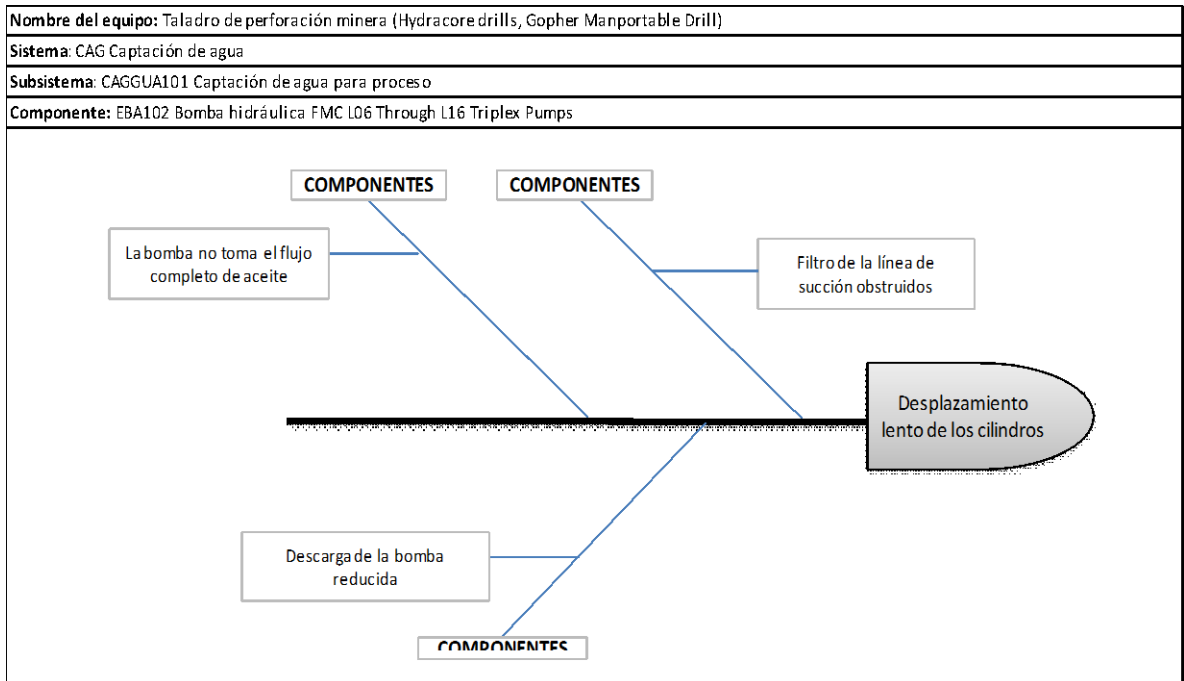


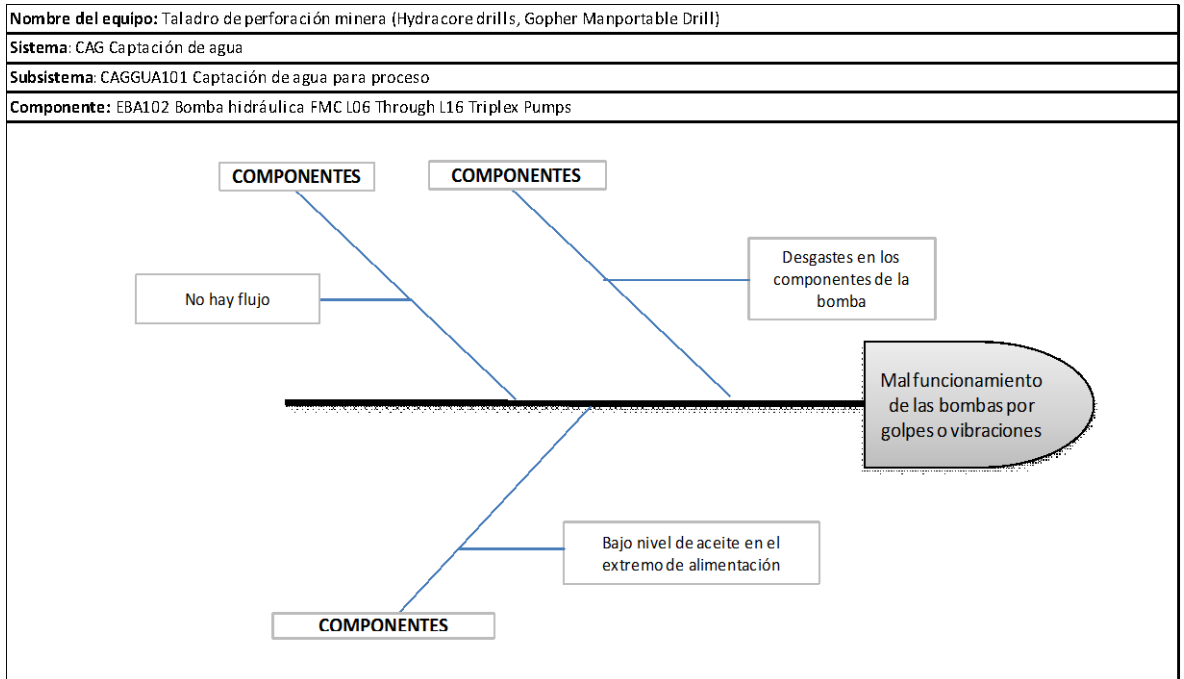
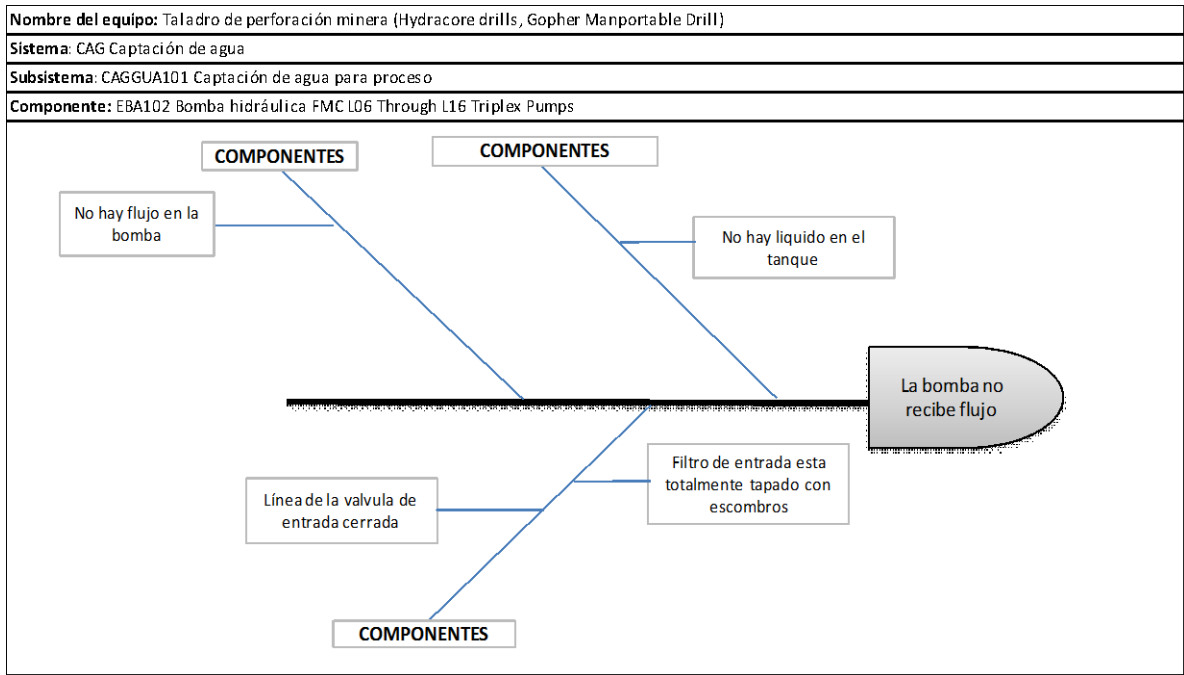


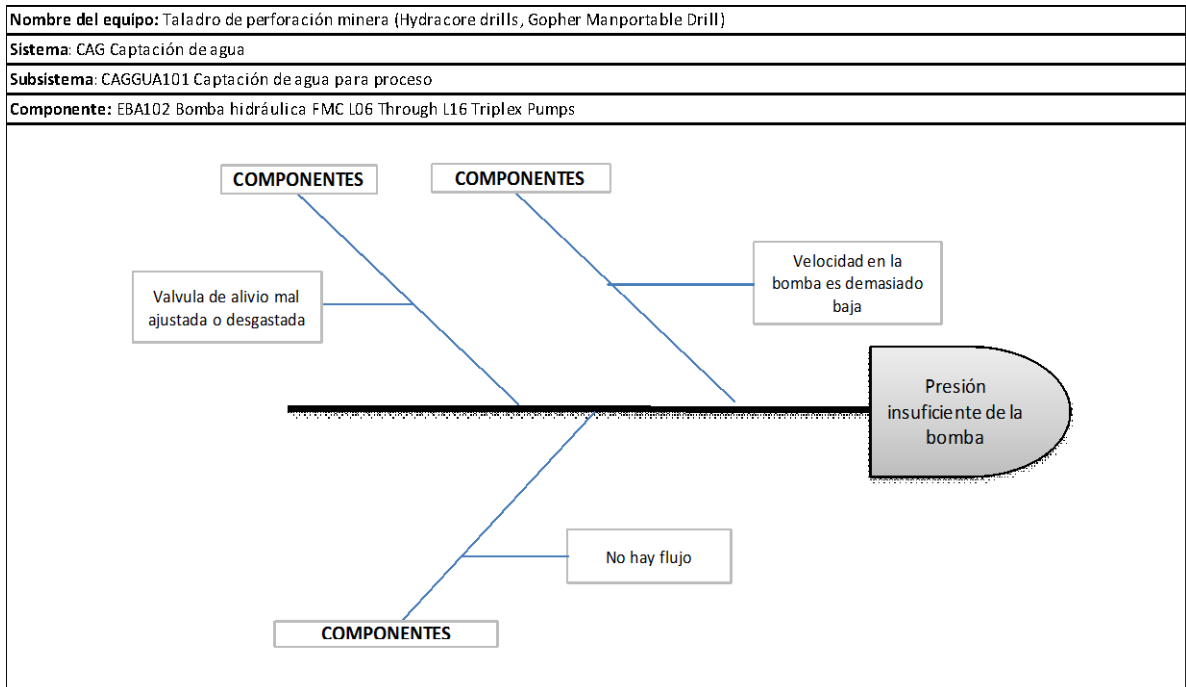
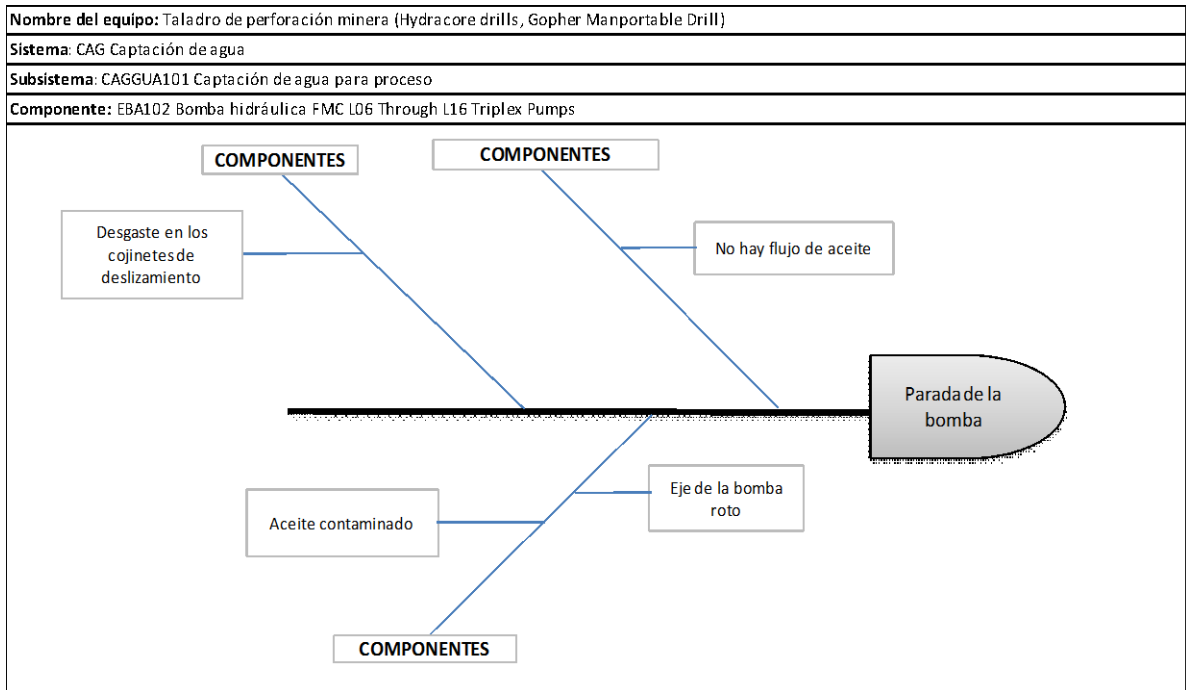
Anexo C Espinas de pescado EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.

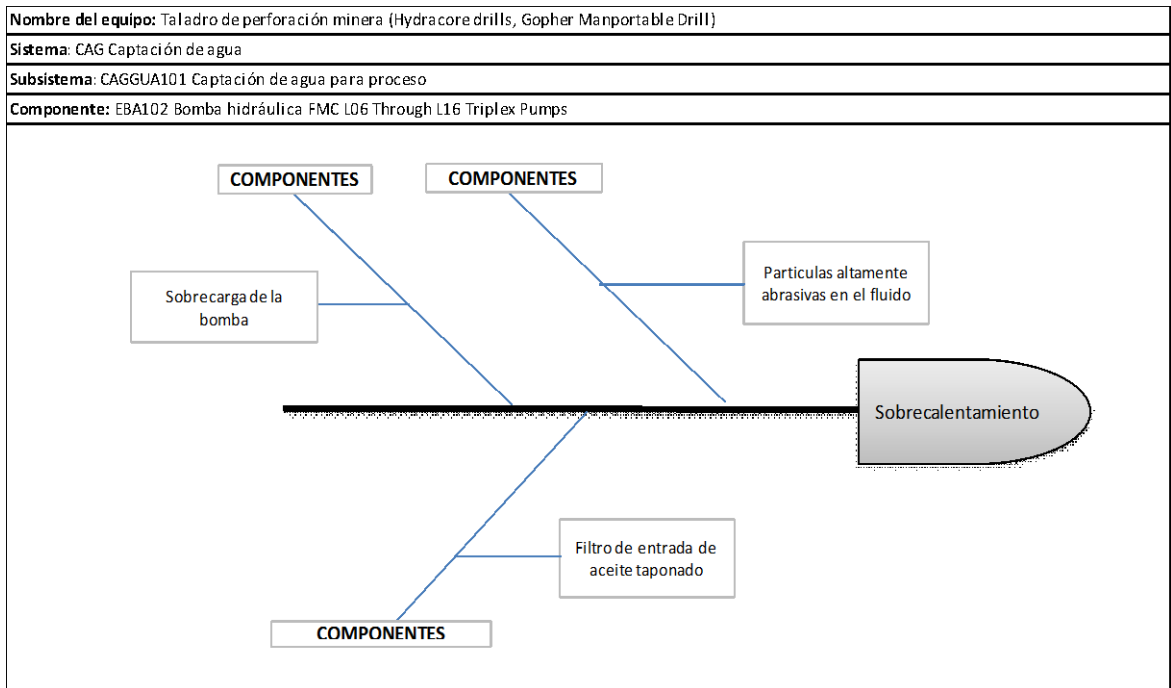
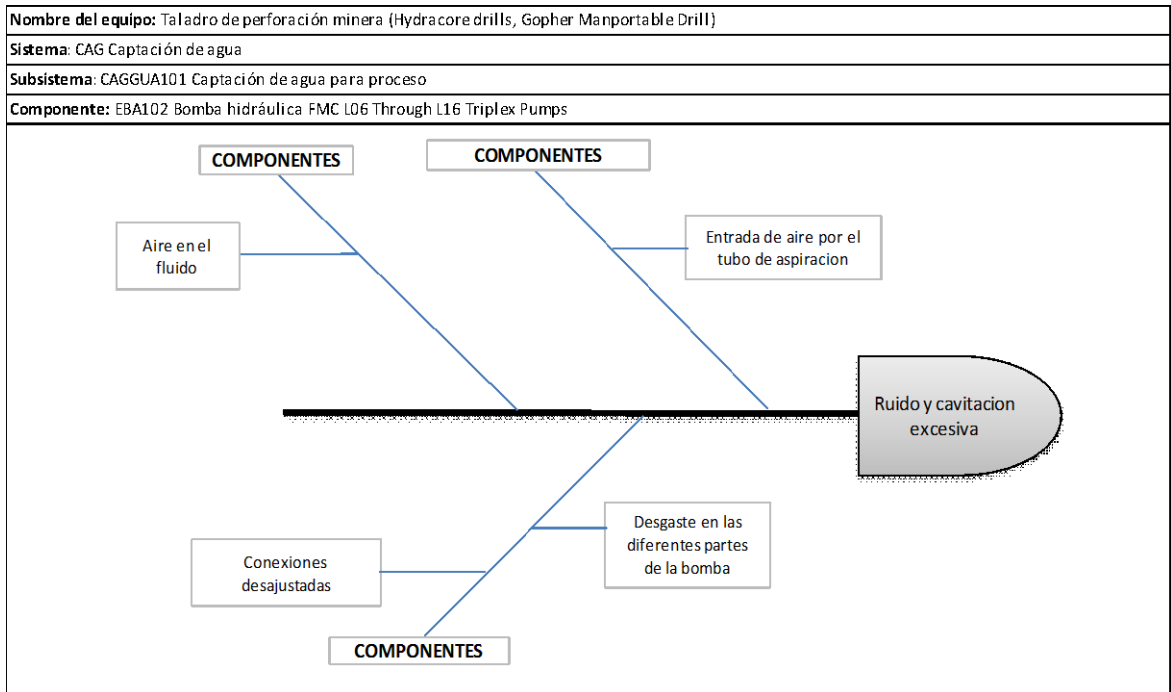


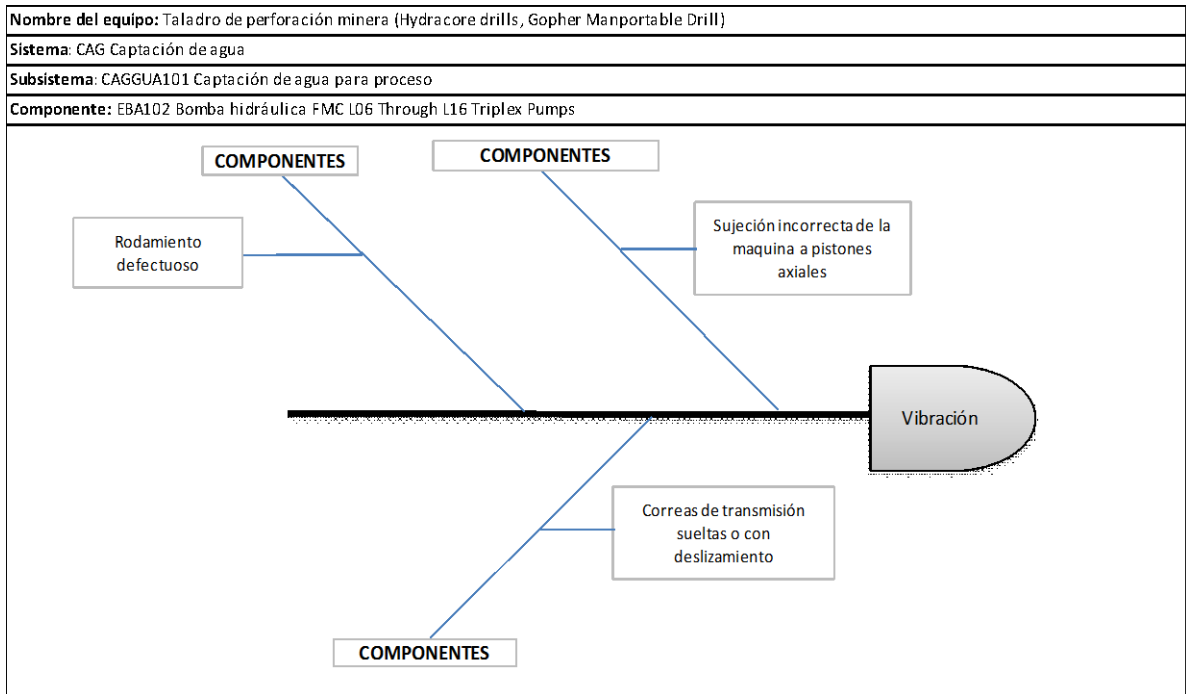




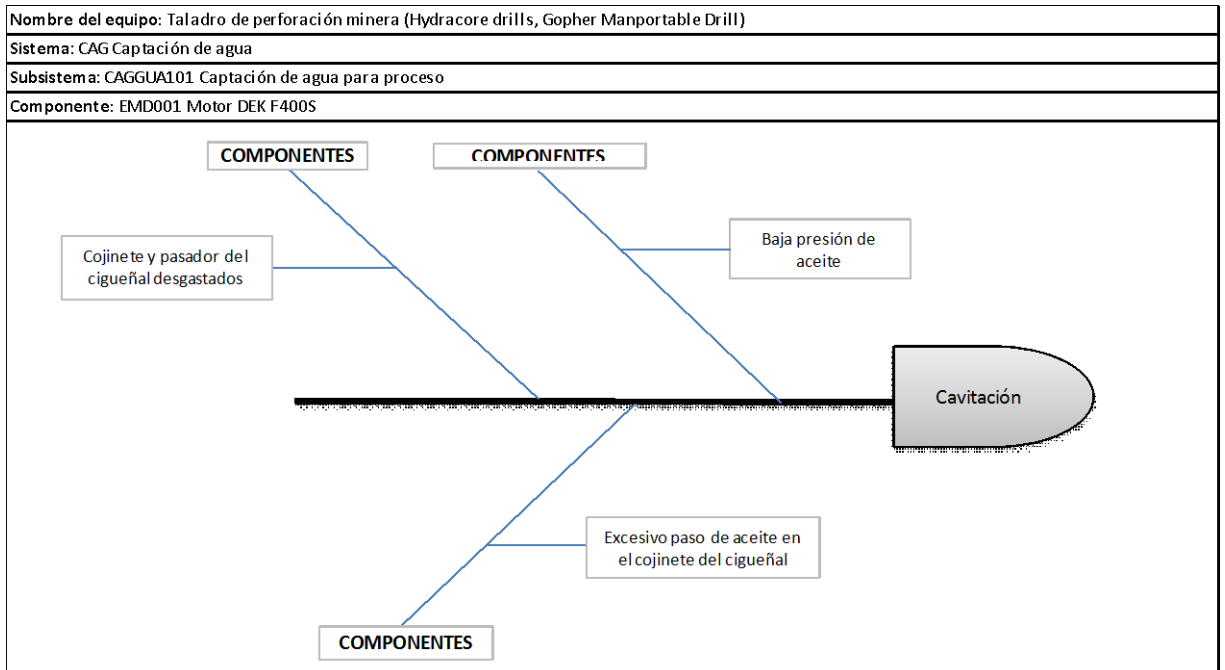
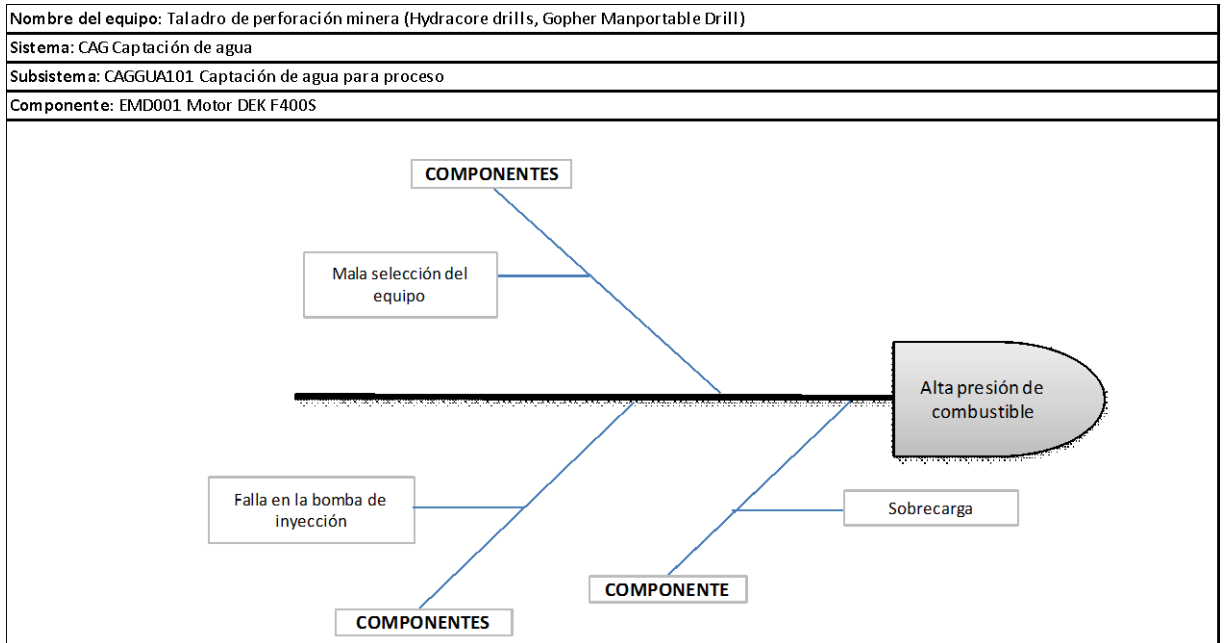


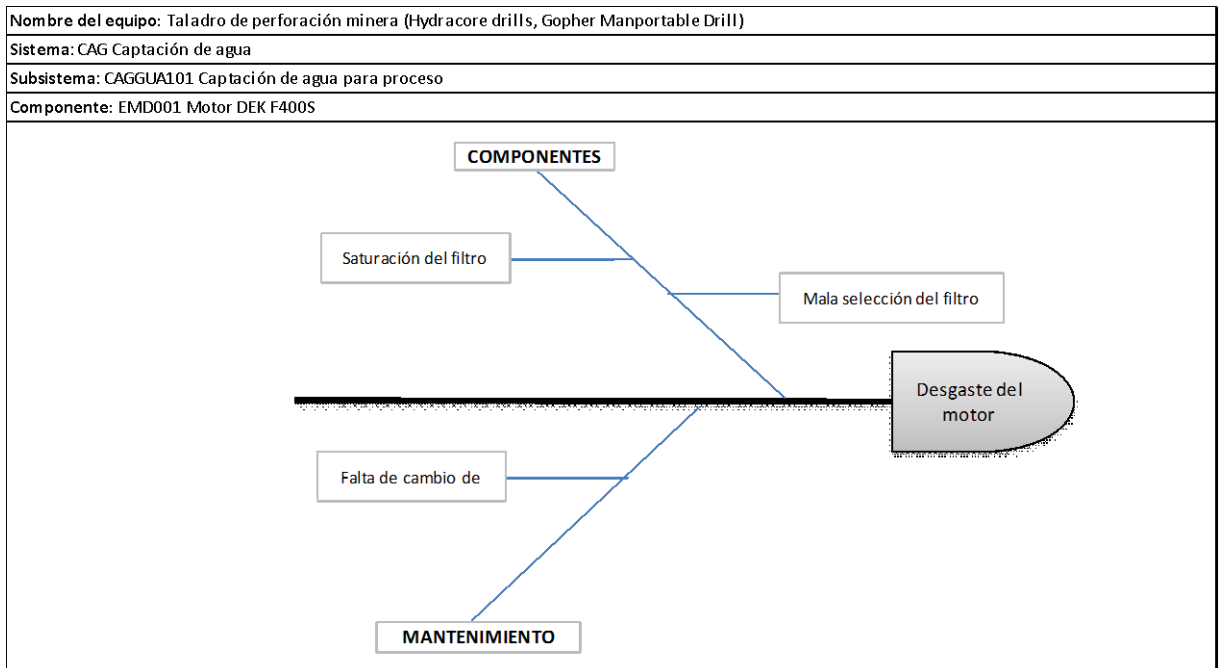
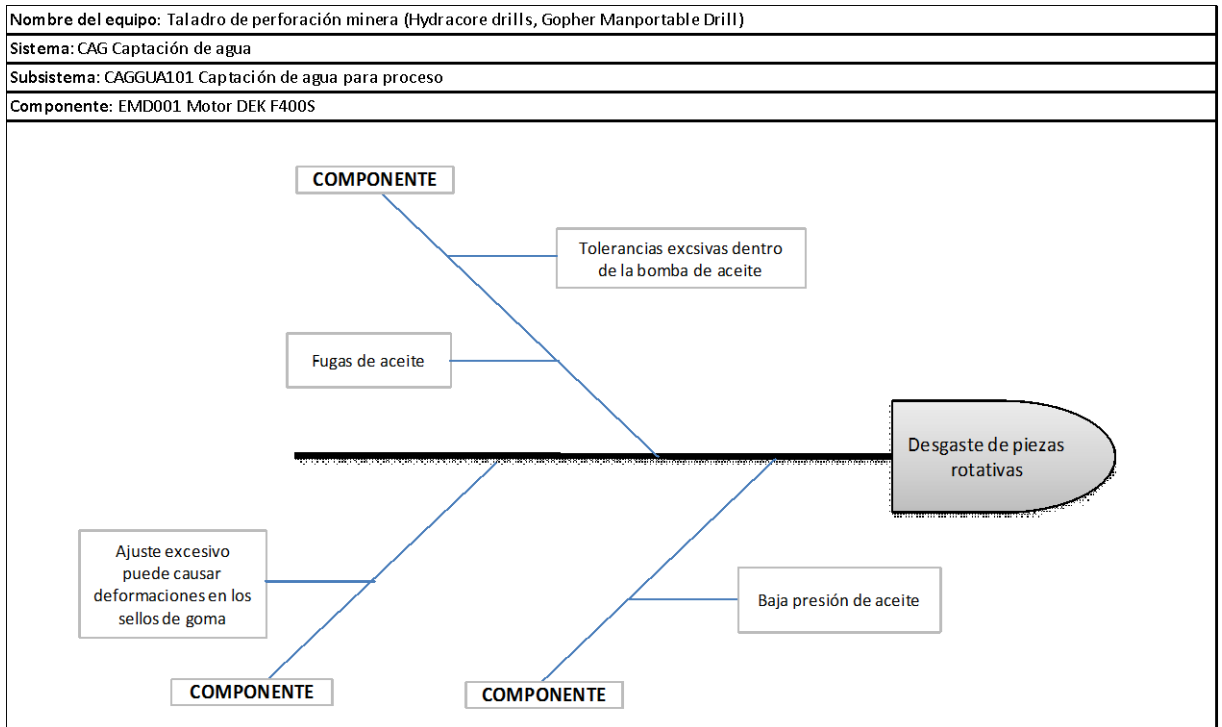


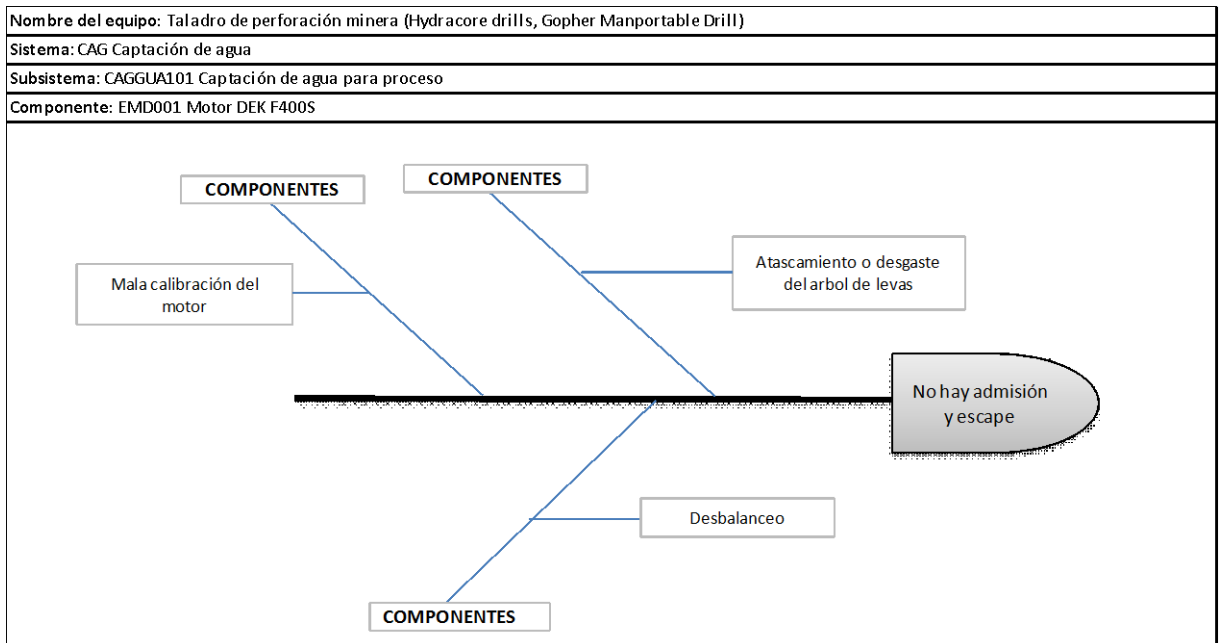
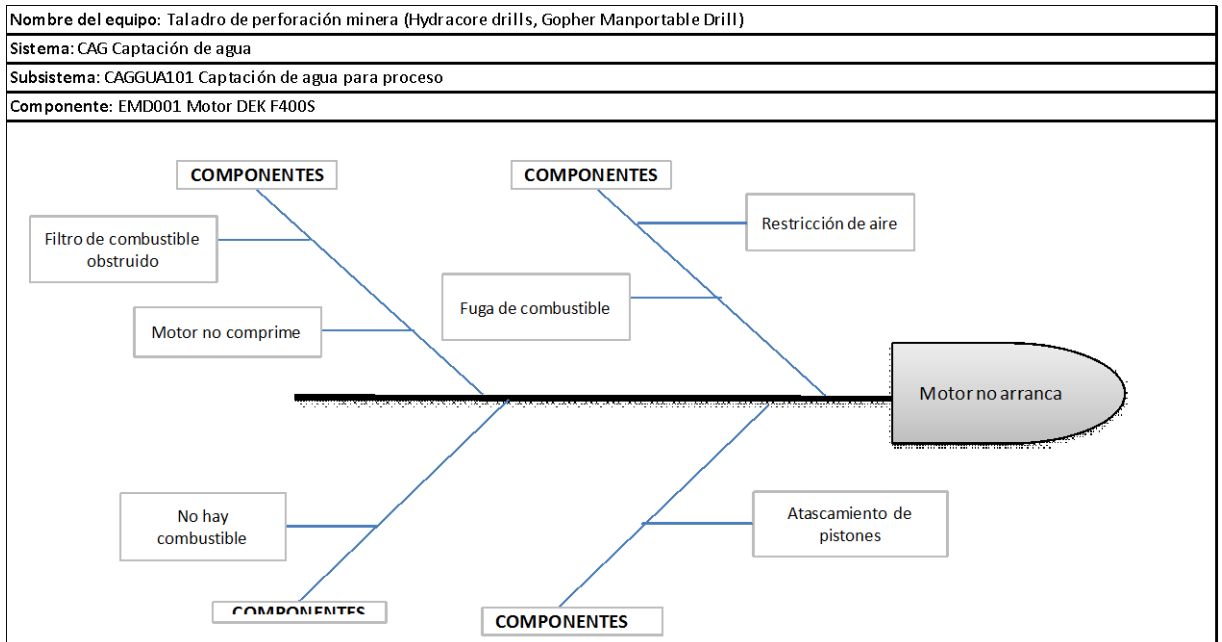


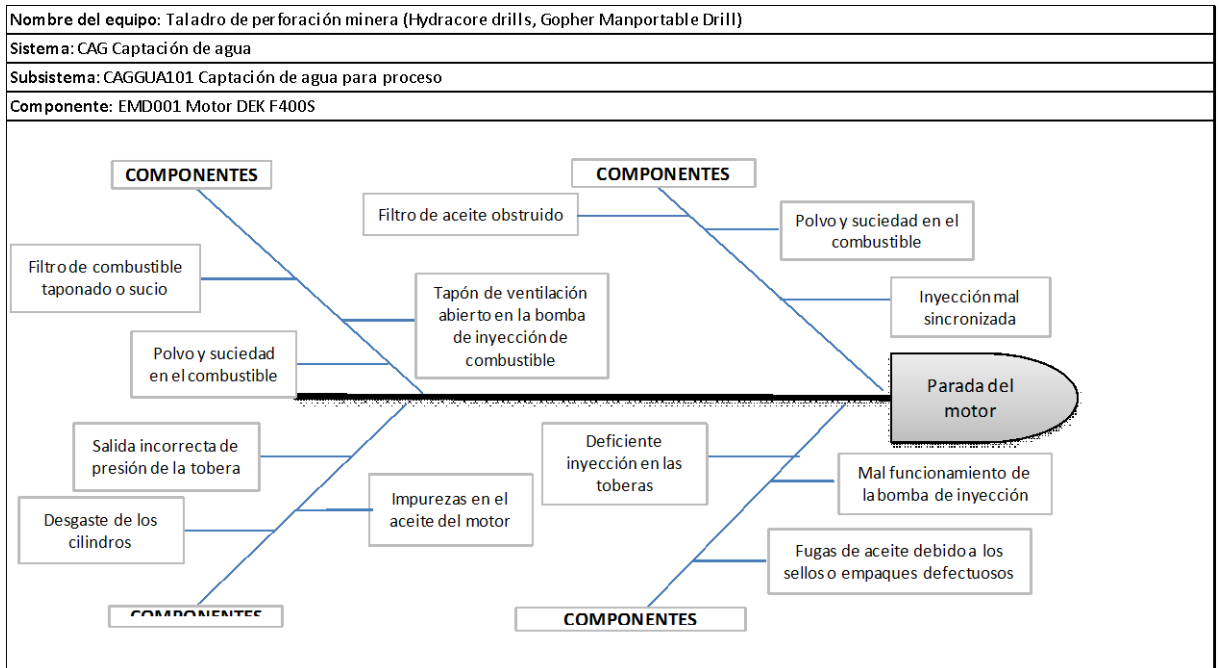
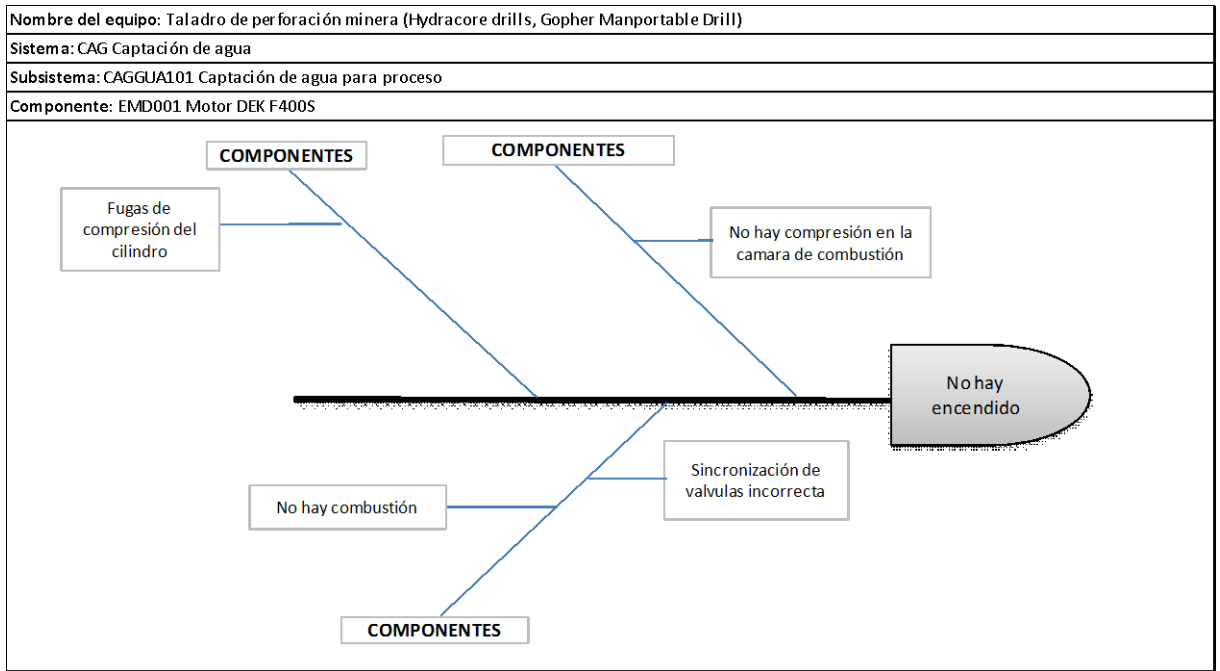


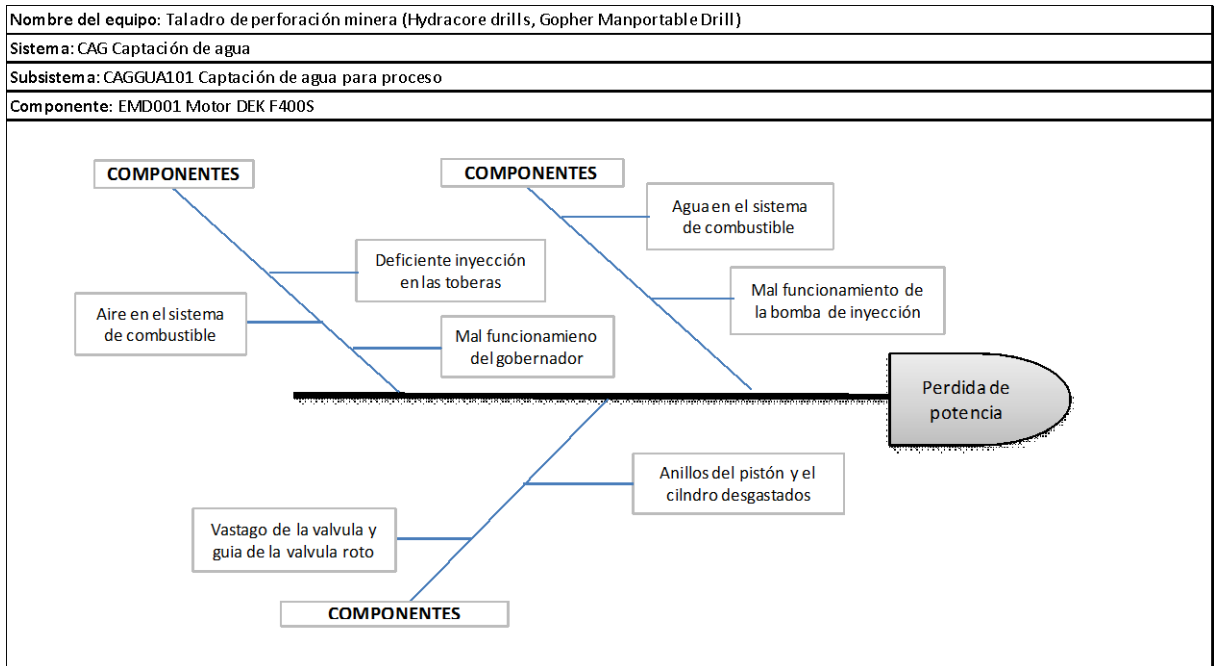
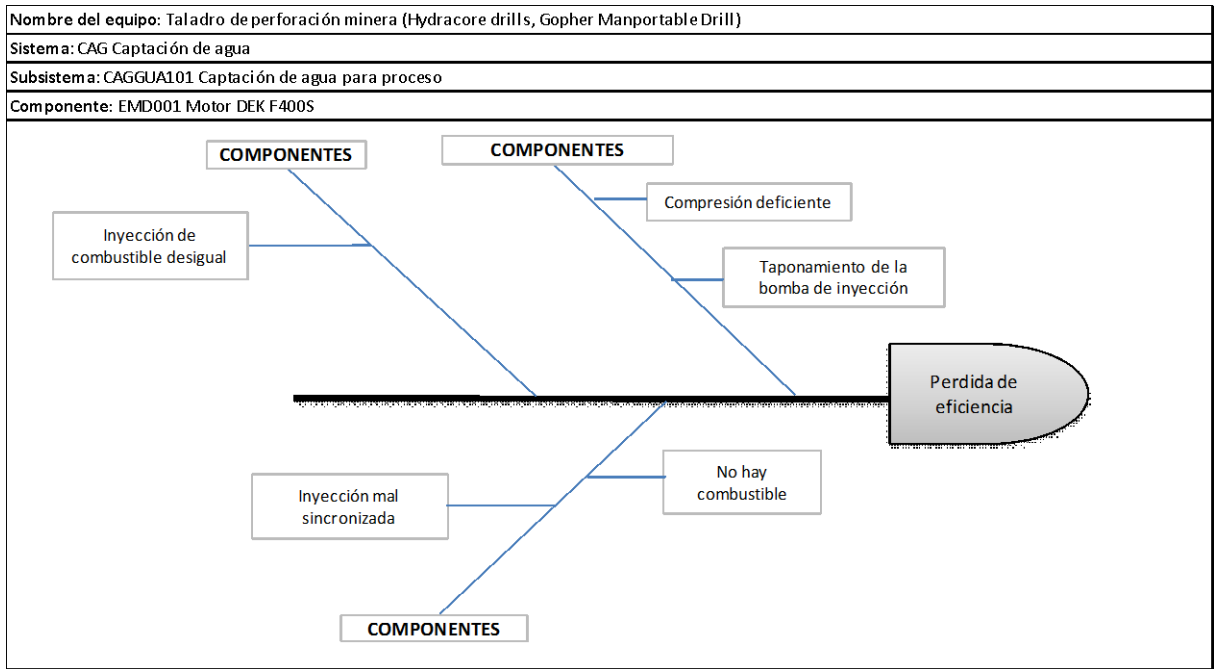
Anexo D. Espinas de pescado EMD001 Motor DEK F400S.

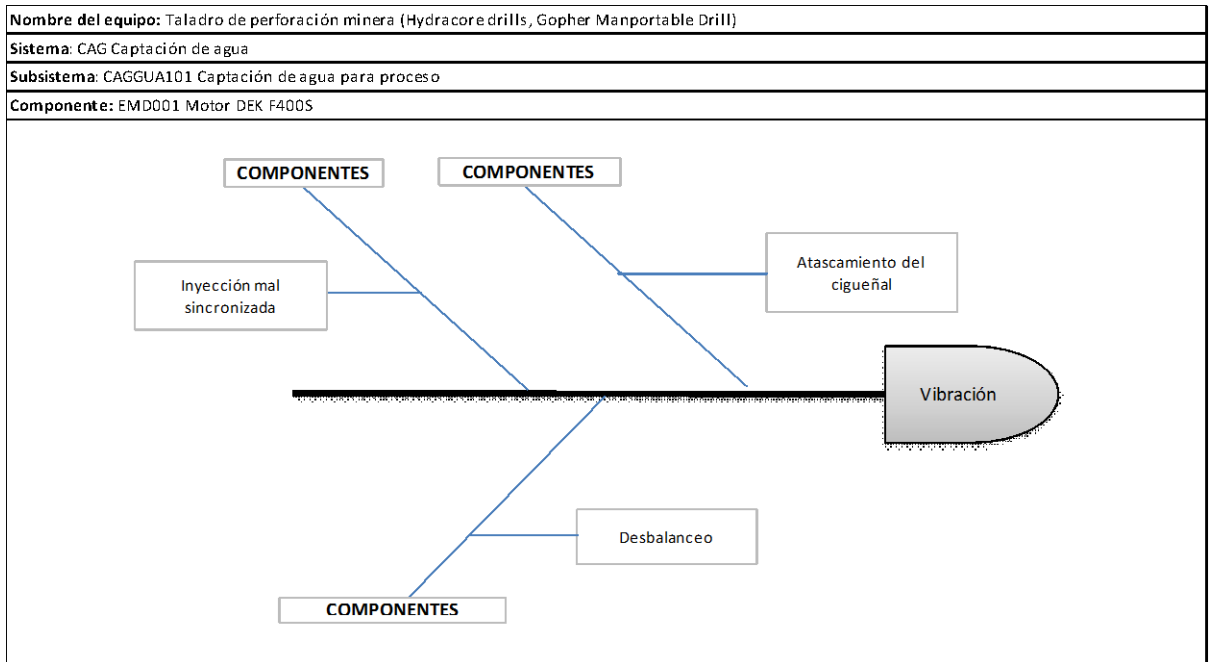
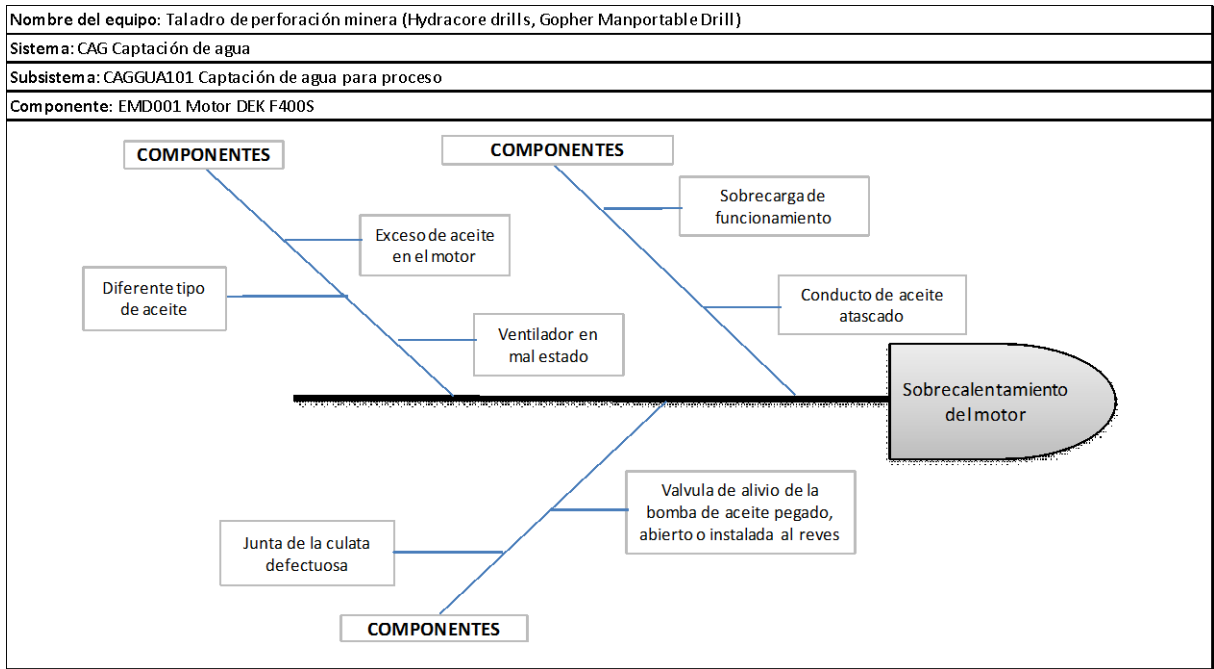




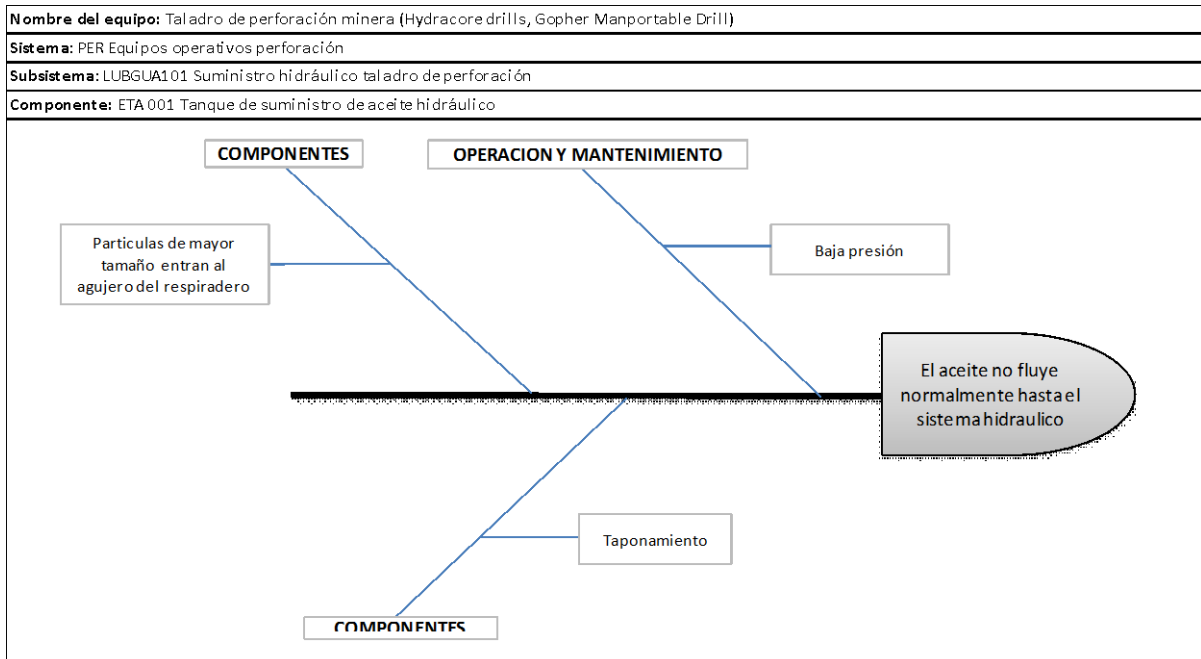
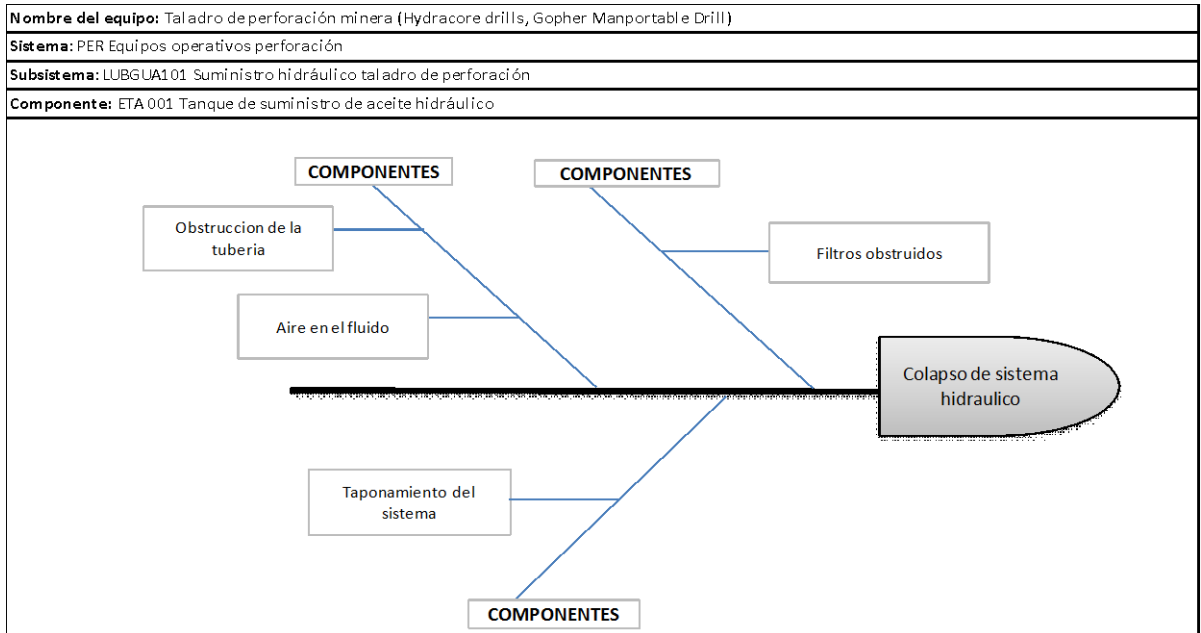


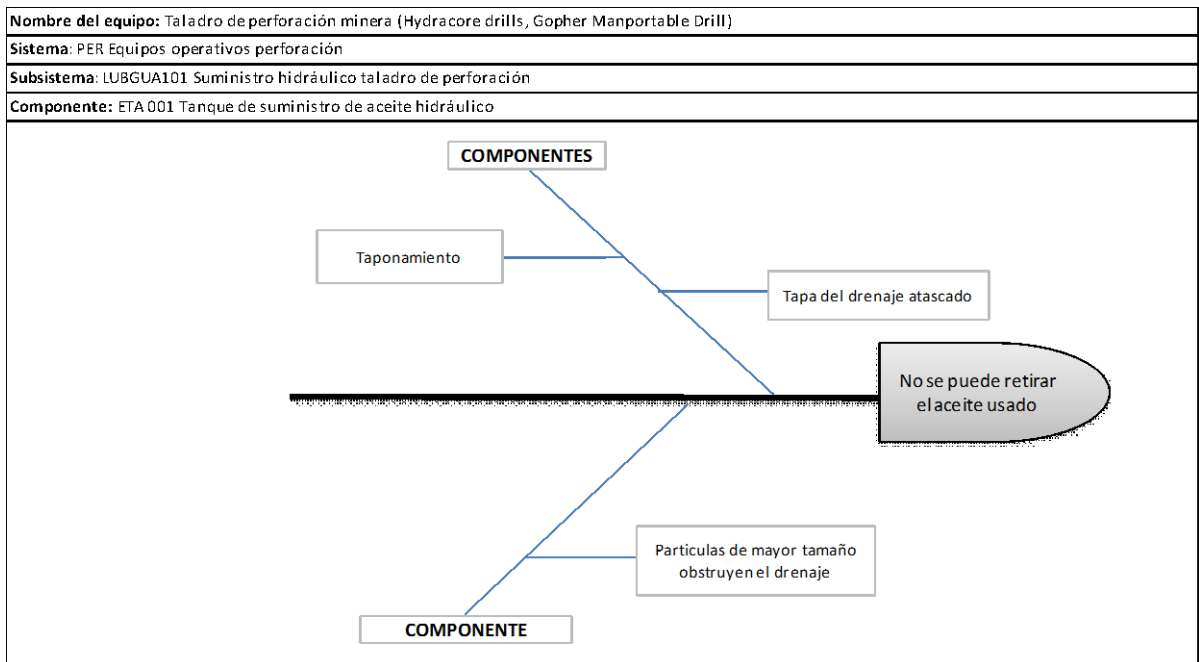
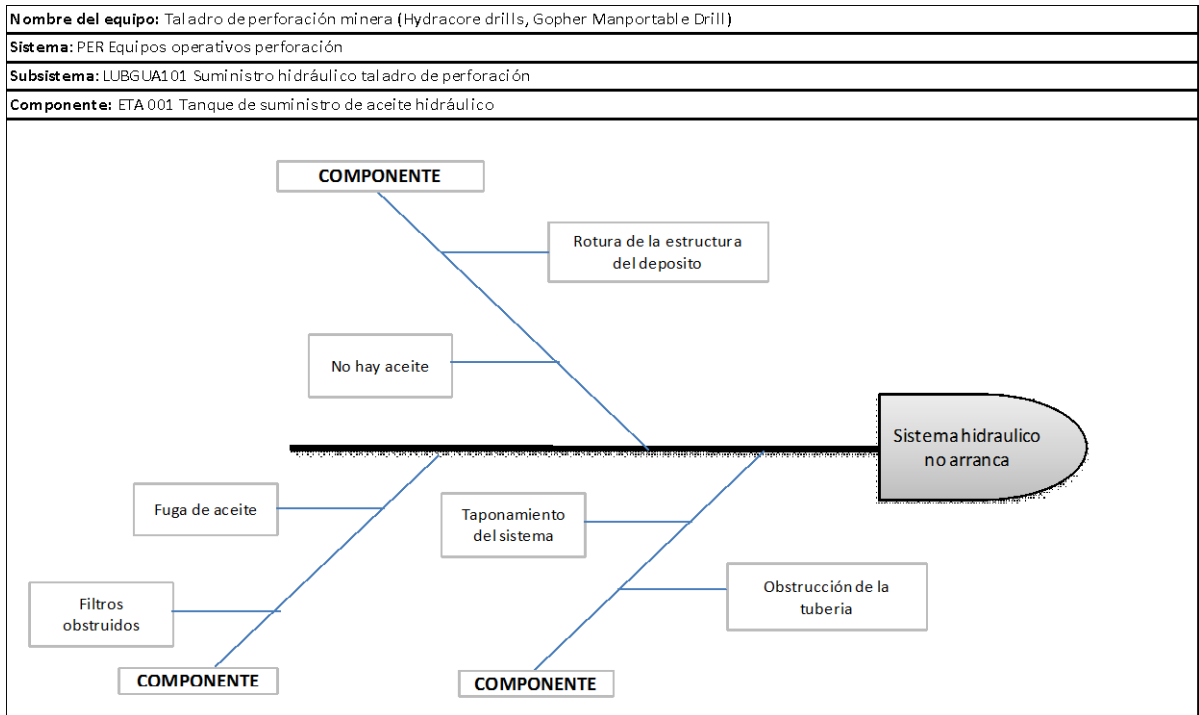


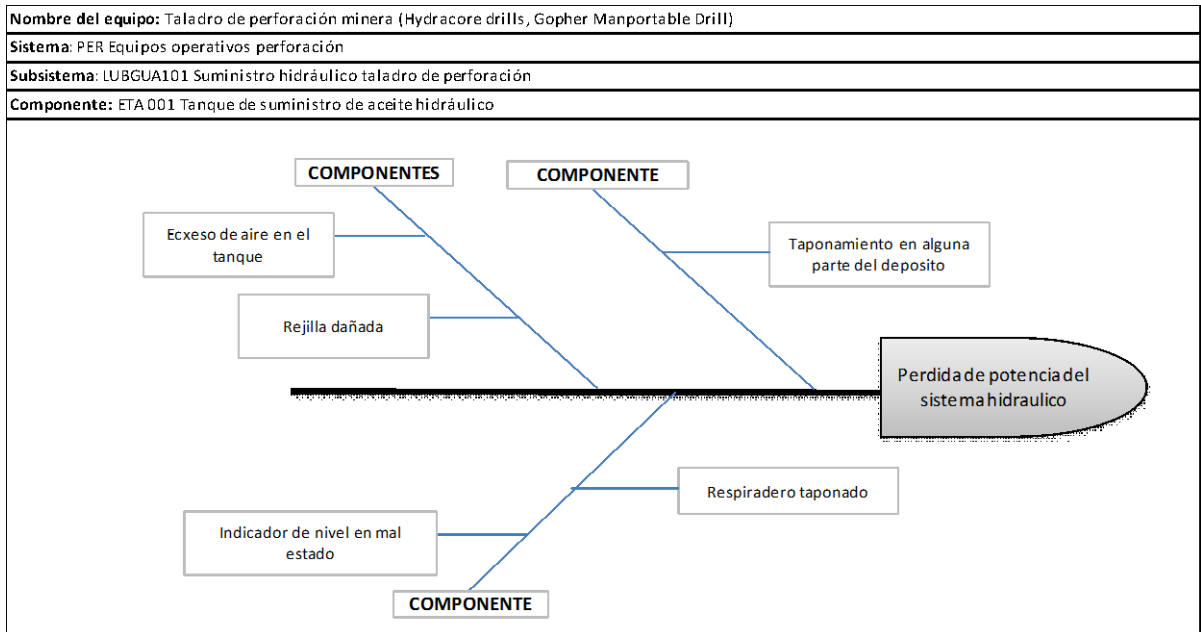




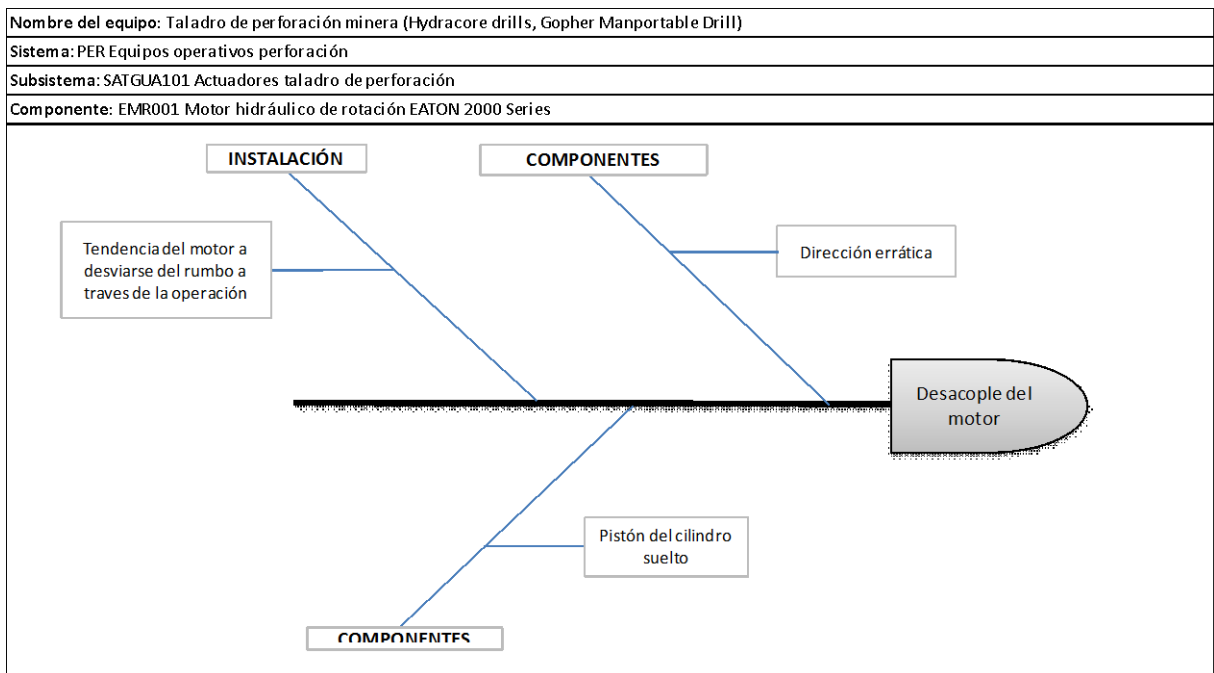
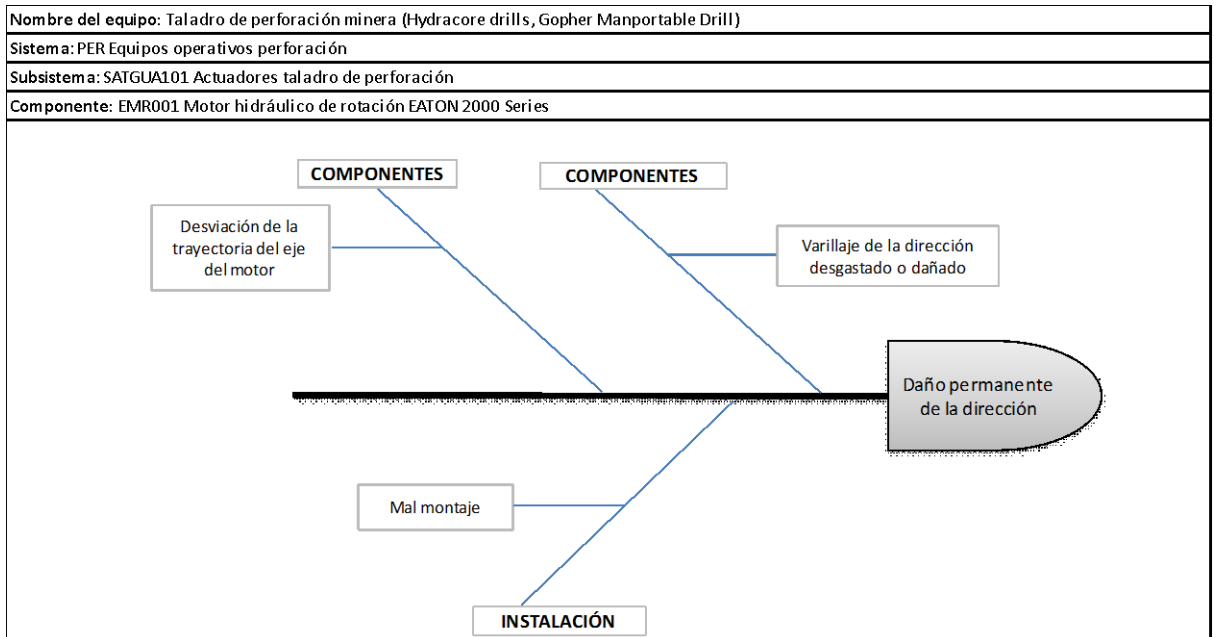
Anexo E. Espinas de pescado ETA 001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.

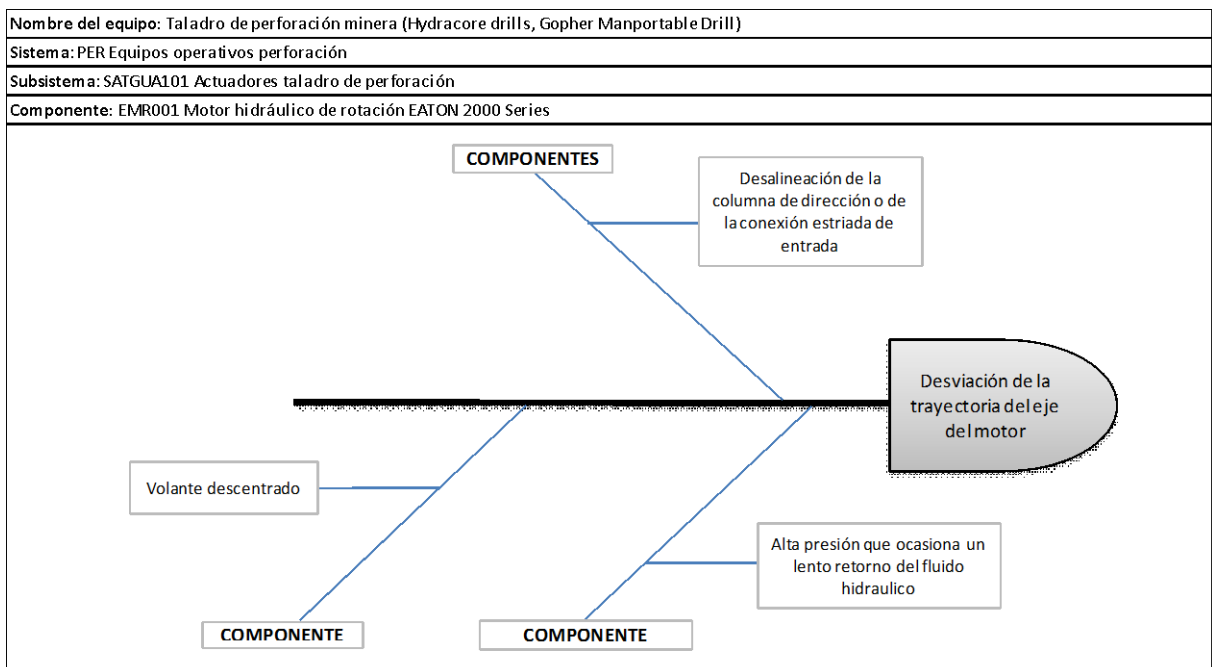
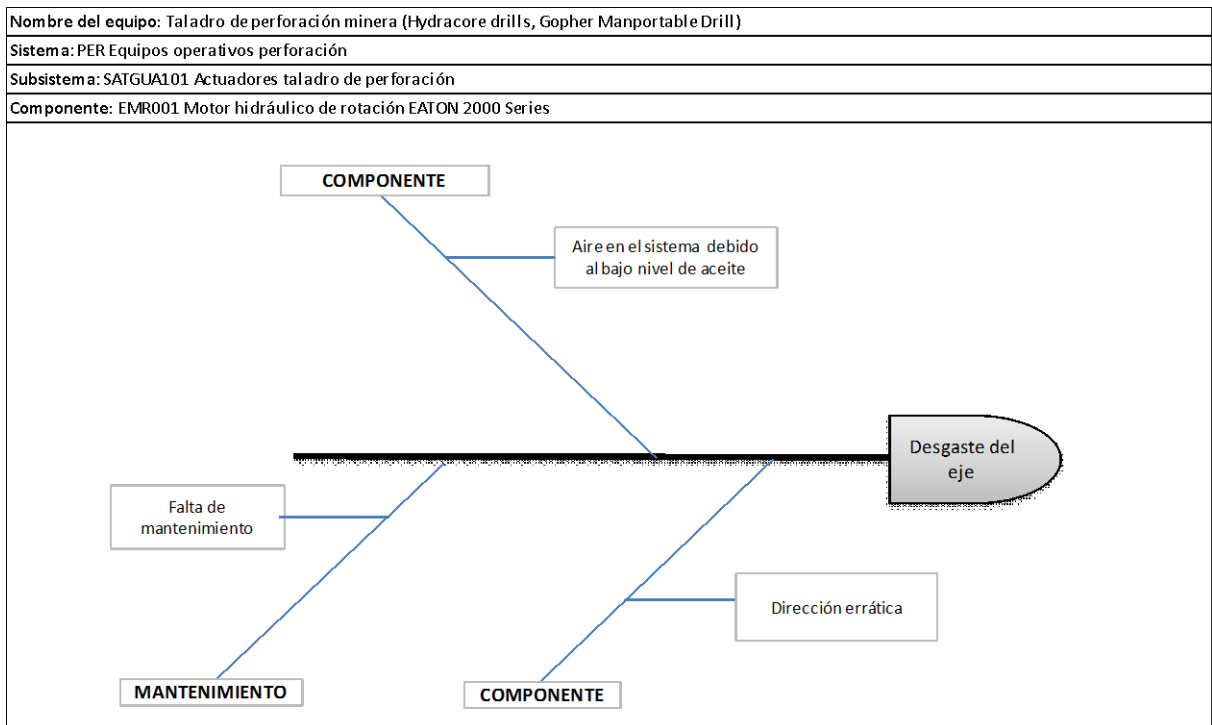


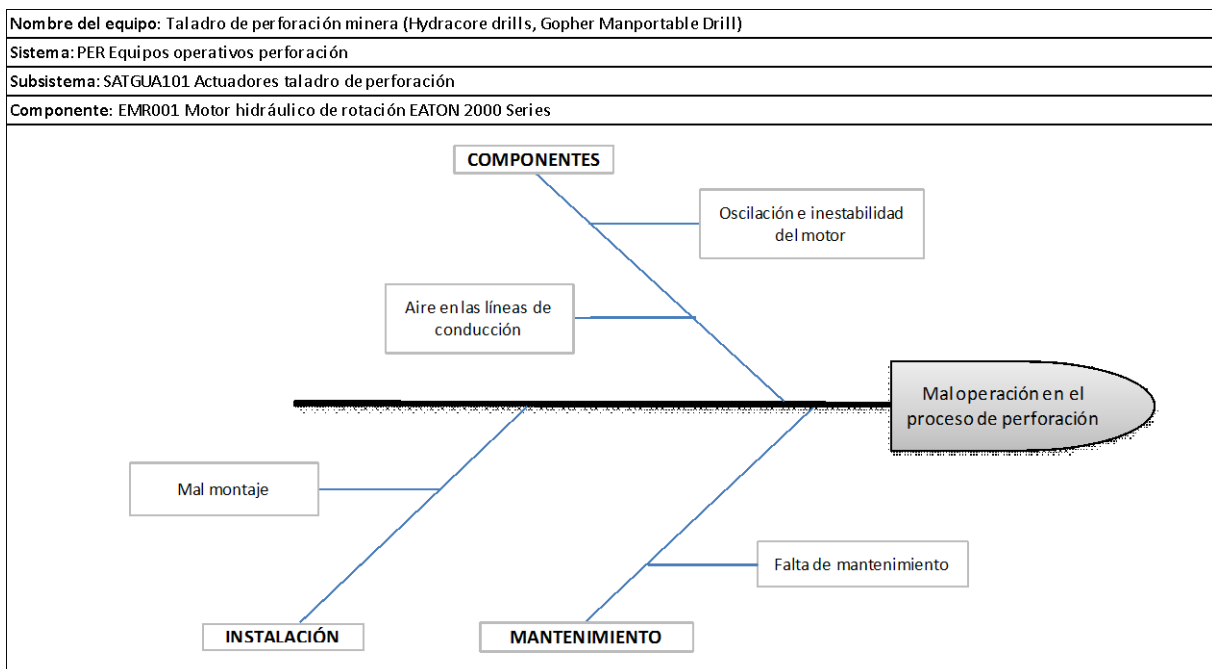
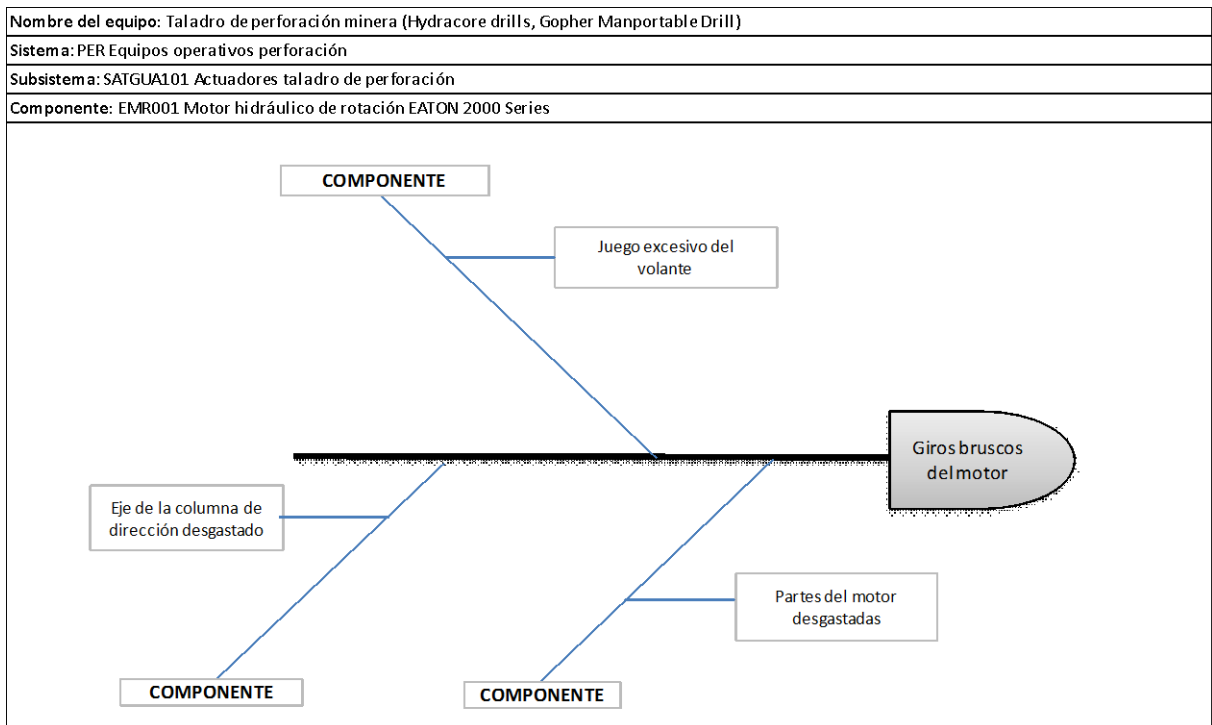


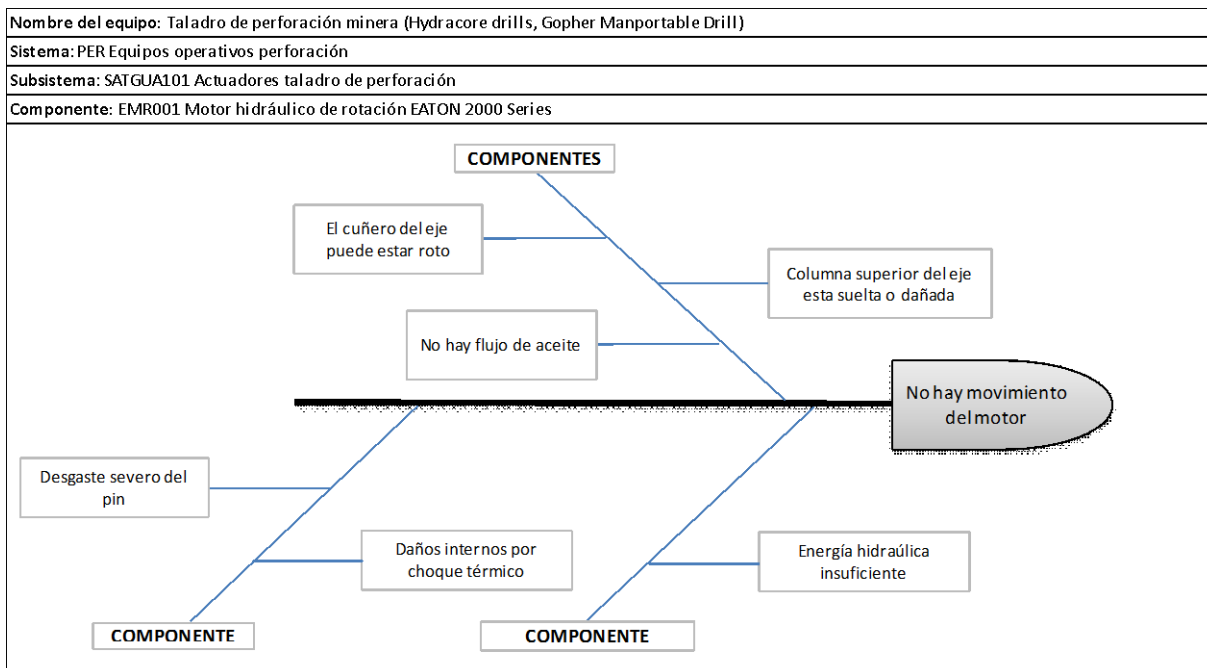
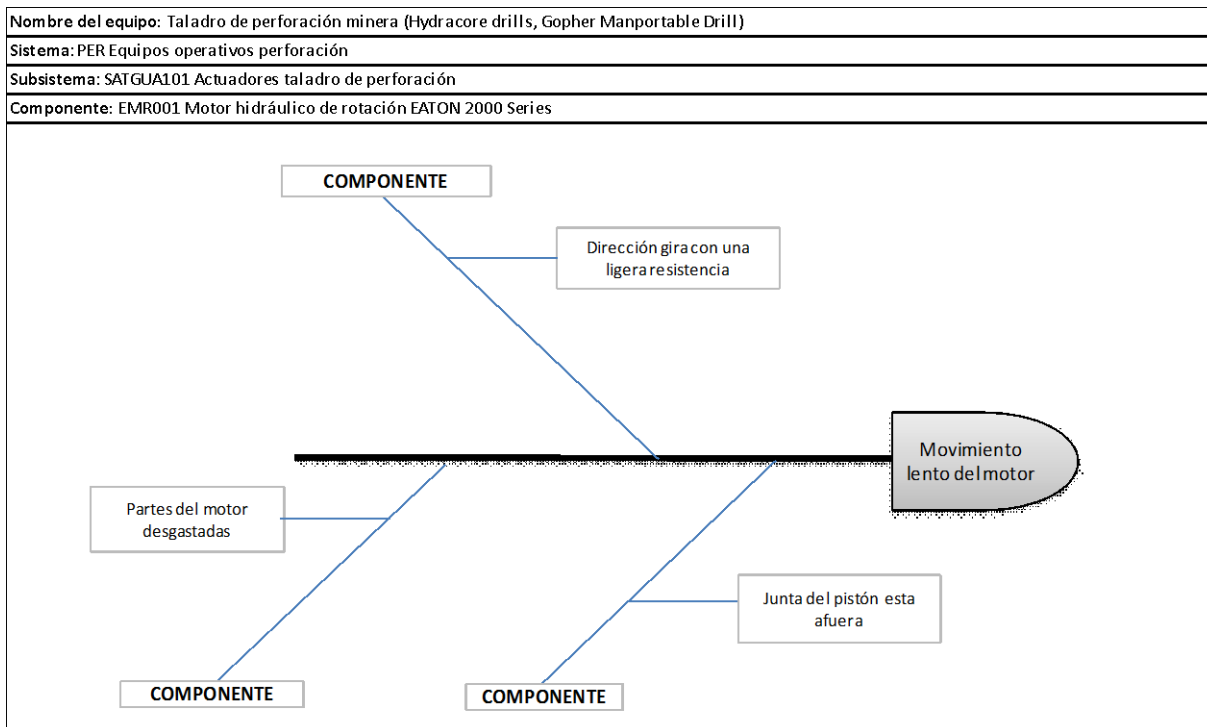


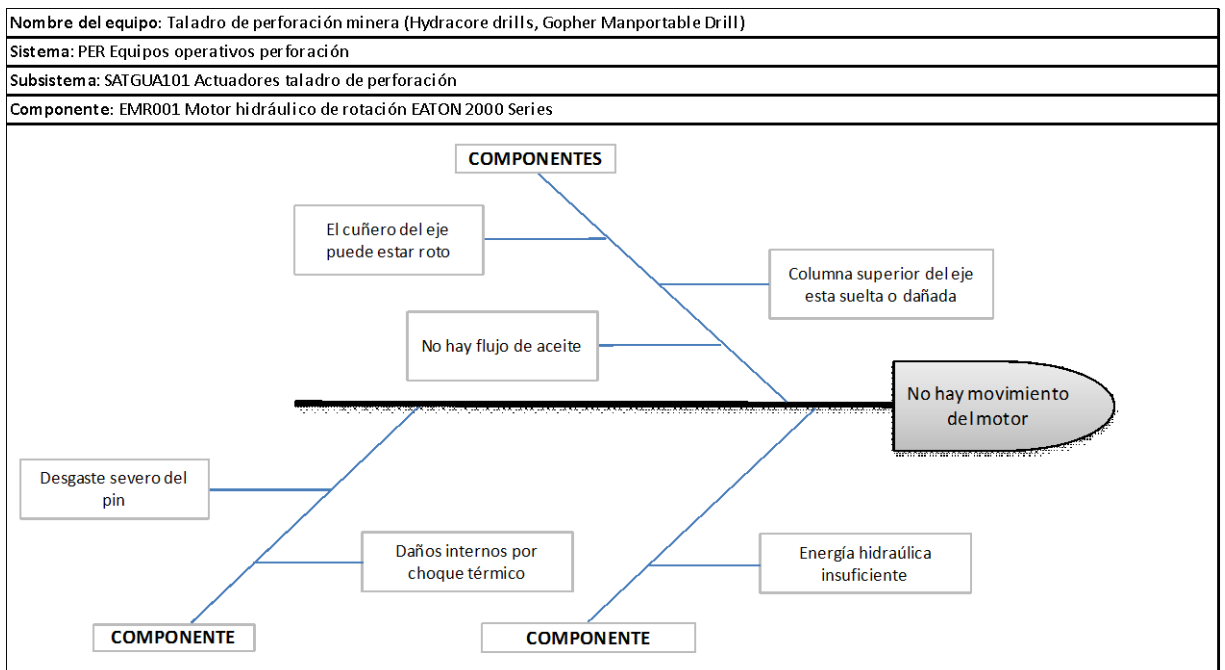
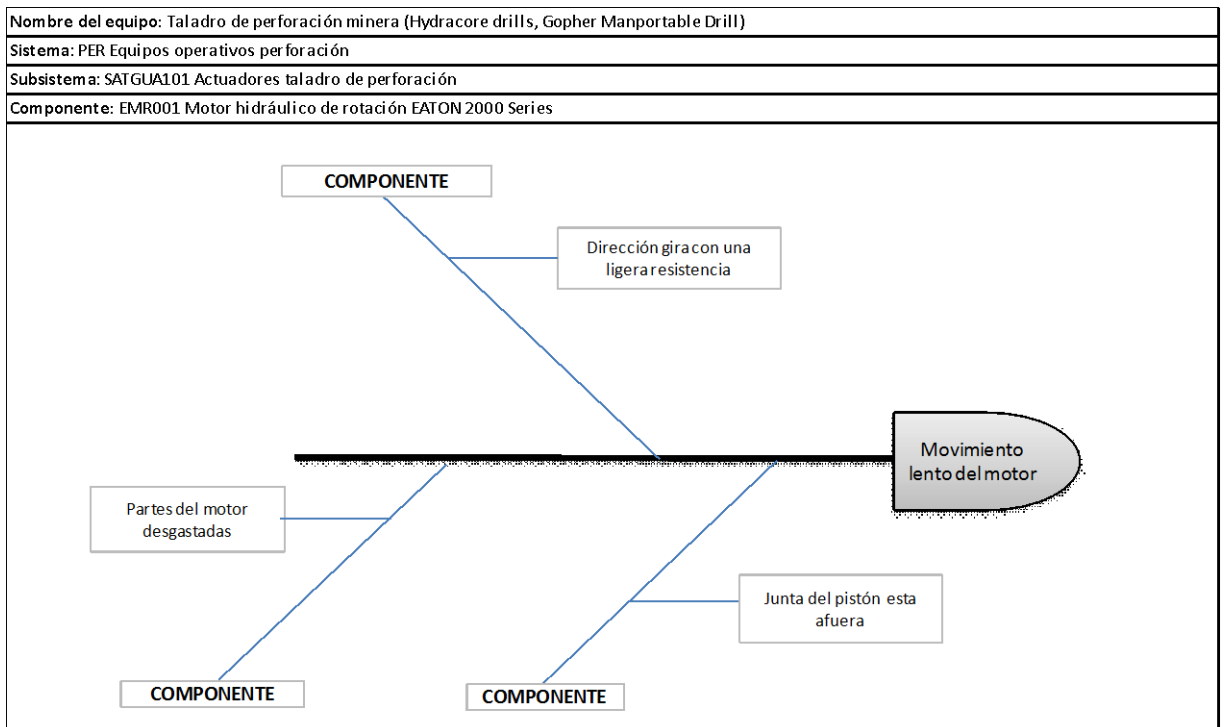
Anexo F. Espinas de pescado EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.

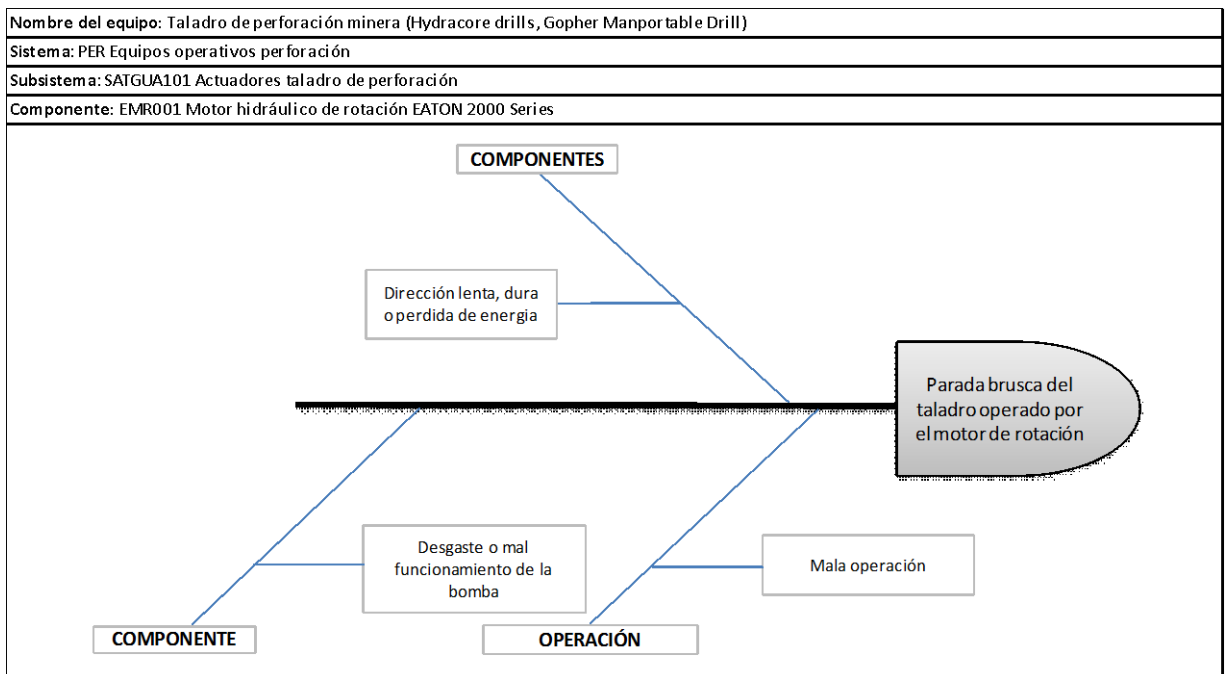
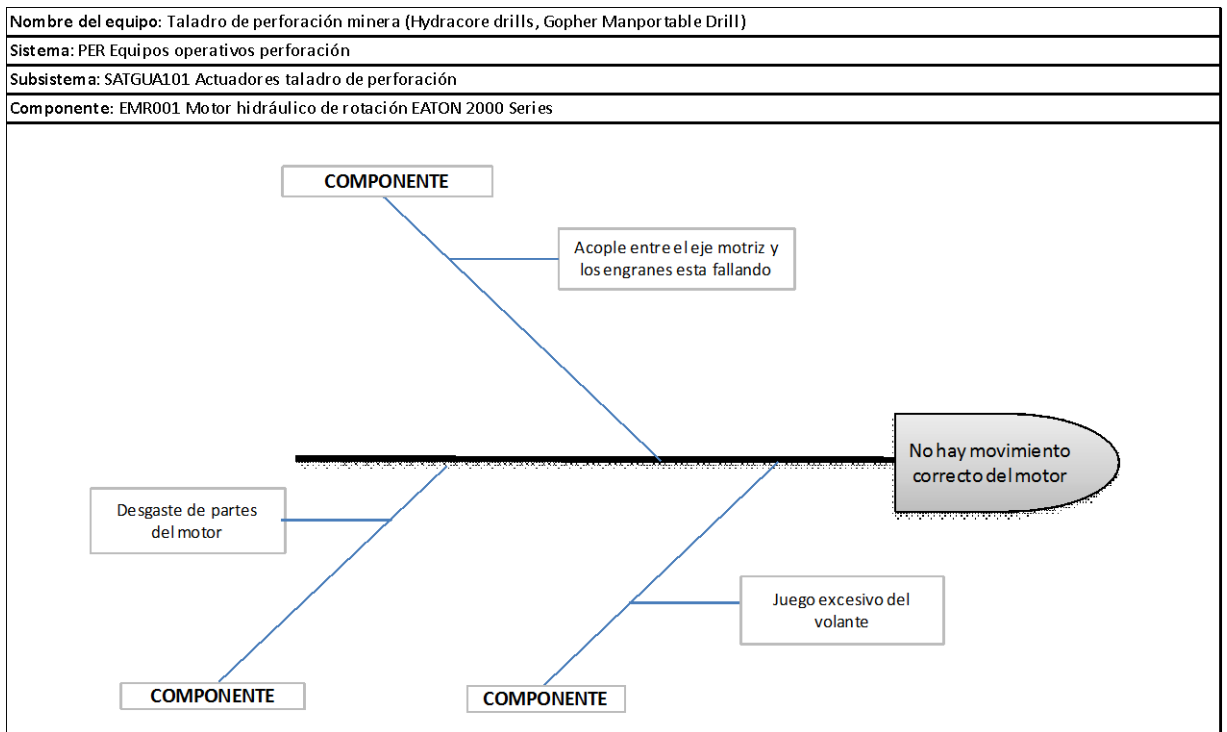


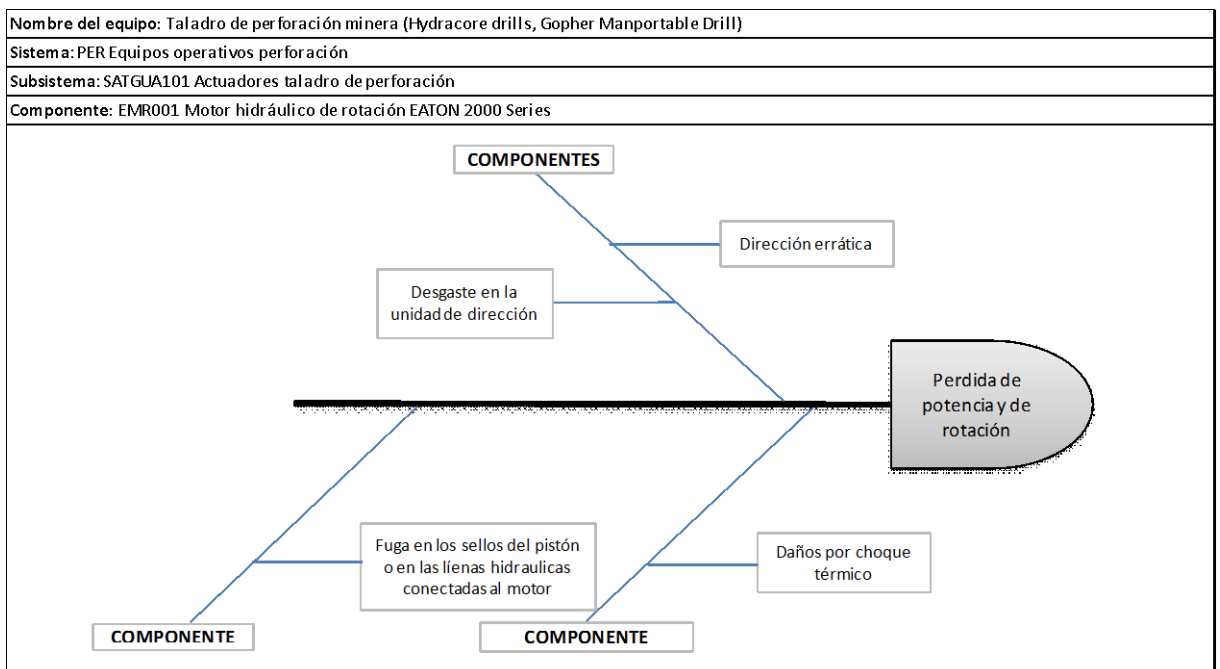
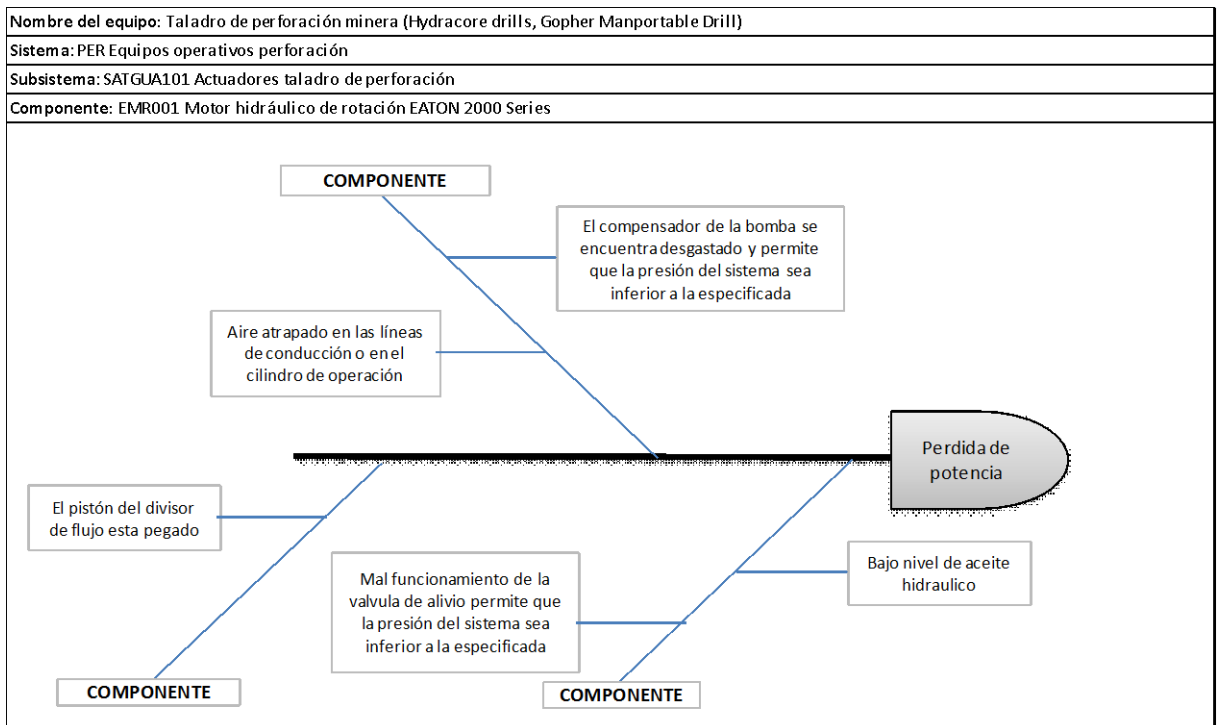


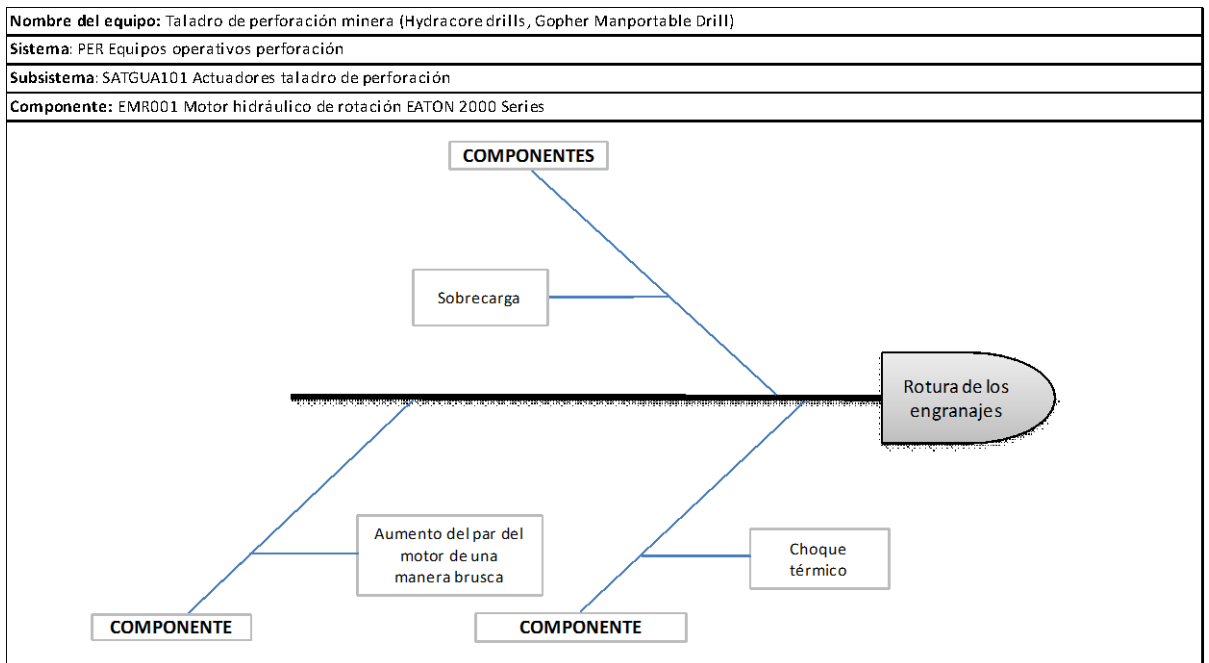
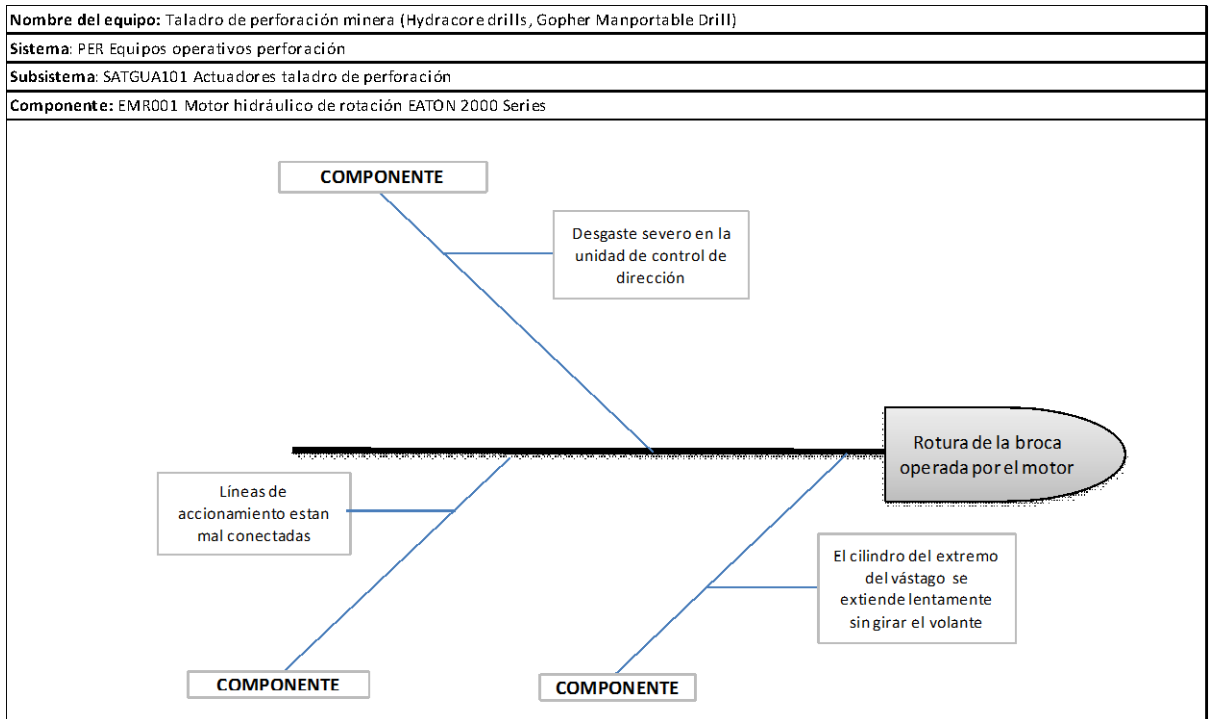


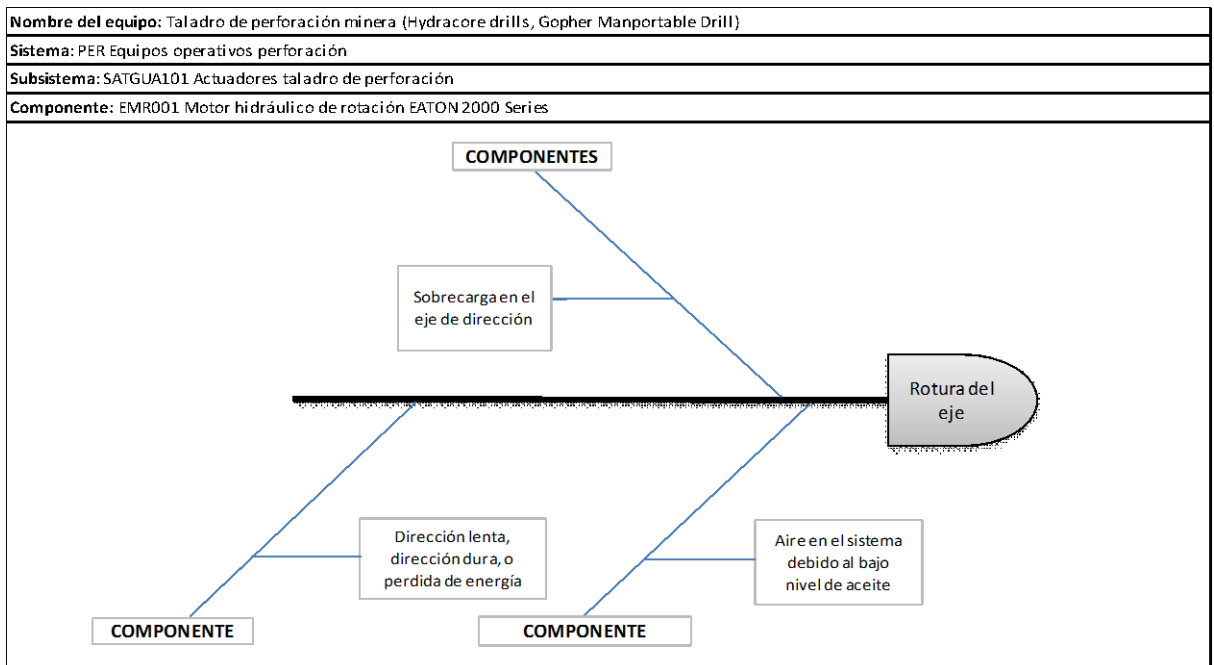
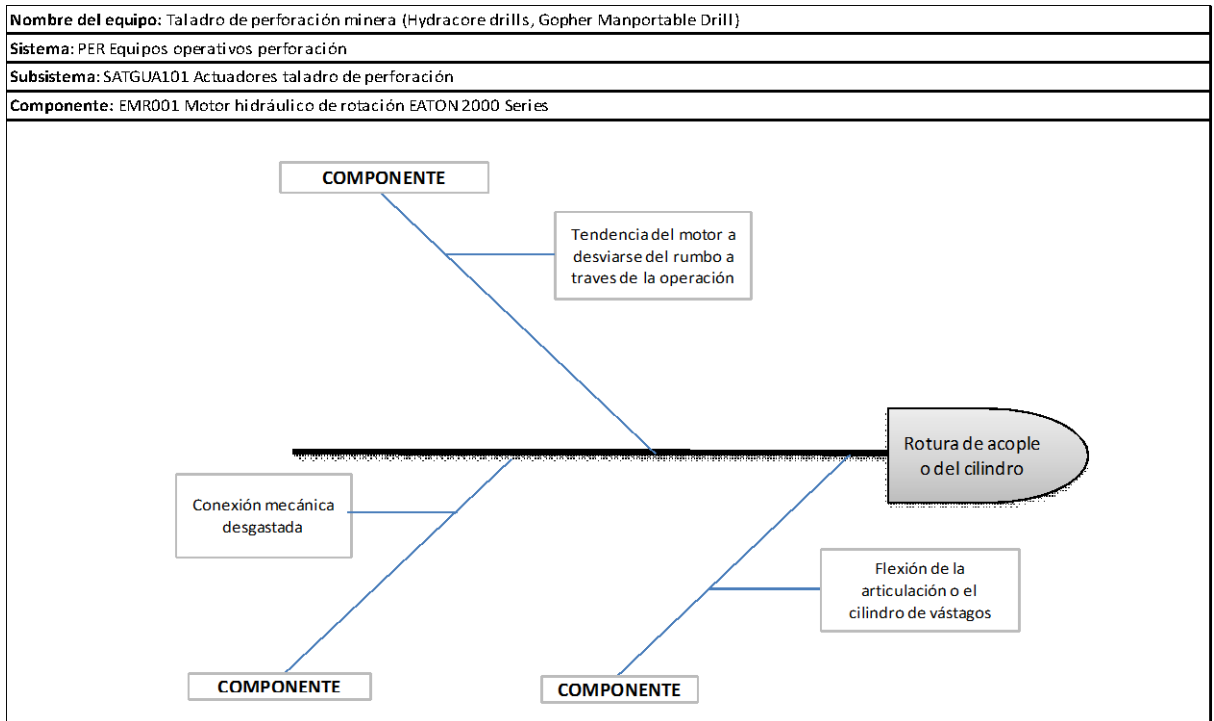




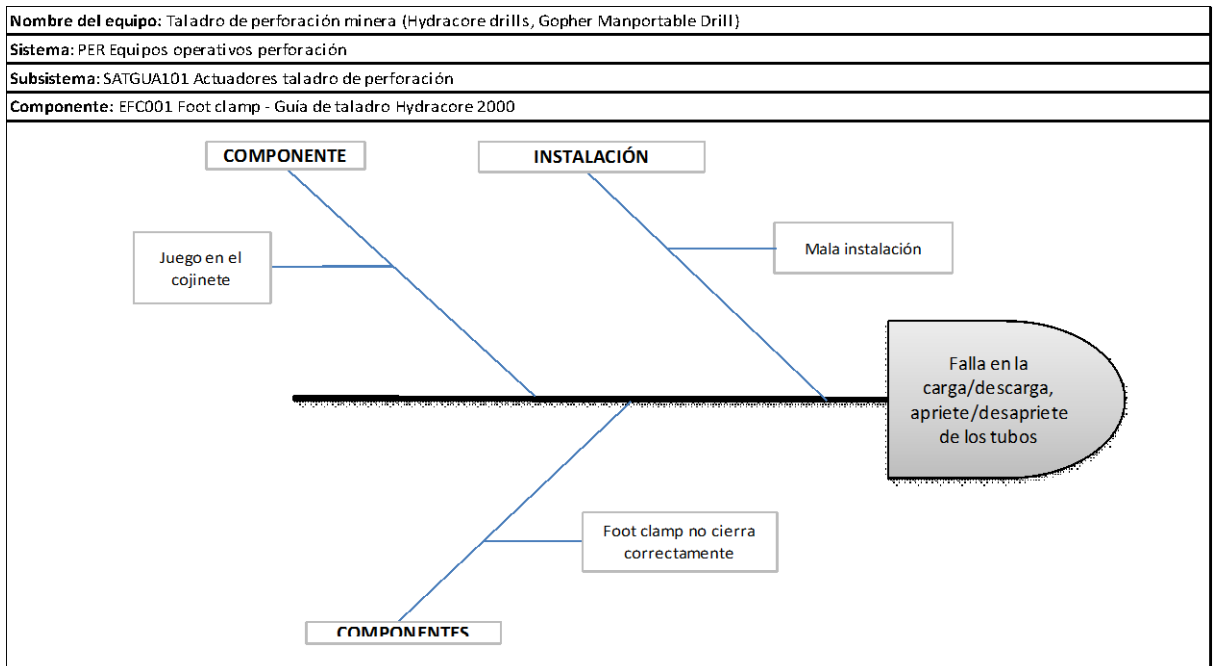
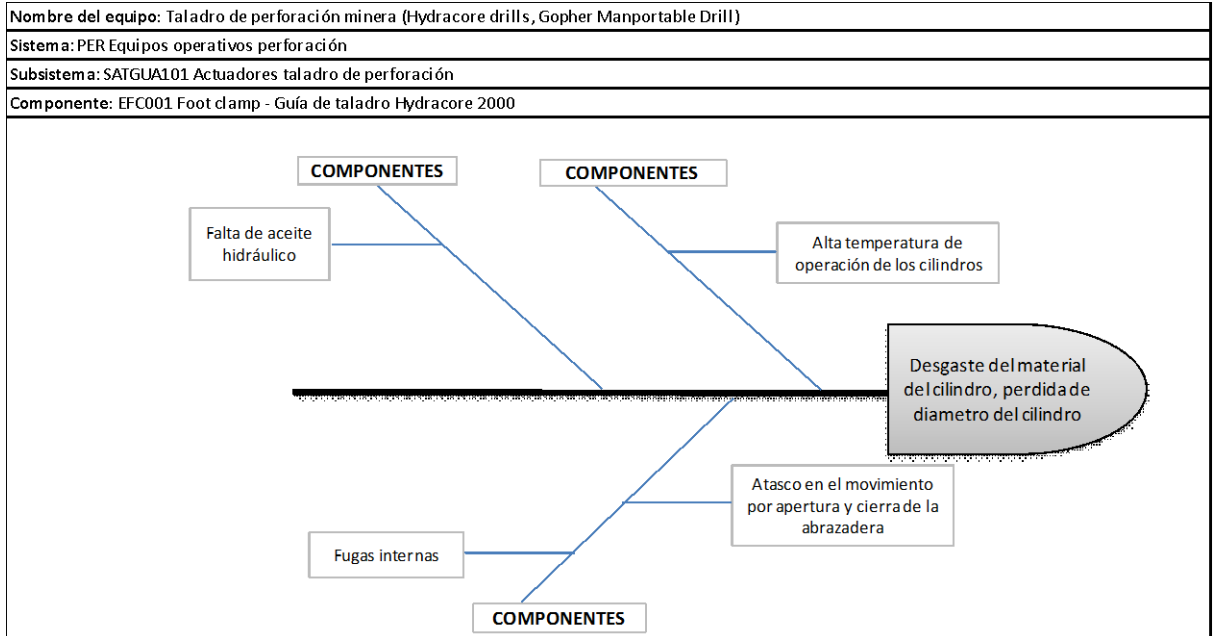


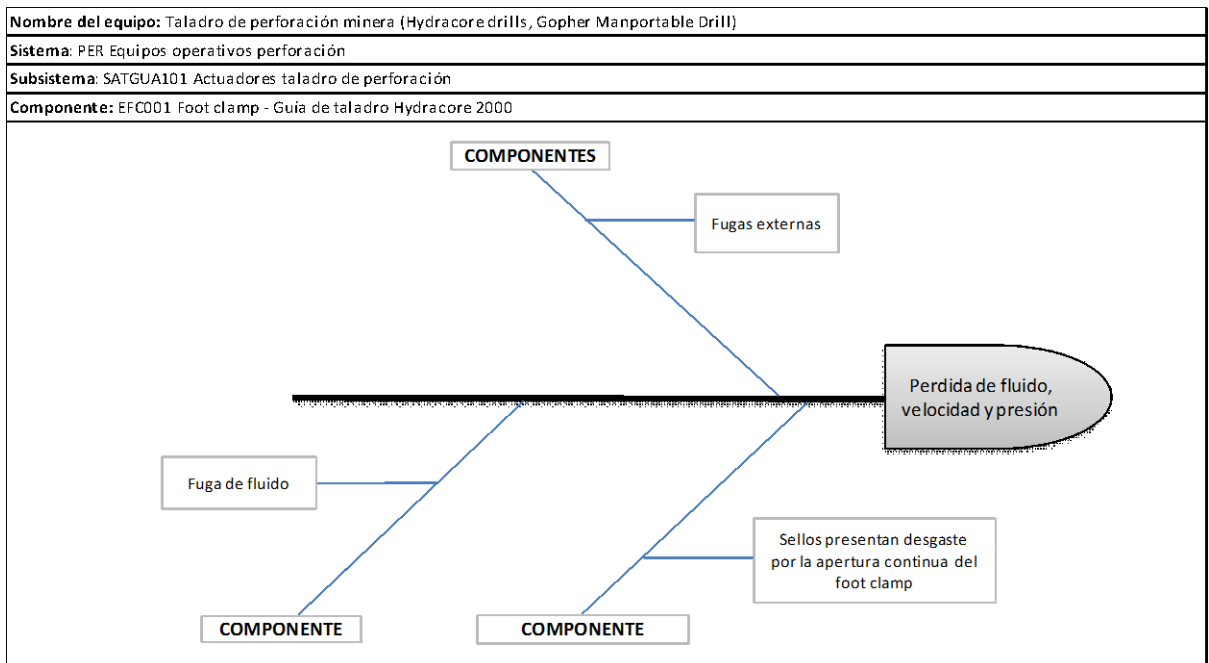
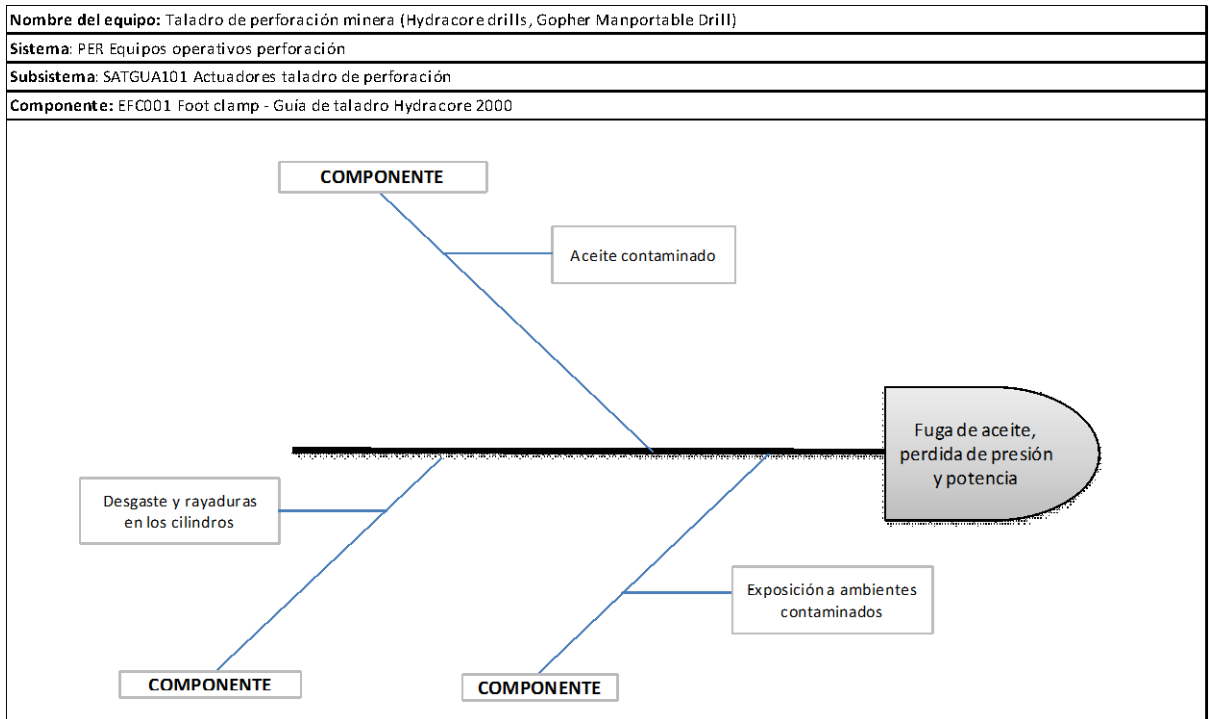


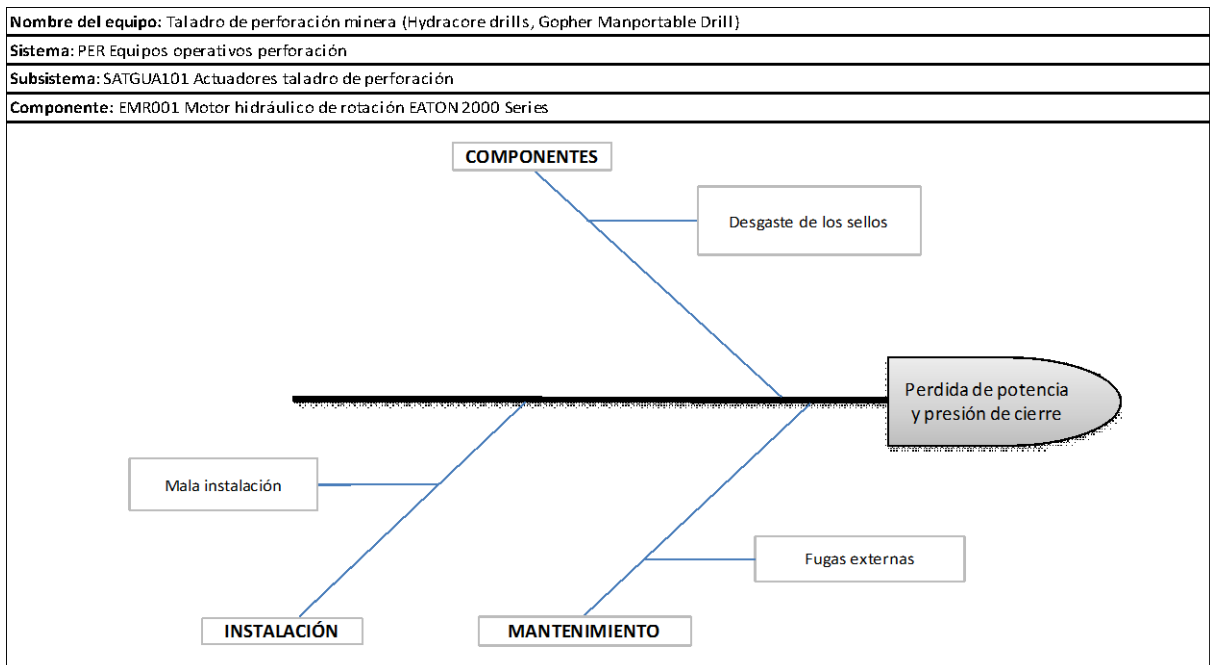
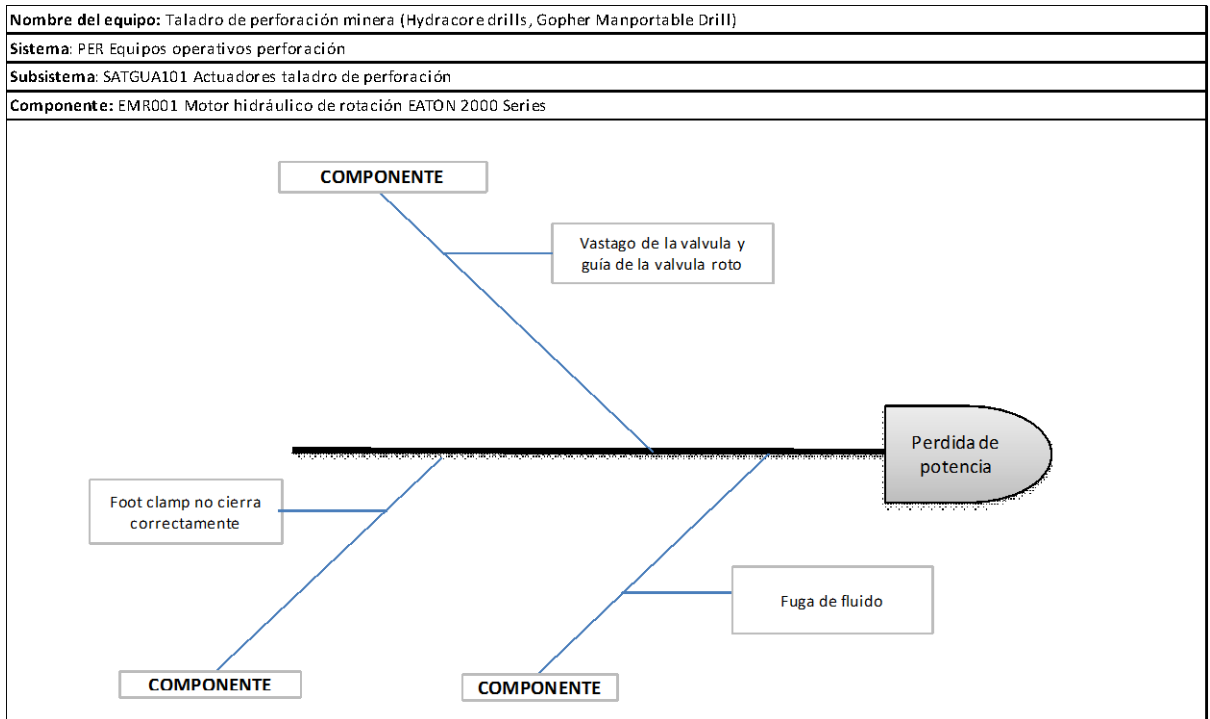


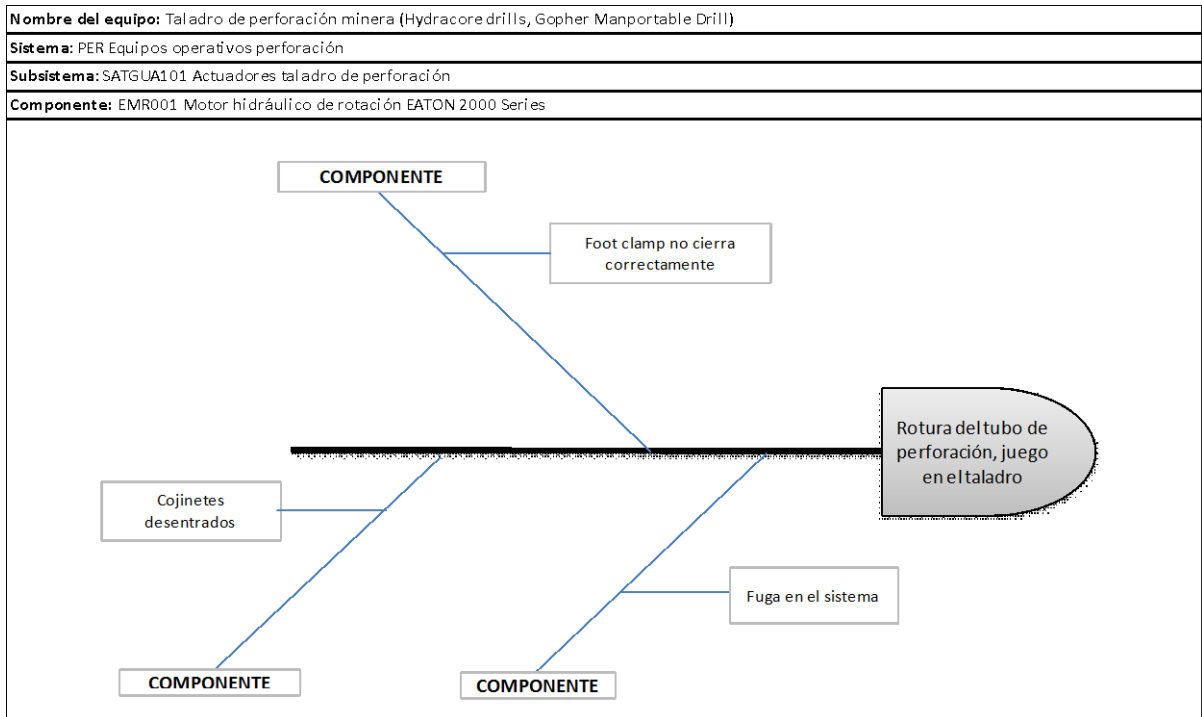


Anexo G. Espinas de pescado EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.

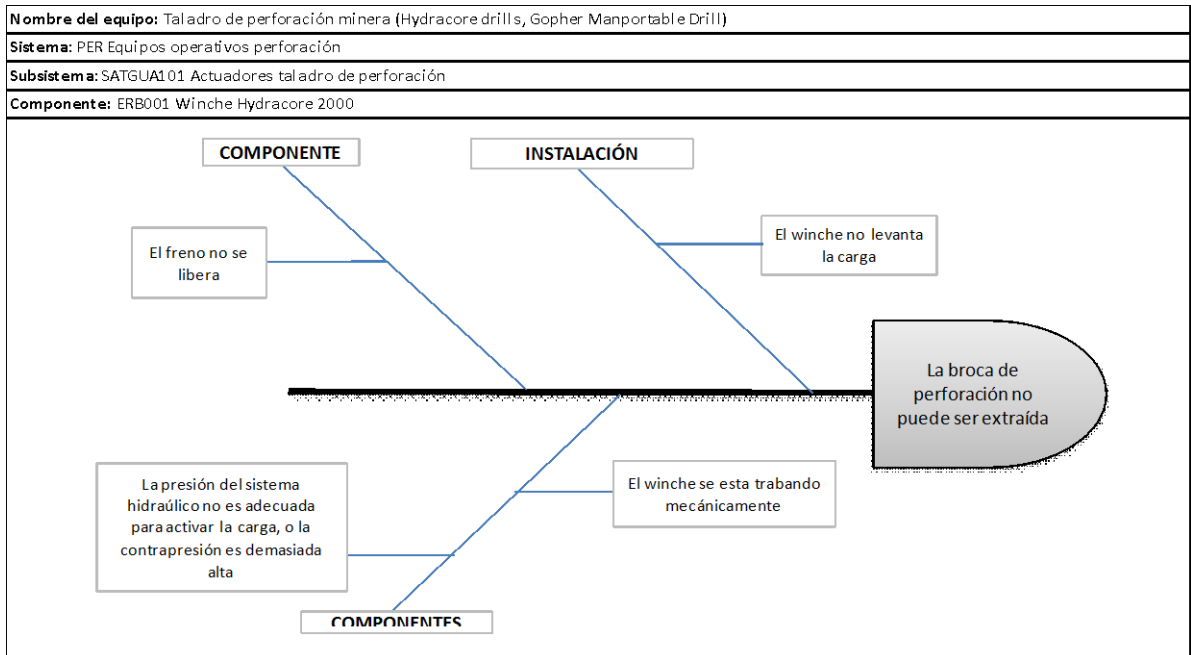
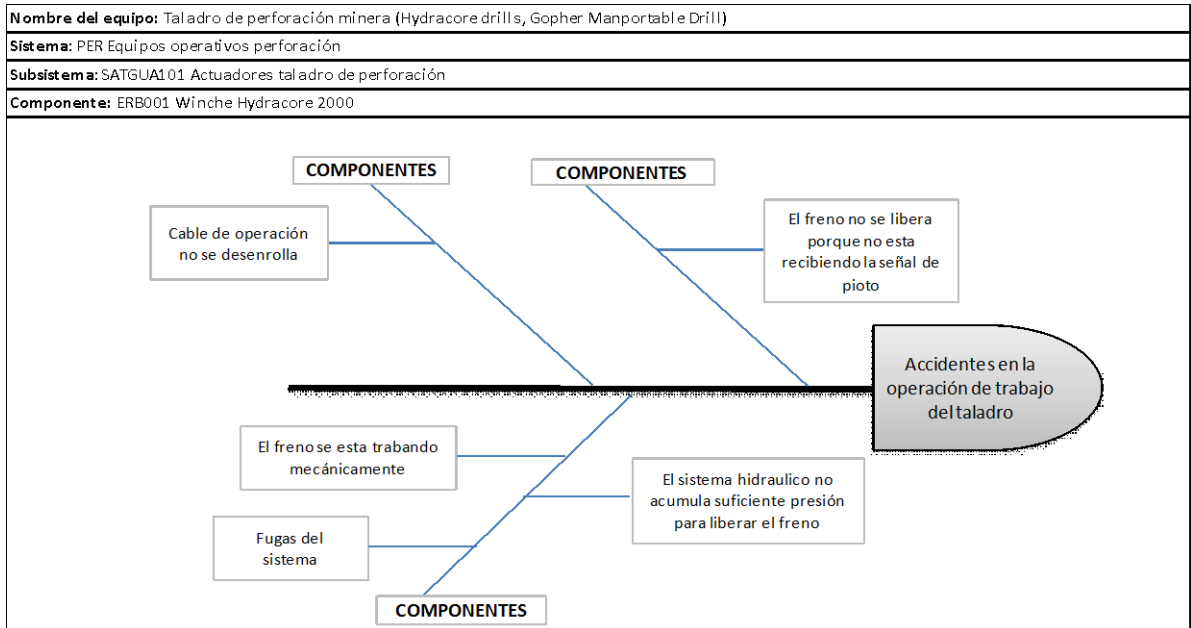


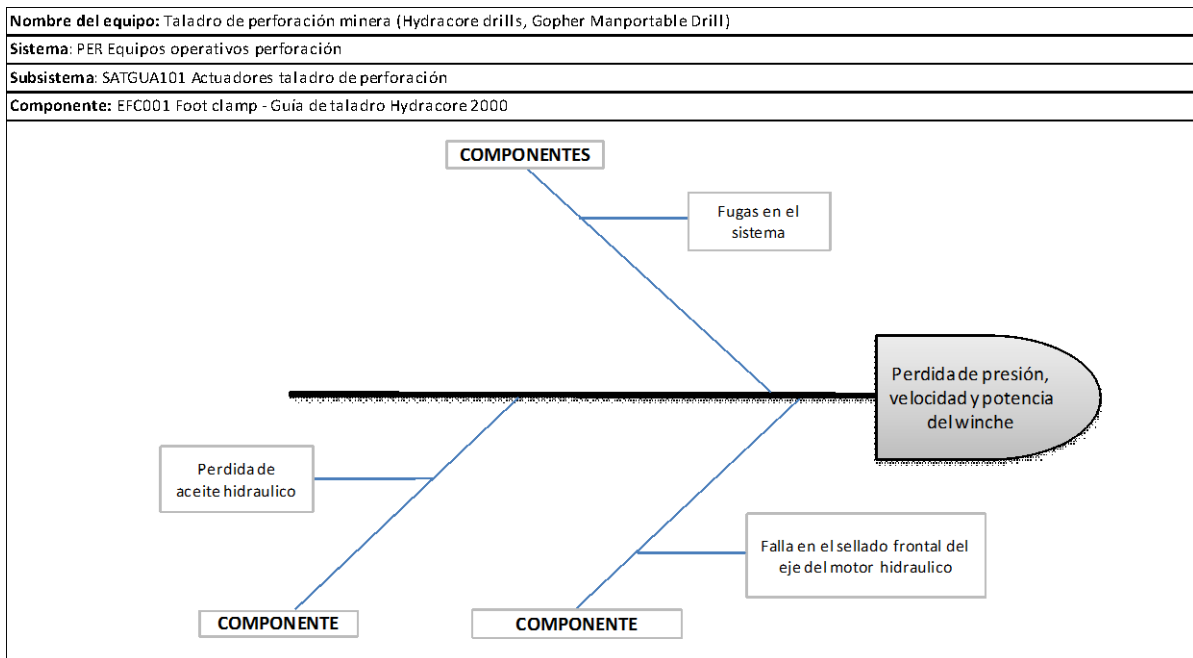
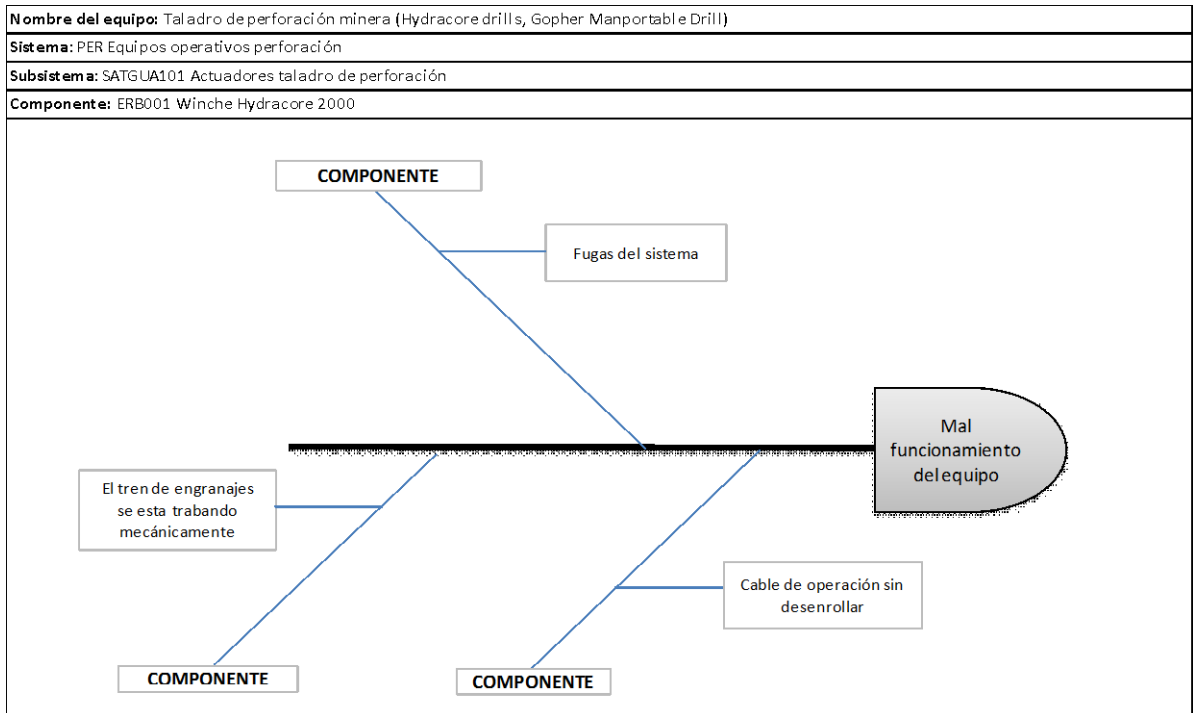




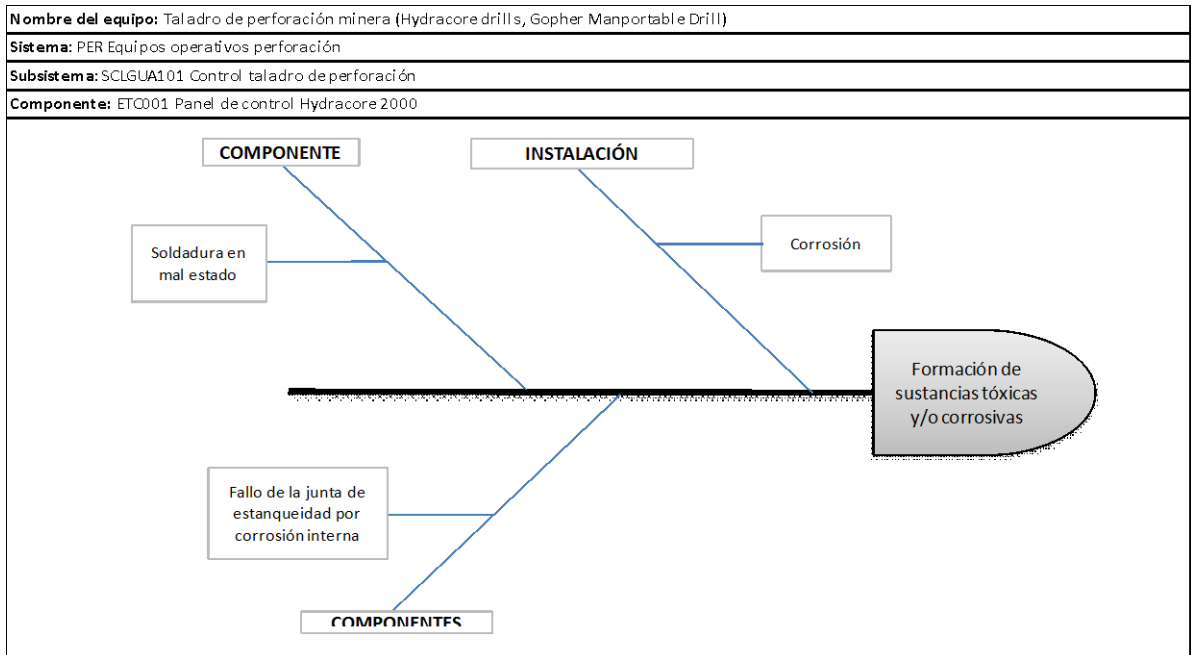
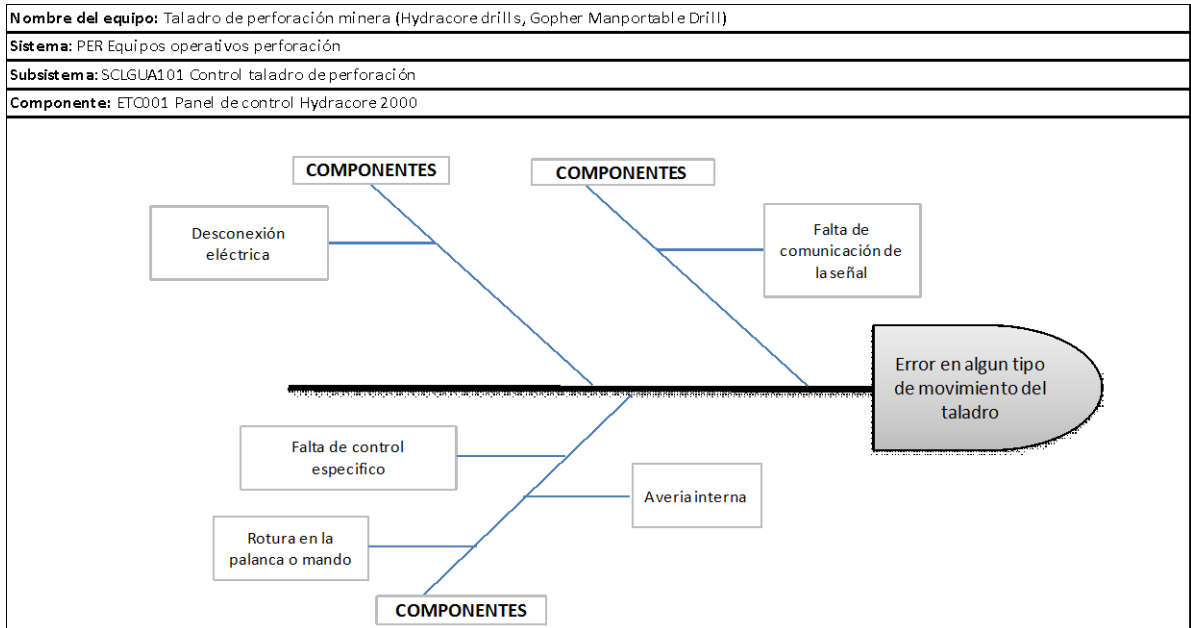


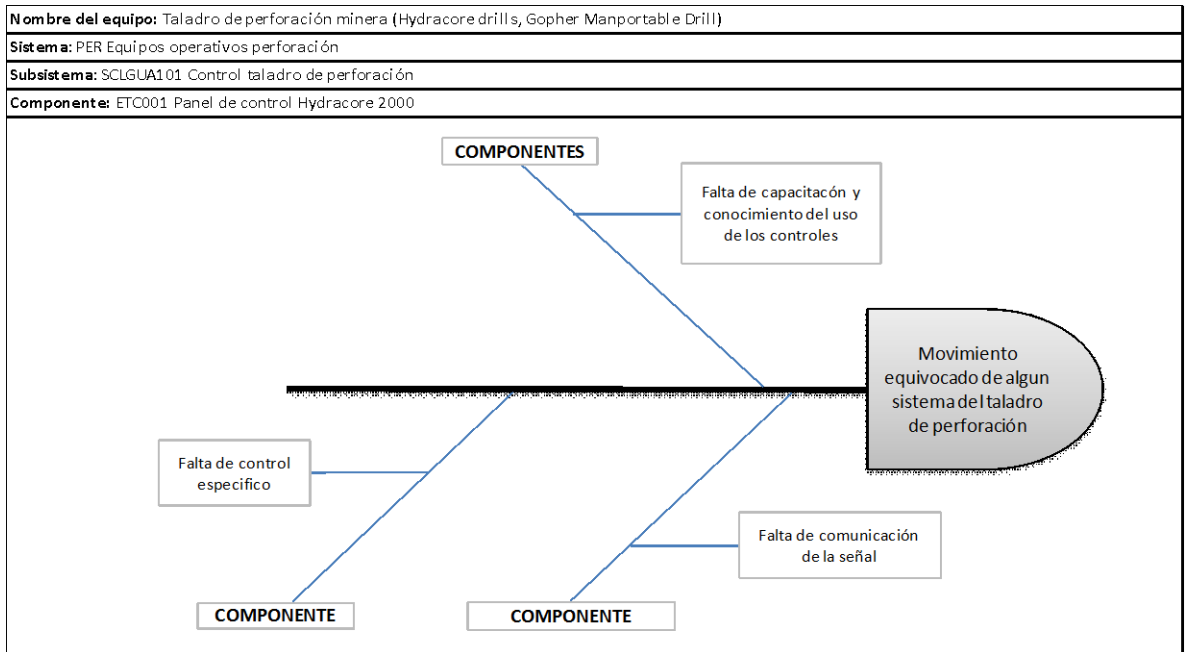
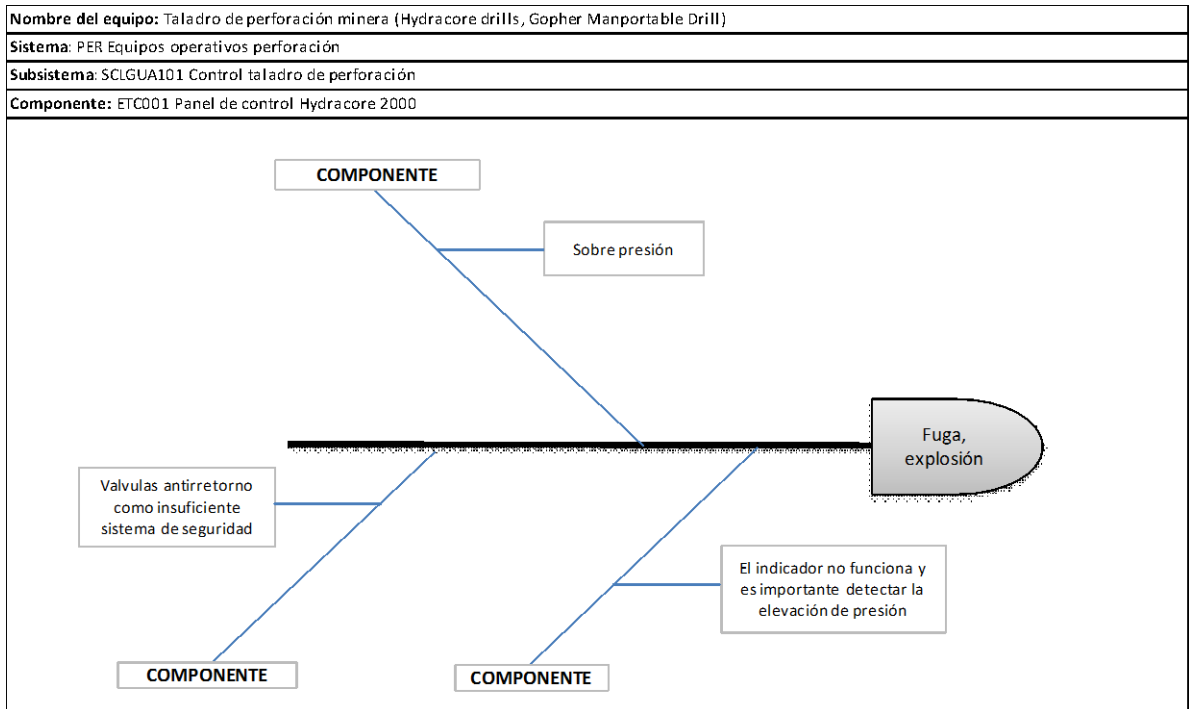
Anexo H. Espinas de pescado ERB001 Winche Hydracore 2000.

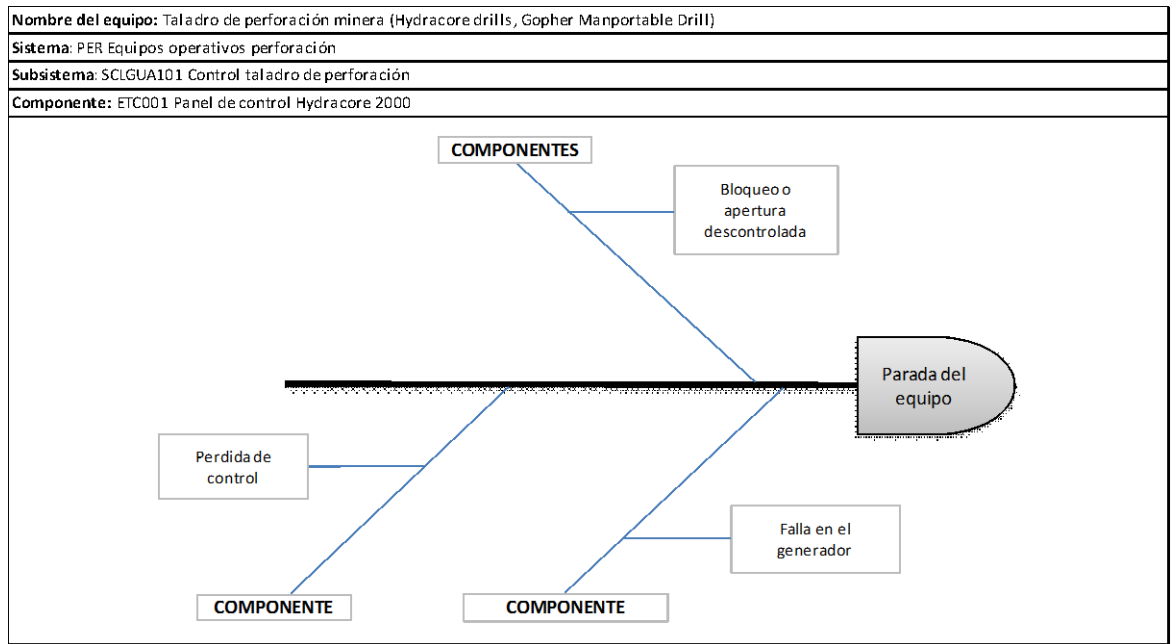
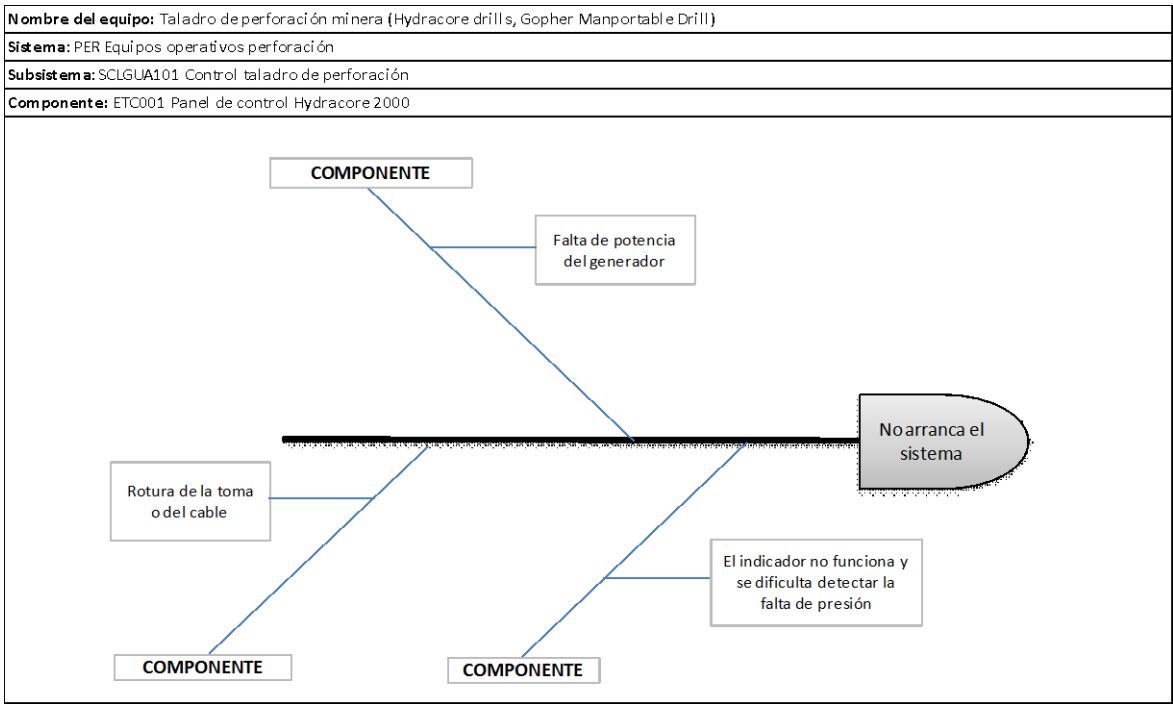


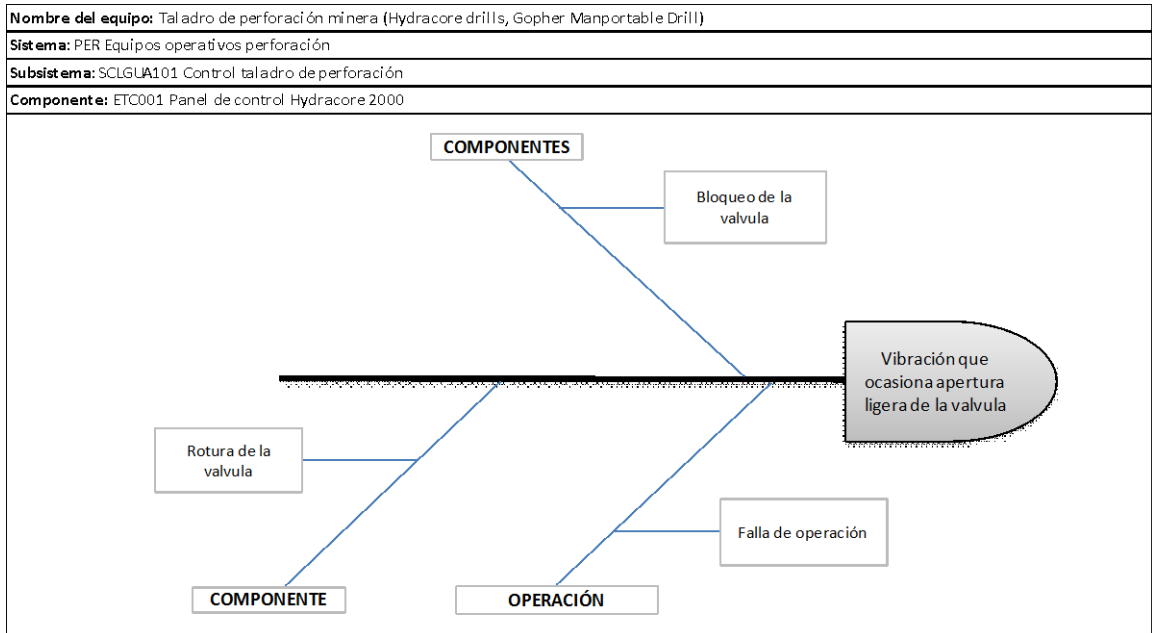
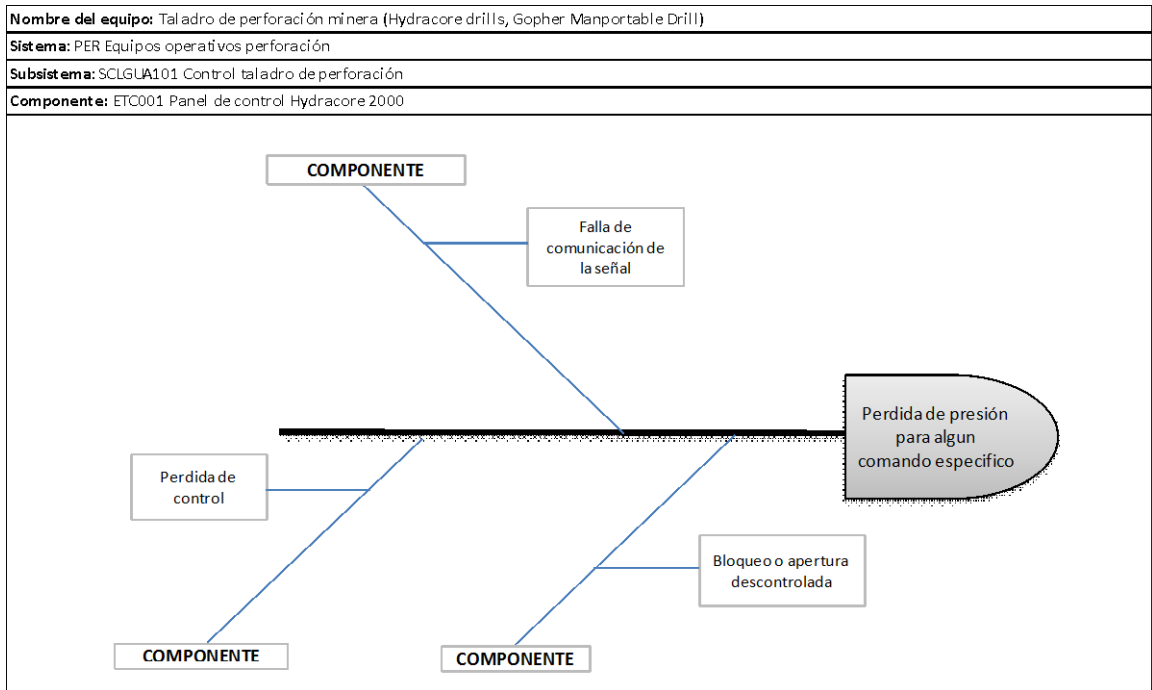


Anexo I. Espinas de pescado ETC001 Panel de control Hydracore 2000.









Anexo J AMEF EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K.

Empresa: CONTRATANTE										
Departamento: DOP Operaciones										
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía										
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						Pág. n° 1 de 1		N° AMEF: 2		
Sistema: GEN Equipo de generación eléctrica						Fecha: 07/05/2015				
Subsistema: MEGGUA 101 Generador eléctrico										
Componente: EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K										
Estándar de Función: Motor 4 tiempos, arranque eléctrico, motor a gasolina 15 hp, parada automática de aceite baja, alarma de bajo nivel de aceite, salida de 4-120 volt a/c, 1-120/240 volt bloqueo giratorio de ac, 8 galones del tanque de combustible, tiempo de trabajo del motor: 8 horas @ 50% carga, 10,000 vatios/7,000 vatios de funcionamiento, 37.12 oz (1.1litro) capacidad de aceite, nivel de ruido del motor: < 77db, 420cc desplazamiento, aprobado por la EPA, (batería no incluida)										
SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA	MODO DE FALLO	EFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	CONTROLES ACTUALES	G	O	D	NPR	Nivel
Depósito de combustible	Almacenar el combustible para el funcionamiento del generador	Fuga de combustible	El motor no arranca	Sin combustible	Agregue combustible	3	6	3	54	NC
		Baja potencia	Parada de motor	Sin combustible	Llenar el deposito	4	4	4	64	NC
		Golpeteo del motor	Parada de motor	Motor está lleno de gasolina contaminada y/o vieja gasolina	Drene la gasolina del motor y agregue gasolina nueva	4	6	5	120	NC
		Fuga de combustible	Parada de motor	Mal mantenimiento	Ajustar correctamente la línea de combustible	4	6	3	72	NC
Bujía	Suministrar la chispa de encendido necesaria para la combustión de la mezcla	No hay chispa	Falla en el arranque	Bujía defectuosa o con desgaste	Cambie la bujía	6	2	5	60	NC
		Golpeteo del motor	Alta vibración	Bujía está muy sucia	Limpie la bujía	5	2	5	50	NC
		Oscilaciones	Parada de motor	Excesivo entrehierro	Limpiar o cambiar la bujía	5	2	5	50	NC
Cable de bujía	Transmitir la energía necesaria desde el distribuidor hasta la bujía de	Circuito abierto	Falla en el arranque	Cable corroído/sulfatado	Cambiar cable de la bujía	6	2	5	60	NC

	ignición	Circuito abierto	Golpeteo en el motor	Cable de la bujía suelto	Conectar el cable a la bujía	5	6	4	120	NC
Nivel de aceite	Controla la cantidad necesaria de aceite	Fugas de aceite	Sobrecalentamiento del motor	Aceite del motor es insuficiente	Agregar o reemplazar aceite	5	8	4	160	SC
		Fugas de aceite	Ruido en el motor	Nivel de aceite bajo	Llenar el depósito de aceite hasta el nivel correcto	5	8	4	160	SC
		Des calibración	Sobrecalentamiento del motor	Generador no está sobre una superficie nivelada	Mover el generador a una superficie nivelada para prevenir la activación de bajo aceite	2	6	6	72	NC
Anillos de lubricación	Lubrican el cilindro del motor	Mala combustión	Alto consumo de aceite	Desgaste en los anillos de lubricación	Reemplazar	5	1	8	40	NC
Interruptor del motor	Desconectar la bobina de arranque una vez que el motor se aproxime a su velocidad de funcionamiento normal	El motor no arranca	Pérdida de potencia	Interruptor del motor está en "off"	Poner el interruptor del motor en la posición "on"	2	6	2	24	NC
		El generador funciona pero no hay salida eléctrica	Pérdida de potencia	Interruptor de circuito está apagado	Poner el interruptor en la posición "on"	2	6	2	24	NC
Cables de alimentación	Conectar los dispositivos eléctricos a la red de suministro del generador	El generador funciona pero no admite todos los aparatos eléctricos conectados	Sobrecalentamiento en los cables de alimentación del tablero	El generador está sobrecargado	Reducir el número de dispositivos eléctricos para aumentar la potencia del generador	4	8	4	128	SC

		El generador funciona pero no admite todos los aparatos eléctricos conectados	Sobrecalentamiento en los cables de alimentación del tablero	Ventilación insuficiente	Revisar si hay restricción de aire	3	8	4	96	NC
Panel de energía	Panel de control en donde se localizan los indicadores y los controles del equipo	Carga no energizada	Sin salida de Corriente Alterna	Cable incorrectamente conectado	Revise todas las conexiones	3	4	2	24	NC
		Salida de fase sin energizar	Sin salida de Corriente Alterna	Cortocircuito abierto	Reinícielo	4	4	4	64	NC
		Caída de tensión en la carga	Sin salida de Corriente Alterna	Condensador defectuoso	Reemplácelo	5	4	4	80	NC
		Carga no energizada	Sin salida de Corriente Alterna	Conjunto de cepillo defectuoso	Reemplácelo	5	2	6	60	NC
		Carga no energizada	Sin salida de Corriente Alterna	Regulación de voltaje automática defectuosa	Reemplácela	6	4	4	96	NC
Limitador del motor	Limitar las revoluciones generadas por el motor al impedir el paso de combustible	Oscilación en la tensión de la carga	El generador oscila	Limitador del motor defectuoso	Reemplazar	4	6	4	96	NC
Filtro de aire	Purifica el aire de admisión	Restricción del aire	Motor no arranca	Filtro de aire está sucio	Limpiar o cambiar el filtro de aire	5	6	4	120	NC
		Restricción del aire	Golpeteo en el motor	Filtro de aire está sucio	Limpiar o cambiar el filtro de aire	6	5	5	150	SC
		Restricción del aire	Combustión incompleta	Filtro de aire está sucio	Limpiar o cambiar el filtro de aire	6	6	5	180	SC
		Restricción del aire	Pérdida de potencia	Filtro de aire está sucio	Limpiar o cambiar el filtro de aire	5	6	4	120	NC
		Restricción del aire	Alto consumo de aceite	Filtro de aire está sucio	Limpiar o cambiar el filtro de aire	5	6	4	120	NC
Filtro de combustible	Mantener limpio el sistema de alimentación del motor	Revolución del motor no	Motor no arranca	Filtro de combustible	Limpiar o cambiar	4	6	5	120	NC

		es uniforme		obstruido						
		Revolución del motor no es uniforme	Baja potencia	Filtro de combustible taponado o sucio	Limpiar o cambiar	4	6	5	120	NC
Cilindros	Permiten el movimiento de los pistones	Baja compresión	Parada del motor	Desgaste de cilindros	Reparar o reemplazar	8	1	8	64	NC
Anillos del pistón	Sellar la cámara de combustión/expansión	Mala combustión	Pérdida de potencia	Formación de hollín que obstruye las encías y los anillos del pistón	Reemplazar	5	1	8	40	NC

Anexo K. AMEF EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.

Empresa: CONTRATANTE										
Departamento: DOP Operaciones										
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía										
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						Pág. n° 1 de 1		N° AMEF: 3		
Sistema: CAG Captación de agua						Fecha: 07/05/2015				
Subsistema: CAGGUA101 Captación de agua para proceso										
Componente: EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps										
Estándar de Función: Modelo I06, numero de pistones 3, configuración horizontal de triple pistón, longitud de la carrera 1.5", capacidad de carga 2800lb, peso de la bomba 175lb, sentido de giro: parte superior del eje hacia la cabeza, velocidad intermitente 500rpm, velocidad continua 350rpm, maximo grado de velocidad válvula de bolas 200rpm, velocidad mínima 100rpm, eficiencia mecánica 90%, sistema de lubricación: splash retorno por gravedad, aceite lubricante 2/4, tipo de aceite lubricante SAE 30, temperatura máxima de fluido 140 °F, temperatura mínima de fluido 0°F, estándar del tamaño de succión 1.5"npt, estándar de tamaño de descarga 1.25"npt, tipo de material acero dúctil, níquel, aluminio, bronce, tipo de válvula "válvula de disco".										
SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA	MODO DE FALLO	EFFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	CONTROLES ACTUALES	G	O	D	NPR	Nivel
Tanque de suministro de aceite hidráulico	Garantizar que la bomba tenga siempre un amplio suministro de aceite	Conexiones desajustadas	Ruido y cavitación excesivo	Aire en el fluido	Purgar aire del sistema	4	6	4	96	NC
		Reducción de la vida de la válvula	Sobrecalentamiento	Partículas altamente abrasivas en fluido	Instalar un tamiz o filtro	5	6	5	150	SC
		Ruido	Mal funcionamiento de las bombas por golpes o vibraciones	Bajo nivel de aceite en el extremo de alimentación	Llenar hasta el nivel adecuado	4	6	4	96	NC
		No hay flujo en la bomba	La bomba no recibe flujo	No hay liquido en el depósito (tanque)	Verificar que las líneas de flujo están conectadas y llenar el tanque	6	6	5	180	SC

Válvula de entrada	Permitir la entrada de líquido a la bomba	No hay flujo en la bomba	La bomba no recibe flujo	Línea de la válvula de entrada cerrada	Verificar que las líneas están conectadas y abrir la válvula	6	6	4	144	SC
Filtro de entrada	Permitir la protección de componentes sensibles de la bomba	La bomba no toma el flujo completo de aceite	Desplazamiento lento de los cilindros	Filtro de entrada está totalmente tapado con escombros	Revisar los filtros de la línea de succión	5	4	7	140	SC
		No hay flujo	La bomba no recibe flujo	Filtro de entrada está totalmente tapado con escombros	Limpiar o cambiar filtro	5	6	4	120	NC
Correa de transmisión	Mover la transmisión	Ruido	Presión insuficiente de la bomba	Velocidad en la bomba es demasiado baja	Revisar la tensión de la correa y la potencia del motor	6	6	4	144	SC
		Ruido	Caudal insuficiente de la bomba	Velocidad en la bomba es demasiado baja	Revisar la tensión de la correa y la potencia del motor	6	6	4	144	SC
		Sacudidas del cigüeñal o arranque y detención de la rotación	Vibración	Correas de transmisión sueltas o con deslizamiento	Ajustar y tensionar la correa correctamente	6	2	8	96	NC
Válvula de alivio	Liberar fluido cuando la presión interna supera el límite establecido	No hay flujo	Presión insuficiente de la bomba	Válvula de alivio mal ajustada o desgastada	Ajustar la válvula de alivio	5	4	4	80	NC
		No hay flujo	Caudal insuficiente de la bomba	Válvula de alivio mal ajustada o desgastada	Ajustar la válvula de alivio	5	4	4	80	NC
Válvula de retención	Impide el paso del fluido en una dirección determinada	No hay flujo	Caudal insuficiente de la bomba	Válvulas de retención gastadas	Reparar o reemplazar las válvulas	6	4	5	120	NC
Sellos	Impedir la entrada/salida de fluido de la bomba	Fugas	Disminución de rendimiento de la bomba	Fuga excesiva por los sellos de la bomba	Ajustar o reemplazar sellos o piezas dañadas	5	4	5	100	NC

Ductos de lubricación	Conducir el lubricante a las partes móviles de la bomba	Obstrucción de los pasajes de lubricación	Parada de la bomba	Aceite contaminado	Eliminar la contaminación llenando con aceite limpio	6	6	6	216	C
		Baja presión en la bomba	Parada de la bomba	Desgaste del cojinete patín de deslizamiento	Eliminar la contaminación llenando con aceite limpio e inspeccionar o reparar el cojinete	6	1	8	48	NC
Cámaras de bombeo	Transferir el líquido a presión hacia el exterior de la bomba	Cavitación	Baja presión del lado de la succión de la bomba	Erosión del metal	Aumentar el tamaño de succión o NPSH	6	2	8	96	NC
Cilindros	Permiten el movimiento de los pistones	Cavitación	Cilindro de fluido roto o agrietado en el extremo	Choque hidráulico (cavitación o aire mezclado)	Corregir problema en el sistema de tuberías	8	1	8	64	NC
		La bomba no toma el flujo completo de aceite	Desplazamiento lento de los cilindros	Descarga de la bomba reducida	Revisar los filtros de la línea de succión	5	4	7	140	SC
Pistones	Piezas que efectúan el movimiento alternativo que transmiten la potencia	Cavitación	Biela rota	Choque hidráulico debido a la cavitación	Corregir problemas en el sistema de tuberías	8	1	8	64	NC
		Fugas de producto	Vibración	Sujeción incorrecta de la máquina a pistones axiales.	Verificar la sujeción de la máquina a pistones axiales de acuerdo a las especificaciones del fabricante de la máquina o instalación. Tener en cuenta torques de apriete	8	2	8	128	SC

Impulsor	Forzar al líquido a salir en un plano determinado de acuerdo a su configuración geométrica	Cavitación	Baja presión del lado de la succión de la bomba	Formación de bolsas de gas en los puntos altos en la absorción	Corregir instalación de la línea de succión	6	4	7	168	SC
Línea de succión	Conducir el líquido en el momento de la succión	Fluctuación rápida en la presión de succión	Ruido y Cavitación excesivo	Desgaste en las diferentes partes de la bomba	Corregir instalación para prevenir las fugas	6	1	8	48	NC
Tubo de aspiración	Dar continuidad al flujo de aspiración	Entrada de aire por el tubo de aspiración	Cavitación	Entrada de aire por el tubo de aspiración	Cambiar el racor o la junta y comprobar la estanqueidad del circuito	6	6	4	144	SC
Eje de la bomba	Guiar el movimiento rotacional de la bomba	No da caudal	Parada de la bomba	Eje de la bomba roto	Reparar o cambiar el eje	8	1	8	64	NC
Rodamiento	Punto de apoyo del eje para guiarlo en su rotación	Juego en el eje	Vibración	Rodamiento defectuoso	Cambiar el rodamiento	7	2	8	112	NC

Anexo L. AMEF EMD001 Motor DEK F400S.

Empresa: CONTRATANTE										
Departamento: DOP Operaciones										
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía										
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						Pág. n° 1 de 1		N° AMEF: 4		
Sistema: CAG Captación de agua						Fecha: 07/05/2015				
Subsistema: CAGGUA101 Captación de agua para proceso										
Componente: EMD001 Motor DEK F400S										
Estándar de Función: Motor Diésel de inyección directa DEK F400S, 1 cilindro, carrera 70 mm, 4 tiempos, desplazamiento 406 cc, potencia continua 7.7 HP/3000 rpm, potencia máxima 8.8 HP/3000 rpm, sentido de giro anti horario (visto desde el eje del motor), sistema de arranque YOYO retráctil, capacidad de tanque 5.5 L, capacidad de aceite 1.65 L., refrigerado por aire, consumo de combustible 201 g/hp.h, sistema de enfriamiento aire forzado, sistema de lastre centrifugo, tiempo de trabajo continuo 2.5 h, nivel de ruido 88 dB a 4 m, dimensiones: longitud 525 mm, ancho 470 mm, altura 565 mm, peso 56 Kg.										
SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA	MODO DE FALLO	EFFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	CONTROLES ACTUALES	G	O	D	NPR	Nivel
Depósito de combustible	Almacenar el combustible del motor	Fuga de combustible	Motor no arranca	No hay combustible	Corregir fuga y llenar de combustible	4	1	3	12	NC
		Parada de motor	Pérdida de potencia	Aire en el sistema de combustible	Purga del aire	6	2	4	48	NC
		Parada de motor	Pérdida de potencia	Agua en el sistema de combustible	Cambio de combustible y reparar o cambiar sistema de combustible	7	5	4	140	SC
Filtro de combustible	Mantener limpio el sistema de alimentación del motor	Restricción de aire	Motor no arranca	Filtro de combustible obstruido	Limpiar o cambiar	5	8	3	120	NC
		Revolución del motor no es uniforme	Parada del motor	Filtro de combustible taponado o sucio	Limpiar o cambiar	5	8	3	120	NC
		No hay paso de combustible	Parada del motor	Filtro de combustible taponado	Limpiar o cambiar	5	8	3	120	NC
Bomba de inyección	Inyectar combustible en los cilindros y aspirar gas-aceite del depósito de combustible	Ruido	Vibración	Inyección mal sincronizada	Ajustar	7	3	7	147	SC
		Agarrotamiento de inyectores	Pérdida de potencia	Mal funcionamiento bomba de inyección	Reparar o reemplazar	8	3	7	168	SC

		No hay combustión	Parada del motor	Mal funcionamiento bomba de inyección	Reparar o reemplazar	9	1	8	72	NC
		Baja presión de combustible	Parada del motor	Inyección mal sincronizada	Ajustar	7	5	7	245	C
		Se observan gases de escape ya sea negro gris oscuro	Alta presión de combustible	Sobrecarga	Reducir la carga	6	3	6	108	NC
		Taponamiento	Perdida de eficiencia	Inyección de combustible desigual	Reparar o reemplazar bomba de inyección	8	1	6	48	NC
		Consumo excesivo de combustible	Sobrecalentamiento del motor	Sobrecarga de funcionamiento	Bajar la carga	7	5	6	210	C
		No hay suficiente combustible	Perdida de eficiencia	Inyección mal sincronizada	Ajustar	7	3	7	147	SC
		Ruido	Parada del motor	Tapón de ventilación abierto en la bomba de inyección de combustible	Mantener siempre el tapón de ventilación de aire cerrada en la bomba de inyección de combustible, excepto cuando está saliendo el aire.	6	3	7	126	SC
		Desgaste en la bomba de inyección	Parada del motor	Polvo y suciedad en el combustible	Inspeccionar y limpiar el depósito de combustible periódicamente	7	1	8	56	NC
Cigüeñal	Transmite la potencia al eje	Desbalanceo	Vibración	Atascamiento de cigüeñal	Reparar o reemplazar	8	1	8	64	NC
		Consumo excesivo aceite lubricante	Cavitación	Cojinete del cigüeñal, y pasador del cigüeñal usados	Reemplazar	7	1	8	56	NC
		Baja presión de aceite	Cavitación	Excesivo paso de aceite en el cojinete del cigüeñal	Reparar	7	3	8	168	SC
Árbol de levas	Convertir el movimiento rotacional en movimiento alternativo	Desbalanceo	No hay admisión y escape	Atascamiento o desgaste del árbol de levas	Reparar o reemplazar	8	1	8	64	NC

Pistón	Pieza que efectúa el movimiento alternativo que transmite la potencia	Motor no comprime	Motor no arranca	Atascamiento de pistones	Reparar o reemplazar	8	1	9	72	NC
Cilindro	Permitir el movimiento del pistón	Baja compresión	Parada del motor	Desgaste de cilindros	Reparar o reemplazar	8	1	9	72	NC
		No hay compresión en la cámara de combustión	No hay encendido	Fugas de compresión del cilindro	Reemplazar la junta de la culata, apretar el tornillo de la culata, bujía y porta tobera	8	2	8	128	SC
		Desgaste y rayas en los cilindros	Parada del motor	Impurezas en el aceite del motor	Inspeccionar los cilindros y realizar el cambio de filtros de aceite y de aceite	8	3	9	216	C
Válvula	Controlar la admisión de la mezcla y la salida de los gases quemados	No hay combustión	No hay encendido	Sincronización de válvulas incorrecta	Corregir o sustituir	7	5	8	280	C
Anillo de compresión	Mantener la presión y lubricar el pistón	No hay compresión en la cámara de combustión	Pérdida de potencia	Anillos del pistón y el cilindro desgastados	Reemplazar	8	2	8	128	SC
		Se observan gases de escape ya sea blanco o azul	Perdida de eficiencia	Compresión deficiente	Ajustar el juego de la parte superior	7	5	7	245	C
Gobernador	Controla la velocidad de giro del motor	Revoluciones no uniformes del motor	Pérdida de potencia	Mal funcionamiento del gobernador	Reparar	6	4	6	144	SC
Depósito de aceite	Almacenar el aceite del motor	Se observan gases de escape ya sea blanco o azul	Sobrecalentamiento del motor	Exceso de aceite del motor	Reducir hasta el nivel especificado	3	7	6	126	SC
Tobera de inyección	Inyectar una carga de combustible en la cámara de combustión de forma que pueda arder por completo	Agarrotamiento del inyector	Parada del motor	Deficiente inyección en las toberas	Reparar o reemplazar la tobera	8	1	9	72	NC
		Desgaste en la tobera de inyección	Parada del motor	Polvo y suciedad en el combustible	Inspeccionar y limpiar el depósito de combustible periódicamente	7	3	8	168	SC

		Mala combustión	Parada del motor	Salida incorrecta de presión de la tobera	Ajustar	7	5	8	280	C
		Baja temperatura del cilindro	Pérdida de potencia	Deficiente inyección en las toberas	Reparar o reemplazar la tobera	7	4	8	224	C
Vástago de la válvula	Es la parte que se introduce en una guía para que pueda subir y bajar la válvula centrada en la culata	Falla de combustión	Pérdida de potencia	Vástago de la válvula y guía de la válvula roto	Reemplazar	7	1	8	56	NC
Sellos	Sellar uniones por las que se podrían fugar fluidos	No hay bombeo de aceite	Parada del motor	Fugas de aceite, debido a los sellos o empaques defectuosos	Reemplazar	6	4	7	168	SC
Aceite lubricante	Enfriar las zonas calientes del motor y de las piezas en movimiento. Proteger las superficies internas del motor contra la corrosión	Agua mezclada en el aceite lubricante	Sobrecalentamiento del motor	Junta de la culata defectuosa	Reemplazar	8	6	5	240	C
		Alta presión de aceite	Sobrecalentamiento del motor	Diferentes tipos de aceite	Usar el tipo de aceite especificado	7	2	7	98	NC
Filtro de aceite	Ayudar a limpiar el aceite de materias que contiene en suspensión	No hay bombeo de aceite	Parada del motor	Filtro de aceite obstruido	Limpiar	7	7	6	294	C
		Fugas de aceite	Desgaste de piezas rotativas	Ajuste excesivo puede causar deformaciones en los sellos de goma	Ajustar el filtro de aceite según las especificaciones del fabricante	7	2	6	84	NC
		Saturación del filtro	Desgaste del motor	Falta de cambio del filtro regularmente	Reemplazar	7	6	5	210	C
Conductos de aceite	Derivar el aceite a las piezas del motor	Taponamiento	Sobrecalentamiento del motor	Conducto de aceite atascado	Limpiar	8	2	7	112	NC
Bomba de aceite	Proporcionar un flujo y presión constante de aceite limpio a todos los componentes que tienen fricción durante el funcionamiento del motor	Baja presión de aceite	Sobrecalentamiento del motor	La válvula de alivio de la bomba de aceite puede estar pegada, abierta o instalada al revés	Reparar o reemplazar	8	2	7	112	NC

		Baja presión de aceite	Desgaste de piezas rotativas	Tolerancias excesivas dentro de la bomba de aceite	Reparar o reemplazar	8	2	7	112	NC
Ventilador	Refrigerar el motor	Bajo flujo de aire	Sobrecalentamiento del motor	El ventilador no funciona bien	Ajustar o cambiar	8	6	6	288	C

Anexo M. AMEF ETA 001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.

Empresa: CONTRATANTE											
Departamento: DOP Operaciones											
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía											
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)					Pág. n° 1 de 1		N° AMEF: 5				
Sistema: PER Equipos operativos perforación					Fecha: 07/05/2015						
Subsistema: LUBGUA101 Suministro hidráulico taladro de perforación											
Componente: ETA 001 Tanque de suministro de aceite hidráulico											
Estándar de Función: Capacidad 12.5 gal., temperatura de trabajo 120 a 150°F, temperatura máxima permitida 180°F.											
SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA	MODO DE FALLO	EFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	CONTROLES ACTUALES	G	O	D	NPR	Nivel	
Depósito de aceite	Almacenar el aceite	Fuga de aceite	Sistema hidráulico no arranca	No hay aceite	Corregir fuga y llenar de aceite	8	1	5	40	NC	
		Fuga de aceite	Sistema hidráulico no arranca	Rotura de la estructura del depósito	Reparar la estructura	8	1	7	56	NC	
Tapa de llenado	Mantener los contaminantes fuera de la abertura usada para llenar y añadir aceite al tanque	Exceso de aire en el tanque	Pérdida de potencia del sistema hidráulico	Pérdida de la tapa	Cambiar la tapa	7	2	5	70	NC	
Mirilla-Indicador	Permite revisar el nivel de aceite del tanque hidráulico	Sistema hidráulico no arranca	Pérdida de potencia del sistema hidráulico	Indicador dañado, no se reconoce el nivel actual de aceite en el tanque	Reparar o cambiar el indicador	7	3	7	147	SC	
Tubería de suministro	Permitir que el aceite fluya del tanque al sistema	Taponamiento	Sistema hidráulico no arranca	Obstrucción de la tubería	Limpiar	6	5	5	150	SC	
Tubería de retorno	Permitir que el aceite fluya del sistema al tanque	Taponamiento	Colapso del sistema hidráulico	Obstrucción de la tubería	Limpiar	6	5	5	150	SC	
Drenaje	Permite sacar el aceite en la operación de cambio de aceite	Taponamiento	No se puede retirar el aceite usado normalmente	Partículas de mayor tamaño al drenaje lo están obstruyendo	Destapar el drenaje	6	6	4	144	SC	

Rejilla de llenado	Evitar que entren contaminantes grandes al tanque cuando se quita la tapa de llenado	Taponamiento en alguna parte del depósito de aceite	Pérdida de potencia del sistema hidráulico	Rejilla dañada	Limpiar o cambiar la rejilla de llenado	6	6	4	144	SC
Respiradero	Compensar por la expansión y contracción del aceite o el bombeo del mismo por el sistema hidráulico	Elevación de la temperatura del aceite	Pérdida de potencia del sistema hidráulico	Respiradero taponado	Limpiar el respiradero	5	4	4	80	NC
		Taponamiento en alguna parte del depósito de aceite	Pérdida de potencia del sistema hidráulico	Rejilla dañada	Limpiar o cambiar la rejilla del respiradero	5	2	5	50	NC
		Taponamiento	El aceite no fluye normalmente hacia el sistema hidráulico	Partículas de mayor tamaño al agujero del respiradero entraron en contacto con el mismo	Retirar las partículas que taponan el agujero	5	3	5	75	NC

Anexo N. AMEF EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.

Empresa: CONTRATANTE											
Departamento: DOP Operaciones											
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía											
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)				Pág. n° 1 de 1		N° AMEF: 6					
Sistema: PER Equipos operativos perforación				Fecha: 07/05/2015							
Subsistema: SATGUA101 Actuadores taladro de perforación											
Componente: EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series											
Estándar de Función: Desplazamiento del motor de 4,9 in ³ /rv, 908 rpm, torque 2065 lb-in, extracción máxima 12.000 lb, empuje máximo 8.000 lb, peso 20,5 lb.											
SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA	MODO DE FALLO	EFFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	CONTROLES ACTUALES	G	O	D	NP R	Nive I	
Bomba	Transformar la energía mecánica con la que es accionada en energía del fluido incompresible que mueve	Dirección lenta, dirección dura, o pérdida de energía.	Parada brusca del taladro operado por el motor de rotación	Desgaste o mal funcionamiento de la bomba	Reemplazar la bomba	8	5	6	240	C	
Divisor de flujo	Separar el caudal	Dirección lenta, dirección dura, o pérdida de energía.	Pérdida de potencia	El pistón del divisor de flujo está pegado	Reemplazar el divisor de flujo	6	2	5	60	NC	
Compensador de la bomba	Controlar la presión de la bomba	Dirección lenta, dirección dura, o pérdida de energía.	Pérdida de potencia	El compensador de la bomba se encuentra desgastado y permite que la presión del sistema sea inferior a la especificada	Reemplazar el compensador y la bomba	6	2	7	84	NC	
Válvula de alivio	Liberar fluido cuando la presión interna supera el	Dirección lenta,	Pérdida de potencia	Mal funcionamiento	Reemplazar la válvula de alivio	6	1	5	30	NC	

	límite establecido	dirección dura, o pérdida de energía.		de la válvula de alivio permite que la presión del sistema sea inferior a la especificada							
Eje del motor	Guiar el movimiento rotacional del motor	Dirección lenta, dirección dura, o pérdida de energía.	Rotura del eje	Sobrecarga en el eje de dirección	Reducir carga	8	1	7	56	NC	
		Tendencia del motor a desviarse del rumbo a través de la operación	Rotura del eje	Aire en el sistema debido al bajo nivel de aceite	Corregir condición y adicionar fluido	8	1	7	56	NC	
		Dirección no funciona	No hay movimiento del motor	Columna superior del eje esta suelta o dañada	Apretar la tuerca del volante	4	6	6	144	SC	
		Dirección no funciona	No hay movimiento del motor	El cuñero del eje puede estar roto	Reparar o reemplazar	6	4	6	144	SC	
Acople del motor	Prolongar la línea de transmisión del eje del motor	Tendencia del motor a desviarse del rumbo a través de la operación	Rotura del acople o del cilindro	Conexión mecánica desgastada	Reparar o reemplazar	8	1	5	40	NC	
		Tendencia del motor a desviarse del rumbo a través de la operación	Rotura del acople o del cilindro	Flexión de la articulación o el cilindro de vástagos.	Reparar o reemplazar	7	1	5	35	NC	
Cilindro	Permitir el movimiento del volante	Tendencia del motor a desviarse del rumbo a través de la	Desacople del motor	Pistón del cilindro suelto	Reparar o reemplazar	7	2	8	112	NC	

		operación									
		Desviación de la trayectoria del eje del motor	Rotura de la broca operada por el motor	El cilindro del extremo del vástago se extiende lentamente sin girar el volante	Corregir la dirección del vástago	7	1	8	56	NC	
		Dirección errática	Desacople del motor	Pistón del cilindro suelto	Reemplazar cilindro	6	1	7	42	NC	
Unidad de dirección	Controlar la dirección hidráulica	Tendencia del motor a desviarse del rumbo a través de la operación	Rotura de la broca operada por el motor	Desgaste severo en la unidad de control de dirección	Reemplazar la unidad de control de la dirección	8	1	8	64	NC	
		Movimiento lento de la dirección	Pérdida de potencia y de rotación	Desgaste en la unidad de dirección	Reemplazar la unidad de control de la dirección	6	1	5	30	NC	
		Dirección errática	Pérdida de potencia y de rotación	Daños por choque térmico	Reemplazar la unidad de control de la dirección	8	1	8	64	NC	
		Dirección suave	Pérdida de potencia	Aire atrapado en las líneas de conducción o en el cilindro de operación	Purgar el aire del sistema	3	6	7	126	SC	
		Dirección suave	Pérdida de potencia	Bajo nivel de aceite hidráulico	Adicionar fluido y comprobar que no hay fugas	6	5	6	180	SC	
		Dirección no funciona	No hay movimiento del motor	No hay flujo de aceite	Tubo de la unidad roto	6	4	6	144	SC	
		Dirección no funciona	No hay movimiento del motor	Daños internos por choque térmico	Reemplazar la unidad	7	2	7	98	NC	
		Dirección gira con una ligera resistencia	Movimiento lento del motor	Junta del pistón está afuera	Corregir y reemplazar la junta	6	1	5	30	NC	

		Juego excesivo del volante	No hay un movimiento correcto del motor	Acople entre el eje motriz y los engranes está fallando	Compruebe si los cojinetes están sueltos y los puntos de anclaje de la dirección entre el cilindro y las ruedas directrices.	5	2	6	60	NC
		Unidad de dirección bloqueada	No hay movimiento del motor	Energía hidráulica insuficiente	Chequear la unidad de alimentación	8	2	6	96	NC
		Unidad de dirección bloqueada	No hay movimiento del motor	Desgaste severo del pin	Reemplazar	8	1	8	64	NC
Varillaje de la dirección	Transmitir el movimiento de giro desde la caja de dirección a los brazos de la dirección	Desviación de la trayectoria del eje del motor	Daño permanente de la dirección	Varillaje de la dirección desgastado o dañado	Reemplazar la alineación frontal	7	1	8	56	NC
Sellos y mangueras	Sellar uniones por las que se podrían fugar fluidos. Transportar el fluido hidráulico	Movimiento lento de la dirección	Pérdida de potencia y de rotación	Fuga en los sellos del pistón o en las líneas hidráulicas conectadas al motor	Reemplazar sellos del motor o mangueras	5	5	5	125	SC
Volante	Aportar al motor una inercia adicional de modo que permita almacenar energía cinética	Aumento del par del motor de una manera brusca	Rotura de los engranajes	Choque térmico	Revisar la temperatura de operación del motor	8	2	8	128	SC
		Juego excesivo del volante	Giros bruscos del motor	Eje de la columna de dirección desgastado	Reparar o reemplazar el eje	8	1	7	56	NC
		Volante descentrado	Desviación de la trayectoria del eje del motor	Desalineación de la columna de dirección o de la conexión estriada de entrada	Alinear la columna	6	1	7	42	NC
		Volante descentrado	Desviación de la trayectoria del eje del motor	Alta presión que ocasiona un lento retorno del fluido hidráulico	Revisar la línea de retorno	4	6	5	120	NC

Eje de dirección	Sostener parte de los elementos de la dirección	Dirección errática	Desgaste del eje	Aire en el sistema debido al bajo nivel de aceite	Corregir condición y adicionar fluido	6	1	7	42	NC
Líneas de conducción	Conducir fluido hidráulico	Eje gira en sentido contrario al mando que dio el operador	Rotura de la broca operada por el motor	Líneas de accionamiento del motor están mal conectadas	Reconectar líneas correctamente	8	1	7	56	NC
		Oscilación e inestabilidad del motor	Mal operación en el proceso de perforación	Aire en las líneas de conducción	Comprobar entrada de la bomba. Purgar las líneas de detección.	4	6	5	120	NC

Anexo O. AMEF EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.

Empresa: CONTRATANTE													
Departamento: DOP Operaciones													
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						Pág. n° 1 de 1		N° AMEF: 7					
Sistema: PER Equipos operativos perforación						Fecha: 07/05/2015							
Subsistema: SATGUA101 Actuadores taladro de perforación													
Componente: EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000													
Estándar de Función: Apertura y cierre hidráulico, empuje axial 12000 lb, capacidad máxima BO a HW, número de mordazas 2, tamaño máximo del vástago 4-1/2", peso 76 lb.													
SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA	MODO DE FALLO	EFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	CONTROLES ACTUALES	G	O	D	NPR	Nivel			
Cilindro	Permitir el movimiento para la apertura y cierre de la abrazadera	Desgaste y rayas en los cilindros	Fuga de aceite, pérdida de presión y potencia	Aceite contaminado, exposición a ambientes contaminantes	Verificar condición del cilindro, reparar y/o cambiar	8	6	6	288	C			
		El cilindro presenta una alta temperatura de operación	Desgaste del material del cilindro, pérdida de diámetro del cilindro	Fugas internas	Realizar pruebas de presión interna, y corregir fugas detectadas	7	5	6	210	C			
Sellos	Sellar uniones por las que se podrían fugar fluidos	Fugas externas	Pérdida de fluido, velocidad y presión	Sellos presentan desgaste por la apertura continua del foot clamp	Cambiar sellos	6	6	5	180	SC			
Vástago	Es la parte que se introduce en una guía para que pueda subir y bajar la válvula	Foot clamp no cierra correctamente	Pérdida de potencia	Vástago de la válvula y guía de la válvula roto	Reemplazar	8	1	7	56	NC			
Cojinete	Soporta y gira el eje de la abrazadera	Foot clamp no cierra correctamente	Falla en la carga/descarga, apriete/desapriete de los tubos	Juego en el cojinete, mal instalación	Verificar montaje del cojinete, corregir falla	8	7	5	280	C			
		Foot clamp no cierra correctamente	Rotura de tubo de perforación, juego en el taladro	Cojinete descentrado	Verificar instalación, corregir montaje	7	6	7	294	C			
Mangueras	Transportar el fluido hidráulico	Fugas externas	Pérdida de potencia y presión de cierre	Mala instalación	Corregir fugas y/o cambiar mangueras	6	7	4	168	SC			

Anexo P. AMEF ERB001 Winche Hydracore 2000.

Empresa: CONTRATANTE										
Departamento: DOP Operaciones										
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía										
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						Pág. n° 1 de 1		N° AMEF: 8		
Sistema: PER Equipos operativos perforación						Fecha: 07/05/2015				
Subsistema: SATGUA101 Actuadores taladro de perforación										
Componente: ERB001 Winche Hydracore 2000										
Estándar de Función: Winche operado por una válvula de cuatro vías cuatro posiciones 4/4, capacidad 900 ft de cable, calibre del cable 3/16", discos estacionarios que rodean el cable, tambor de aluminio.										
SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA	MODO DE FALLO	EFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	CONTROLES ACTUALES	G	O	D	NPR	Nivel
Freno	Detener o reducir la velocidad de rotación del winche	Cable de operación no se desenrolla	Accidentes en la operación de trabajo del taladro	El freno no se libera porque no está recibiendo la señal de piloto	Controlar la presión en el puerto de la válvula de freno. Con el sistema hidráulico en funcionamiento, la presión en el puerto será aproximadamente igual a la presión del sistema. El freno está totalmente abierto en determinada presión. Si la presión en el puerto no es correcta, reemplace la válvula de freno	5	10	3	150	SC
		Cable de operación no se desenrolla	Accidentes en la operación de trabajo del taladro	El freno se está trabando mecánicamente	Si la presión es correcta y el freno no se libera, éste podría estar mecánicamente trabado. Esto requiere el desmontaje del extremo del motor para corregir el problema.	5	10	3	150	SC
		El winche no levanta la carga, para el caso la broca de perforación	La broca de perforación no puede ser extraída correctamente	El freno no se libera	Controlar la presión en el puerto de la válvula de freno. Con el sistema hidráulico en funcionamiento, la presión en el puerto será aproximadamente igual a la presión del sistema. El freno está totalmente abierto en determinada presión. Si la presión en el puerto no es correcta, reemplace la válvula de freno	8	8	3	192	SC

		Hay pérdida de aceite hidráulico de la caja de freno, motor o apoyo de extremo	Pérdida de presión, velocidad y potencia del winche	Falló el sellado frontal del eje del motor hidráulico	* Retirar y reemplazar el motor. * Reemplazar o reparar el freno. * Drenar el aceite y volver a llenar. Controlar el apoyo del extremo para asegurarse de que no haya más pérdidas.	5	9	4	180	SC
Sistema hidráulico asociado al winche	Transmitir presión hidráulica al winche	Cable de operación no se desenrolla	Accidentes en la operación de trabajo del taladro	El sistema hidráulico no acumula suficiente presión para liberar el freno	La válvula de alivio, ubicada en la válvula de control del sistema, está demasiado baja, o se trabó y quedó abierta. O, ha fallado la bomba hidráulica. Revisar y corregir	8	6	6	288	C
Tren de engranajes	Transmitir potencia y movimiento en el equipo	Cable de operación no se desenrolla	Mal funcionamiento del componente	El tren de engranajes se está trabando mecánicamente.	Esto requerirá el desmontaje del winche para repararlo.	6	7	5	210	C
Motor hidráulico	Convertir presión hidráulica y flujo en un par de torsión y un desplazamiento angular, es decir, en una rotación o giro	El winche no levanta la carga, para el caso la broca de perforación	La broca de perforación no puede ser extraída correctamente	La presión del sistema hidráulico no es adecuada para activar la carga, o la contrapresión es demasiado alta	Controlar la presión instalando manómetros en cada uno de los lados del motor del winche. Comparar la diferencia que muestran los manómetros con la información del rendimiento del winche	8	8	3	192	SC
		Hay pérdida de aceite hidráulico de la caja de freno, motor o apoyo de extremo	Pérdida de presión, velocidad y potencia del winche	Falló el sellado frontal del eje del motor hidráulico	* Retirar y reemplazar el motor. * Reemplazar o reparar el freno. * Drenar el aceite y volver a llenar. Controlar el apoyo del extremo para asegurarse de que no haya más pérdidas.	8	6	3	144	SC
Estructura: Tambor, tornillos	Soportar cargas y elementos del equipo	El winche no levanta la carga, para el caso la broca de perforación	La broca de perforación no puede ser extraída correctamente	El winche se está trabando mecánicamente	* Verificar y asegurar de que el winche está montado sobre una superficie plana y rígida. * Aflojar, pero no quitar los tornillos de cabeza que unen las correas de soporte (o ángulos de base si usted tiene un winche de montaje bajo) a los soportes de los extremos. Rotar el tambor, asegurándose de que gire libremente sin pegarse. * Ajustar los tornillos. Retirar y	7	9	3	189	SC

					desmontar el winche para repararlo y ajustar el montaje.				
--	--	--	--	--	---	--	--	--	--

Anexo Q AMEF ETC001 Panel de control Hydracore 2000.

Empresa: CONTRATANTE										
Departamento: DOP Operaciones										
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía										
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						Pág. n° 1 de 1		N° AMEF: 9		
Sistema: PER Equipos operativos perforación						Fecha: 07/05/2015				
Subsistema: SCLGUA101 Control taladro de perforación										
Componente: ETC001 Panel de control Hydracore 2000										
Estándar de Función: Control de bloqueo, niveles de velocidad para la bomba de agua, control de desplazamiento, control de motor de rotación, nivel y posición del winche, peso 220 lb.										
SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA	MODO DE FALLO	EFECTOS POTENCIALES DE FALLO	CAUSAS POTENCIALES DE FALLO	CONTROLES ACTUALES	G	O	D	NPR	Nivel
Válvulas de regulación y control	Variar el caudal del fluido de control que modifica y a su vez el valor de la variable de medida	Error en la transmisión de la señal	Error en algún tipo de movimiento del taladro	Falta de comunicación de la señal	Verificar conexiones y reparar	6	2	4	48	NC
		Error en la transmisión de la señal	Error en algún tipo de movimiento del taladro	Avería interna	Probar válvula y/o cambiar	6	2	4	48	NC
		Error en la transmisión de la señal	Error en algún tipo de movimiento del taladro	Desconexión eléctrica	Conectar y/o cambiar cables	2	4	2	16	NC
		Error en la transmisión de la señal	Fuga, explosión	Sobrepresión	Verificar presión y/o cambiar válvula	8	1	3	24	NC
		Falta de estanqueidad	Formación de sustancias tóxicas y/o corrosivas	Fallo de la junta de estanqueidad por corrosión interna	Reparar y/o cambiar	6	1	5	30	NC
		Falla de operación	Vibración que ocasiona apertura ligera de la válvula	Rotura de la válvula	Reparar y/o cambiar	8	1	4	32	NC
		Falla de operación	Vibración que ocasiona apertura ligera de la válvula	Bloqueo de la válvula	Reparar y/o cambiar	8	2	5	80	NC
Válvulas de seguridad	Liberar fluido cuando la presión interna del sistema supera el límite establecido	Explosión	Parada del equipo	Bloqueo o apertura descontrolada	Verificar presión y/o cambiar válvula	8	1	3	24	NC

		Escape	Pérdida de presión para algún comando específico	Bloqueo o apertura descontrolada	Verificar presión y/o cambiar válvula	6	2	5	60	NC
Válvulas anti retorno	Permitir la circulación de fluido en un sentido y cerrar el paso del fluido en sentido contrario	Inversión de flujo	Fuga, explosión	Válvulas anti retorno como insuficiente sistema de seguridad	Reparar y/o cambiar	9	1	6	54	NC
Problema de operario	Operar correctamente el equipo	Accidente laboral, accidente con el equipo	Movimiento equivocado de algún sistema del taladro de perforación	Falta de capacitación y conocimiento del uso de los controles	Capacitación y revisión de procedimientos	8	1	7	56	NC
Palancas o mandos	Controlar movimientos o funciones del equipo	Falta de control específico	Error en algún tipo de movimiento del taladro	Rotura de la palanca o mando	Reparar y/o cambiar	8	1	5	40	NC
Indicadores de presión	Indicar presión determinada en el punto donde se encuentre instalado	Sobrepresión	Fuga, explosión	El indicador no funciona y es imposible detectar la elevación de presión	Reparar y/o cambiar	9	1	5	45	NC
		Falta de presión	No arranca el sistema	El indicador no funciona y se dificulta detectar la falta de presión	Reparar y/o cambiar	8	1	6	48	NC
Conexión de energía principal	Conectar el equipo a la energía eléctrica necesaria para su normal funcionamiento	No responde el control de ningún sistema	No arranca el sistema	Rotura de la toma o del cable	Reparar y/o cambiar	6	3	6	108	NC
		No responde el control de ningún sistema	No arranca el sistema	Falta de potencia del generador	Reparar y/o cambiar	6	1	6	36	NC

Anexo R. Datos de vida del equipo EMK002 Motor Kubota.

TAG Equipo	Fecha	Tiempo entre fallas	Tiempo entre reparación
EMK002 Motor Kubota V1505-T	27/02/2012	28	14,0
EMK002 Motor Kubota V1505-T	25/04/2012	58	3,0
EMK002 Motor Kubota V1505-T	03/05/2012	8	1,30
EMK002 Motor Kubota V1505-T	08/06/2012	36	0,45
EMK002 Motor Kubota V1505-T	09/09/2012	93	2,00
EMK002 Motor Kubota V1505-T	30/11/2012	82	1,30
EMK002 Motor Kubota V1505-T	14/03/2013	104	2,45
EMK002 Motor Kubota V1505-T	28/03/2013	14	5,00
EMK002 Motor Kubota V1505-T	06/04/2013	9	1,00
EMK002 Motor Kubota V1505-T	05/05/2013	29	2,25
EMK002 Motor Kubota V1505-T	08/05/2013	3	3,30
EMK002 Motor Kubota V1505-T	22/05/2013	14	1,30
EMK002 Motor Kubota V1505-T	18/01/2014	241	2,18
EMK002 Motor Kubota V1505-T	23/06/2014	156	1,10
EMK002 Motor Kubota V1505-T	10/11/2014	140	1,40

Anexo S. Datos de vida del equipo EMK003 Motor Kubota.

TAG Equipo	Fecha	Tiempo entre fallas	Tiempo entre reparación
EMK003 Motor Kubota V1505-T	26/02/2012	27	1,0
EMK003 Motor Kubota V1505-T	28/02/2012	2	1,2
EMK003 Motor Kubota V1505-T	12/03/2012	13	10,3
EMK003 Motor Kubota V1505-T	23/04/2012	42	0,45
EMK003 Motor Kubota V1505-T	04/06/2012	42	3,30
EMK003 Motor Kubota V1505-T	30/06/2012	26	4,00

EMK003 Motor Kubota V1505-T	13/07/2012	13	4,00
EMK003 Motor Kubota V1505-T	16/08/2012	34	3,45
EMK003 Motor Kubota V1505-T	28/09/2012	43	15,00
EMK003 Motor Kubota V1505-T	11/11/2012	44	5,25
EMK003 Motor Kubota V1505-T	05/09/2013	298	2,15
EMK003 Motor Kubota V1505-T	23/08/2014	352	3,05

Anexo T. Datos de vida del equipo EGE001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K.

TAG Equipo	Fecha	Tiempo entre fallas	Tiempo entre reparación
EGE001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K	13/05/2012	104	20,0
EGE001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K	30/05/2012	17	7,14
EGE001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K	10/07/2012	41	6,0
EGE001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K	15/08/2012	36	3,0
EGE001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K	30/08/2012	15	8,0
EGE001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K	15/09/2012	16	1,0
EGE001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K	24/03/2013	190	2,0
EGE001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K	28/10/2013	218	1,0
EGE001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K	08/02/2014	103	3,0
EGE001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K	14/05/2014	95	0,50

Anexo U. Datos de vida del equipo EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.

TAG Equipo	Fecha	Tiempo entre fallas	Tiempo entre reparación
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	06/03/2012	36	1,30
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	01/05/2012	56	1,00
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	14/08/2012	105	1,25
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	09/09/2012	26	3,45
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	25/09/2012	16	8,15
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	28/09/2012	3	2,45
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	30/09/2012	2	6,15
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	21/10/2012	21	8,30
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	05/11/2012	15	2,00
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	15/12/2012	40	8,00
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	02/02/2013	49	2,15
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	15/02/2013	13	4,30
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	22/08/2013	188	4,15
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	11/02/2014	173	1,50
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	18/08/2014	188	1,20
EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	24/11/2014	98	2,00

Anexo V. Datos de vida del equipo EMD001 Motor DEK F400S.

TAG Equipo	Fecha	Tiempo entre fallas	Tiempo entre reparación
EMD001 Motor DEK F400S	09/05/2012	100	9,0
EMD001 Motor DEK F400S	19/10/2012	163	3,0
EMD001 Motor DEK F400S	29/10/2012	10	13,30
EMD001 Motor DEK F400S	27/01/2013	90	2,0
EMD001 Motor DEK F400S	13/02/2013	17	13,50
EMD001 Motor DEK F400S	20/04/2013	66	2,15
EMD001 Motor DEK F400S	26/05/2013	36	0,30
EMD001 Motor DEK F400S	19/12/2013	207	1,20
EMD001 Motor DEK F400S	05/07/2014	198	4,00
EMD001 Motor DEK F400S	24/10/2014	111	2,50

Anexo W Datos de vida del equipo ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.

TAG Equipo	Fecha	Tiempo entre fallas	Tiempo entre reparación
ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico	13/08/2012	196	18,45
ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico	31/08/2012	18	7,14
ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico	08/10/2012	38	6,0
ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico	12/11/2012	35	1,0
ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico	25/11/2012	13	6,0
ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico	08/04/2013	134	1,0
ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico	30/01/2014	297	0,50

Anexo X. Datos de vida del equipo EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.

TAG Equipo	Fecha	Tiempo entre fallas	Tiempo entre reparación
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	03/03/2012	33	11,0
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	12/03/2012	9	12,0
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	26/03/2012	14	9,30
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	03/04/2012	8	2,00
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	08/04/2012	5	1,00
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	22/04/2012	14	12,0
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	20/06/2012	59	6,30
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	02/10/2012	104	4,0
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	17/10/2012	15	13,0
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	20/10/2012	3	1,0
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	18/12/2012	59	2,0
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	04/03/2013	76	2,0
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	10/03/2013	6	6,0
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	23/03/2013	13	6,30
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	04/04/2013	12	15,0
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	18/04/2013	14	15,0
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	11/07/2013	84	2,20
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	18/05/2014	311	3,30
EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	21/08/2014	95	0,50

Anexo Y. Datos de vida del equipo EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.

TAG Equipo	Fecha	Tiempo entre fallas	Tiempo entre reparación
EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000	15/04/2012	76	0,30
EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000	09/05/2012	24	6,15
EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000	15/05/2012	6	2,30
EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000	18/05/2012	3	5,0
EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000	20/08/2012	94	3,0
EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000	21/02/2013	185	3,0
EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000	15/09/2013	206	4,30
EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000	22/05/2014	249	2,30

Anexo Z. Datos de vida del equipo ERB001 Winche Hydracore 2000.

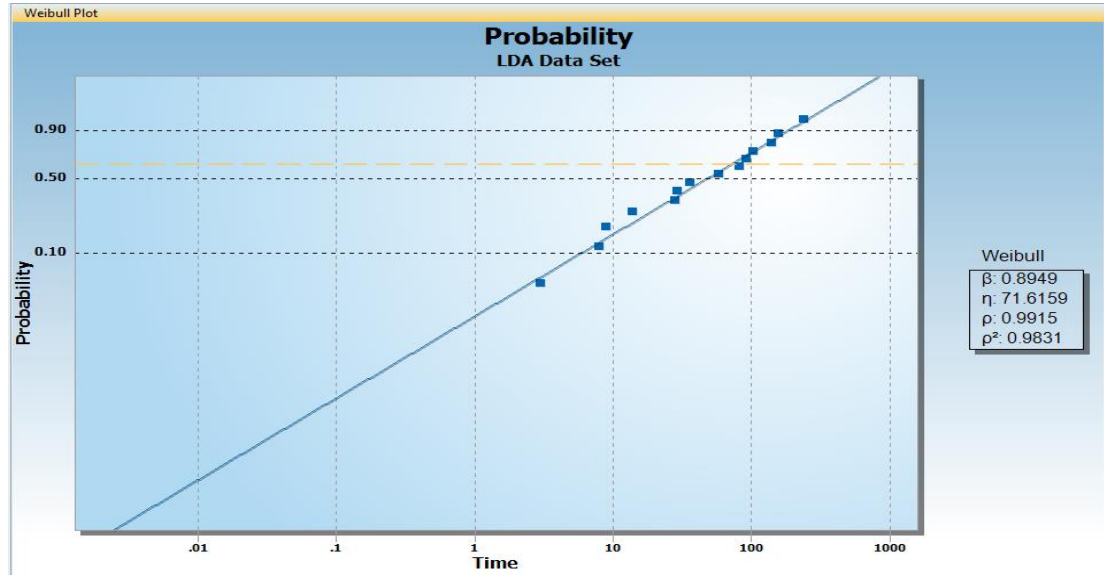
TAG Equipo	Fecha	Tiempo entre fallas	Tiempo entre reparación
ERB001 Winche Hydracore 2000	15/03/2012	45	4,30
ERB001 Winche Hydracore 2000	17/03/2012	2	2,25
ERB001 Winche Hydracore 2000	01/09/2012	168	1,0
ERB001 Winche Hydracore 2000	27/12/2012	117	13,10
ERB001 Winche Hydracore 2000	07/01/2013	11	15,0
ERB001 Winche Hydracore 2000	20/01/2013	13	6,25
ERB001 Winche Hydracore 2000	05/02/2013	16	12,36
ERB001 Winche Hydracore 2000	09/03/2013	32	7,0

ERB001 Winche Hydracore 2000	31/05/2013	83	4,45
ERB001 Winche Hydracore 2000	11/06/2013	11	4,0
ERB001 Winche Hydracore 2000	09/07/2013	28	1,0
ERB001 Winche Hydracore 2000	21/01/2014	196	2,30
ERB001 Winche Hydracore 2000	19/03/2014	57	0,50
ERB001 Winche Hydracore 2000	22/06/2014	95	4,0

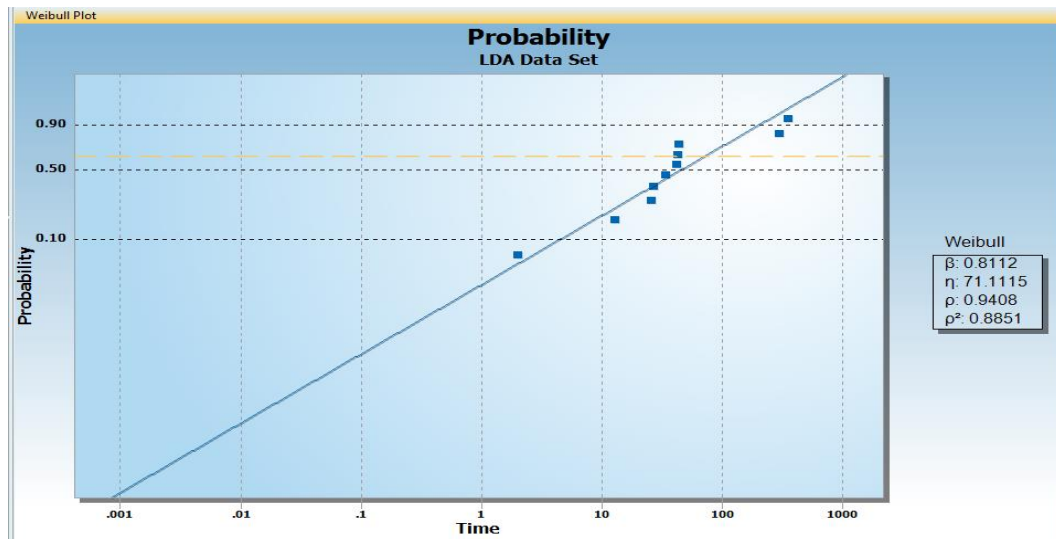
Anexo 1 Datos de vida del equipo ETC001 Panel de control Hydracore 2000.

TAG Equipo	Fecha	Tiempo entre fallas	Tiempo entre reparación
ETC001 Panel de control Hydracore 2000	09/08/2012	192	0,45
ETC001 Panel de control Hydracore 2000	29/01/2013	173	3,30
ETC001 Panel de control Hydracore 2000	27/03/2013	57	1,0
ETC001 Panel de control Hydracore 2000	13/04/2013	17	2,0
ETC001 Panel de control Hydracore 2000	20/06/2013	68	0,45
ETC001 Panel de control Hydracore 2000	26/07/2013	36	1,0
ETC001 Panel de control Hydracore 2000	11/12/2013	138	0,50
ETC001 Panel de control Hydracore 2000	03/07/2014	204	1,40

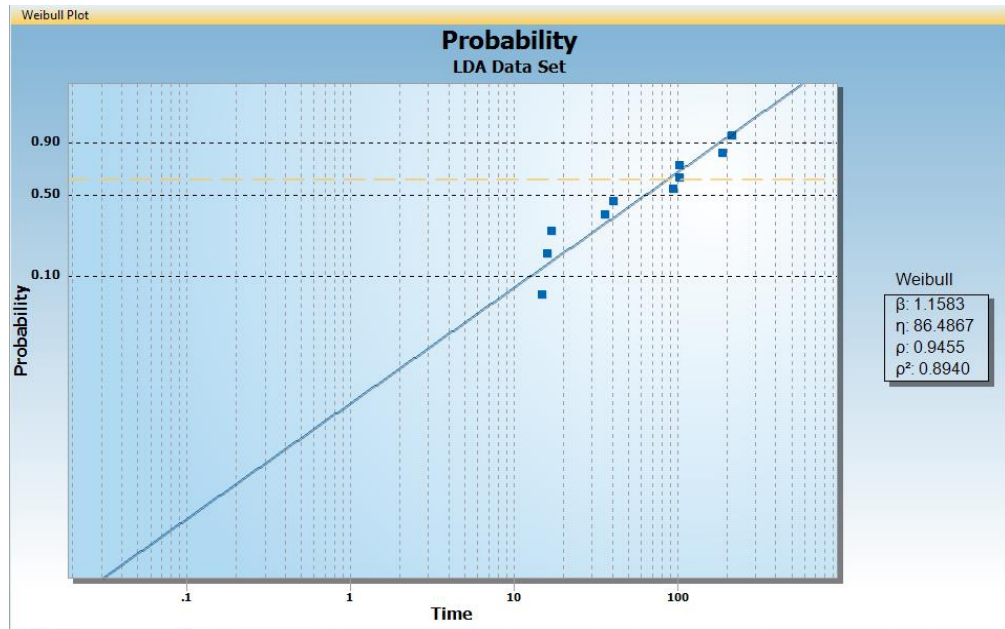
Anexo 2 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EMK002 Motor Kubota.



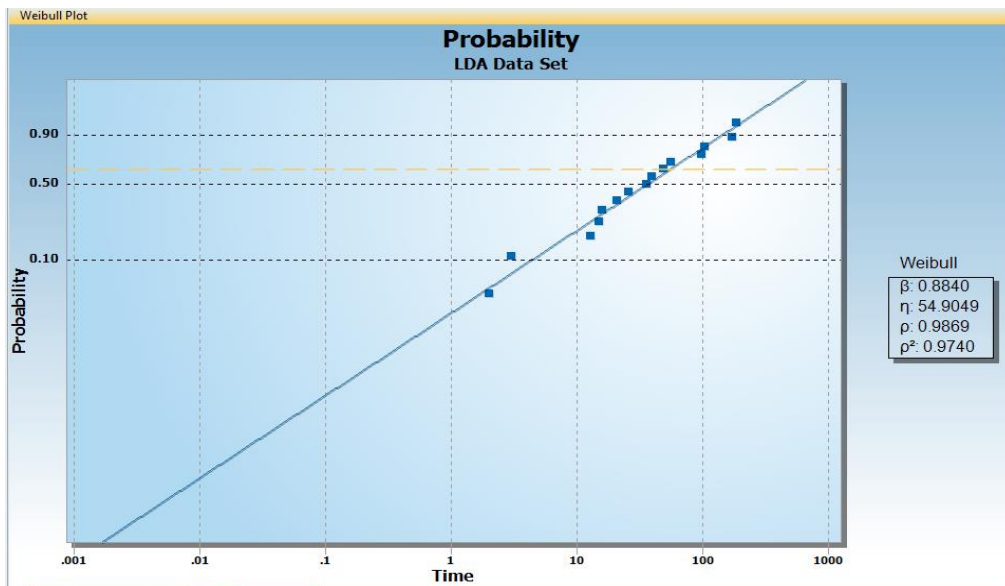
Anexo 3 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EMK003 Motor Kubota.



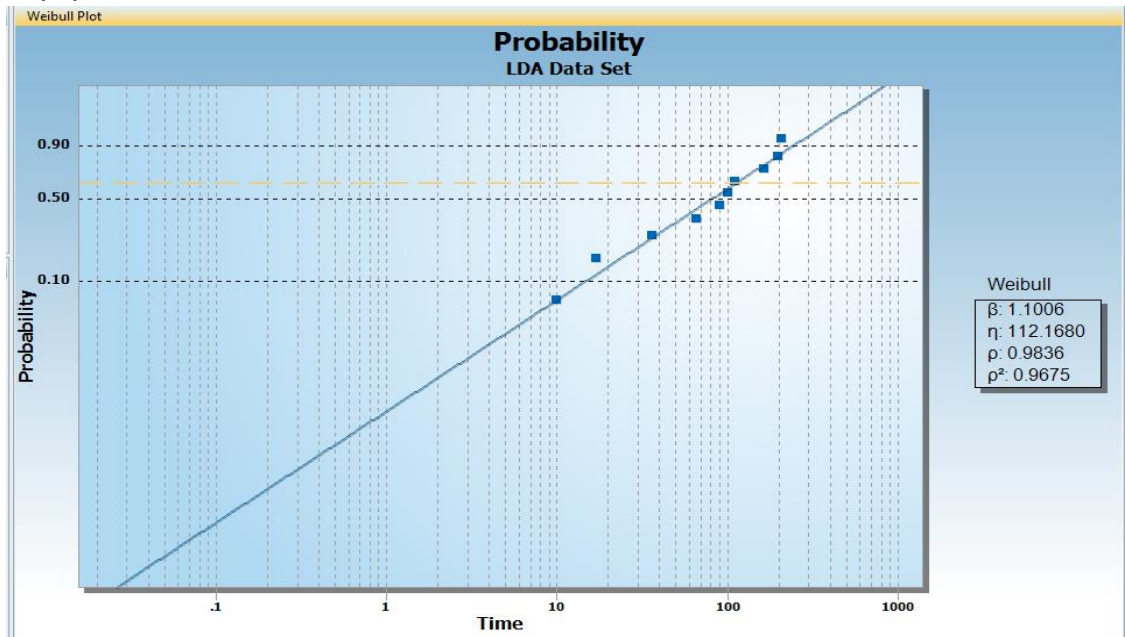
Anexo 4 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EGE001 Generador eléctrico portatil Sportsman GEN 10K.



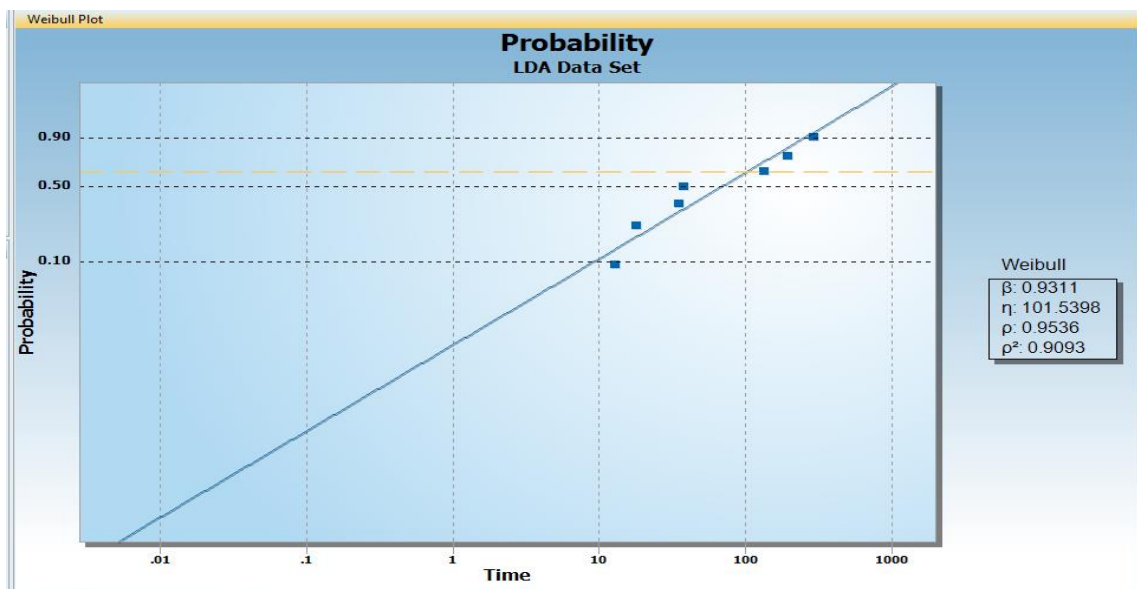
Anexo 5 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.



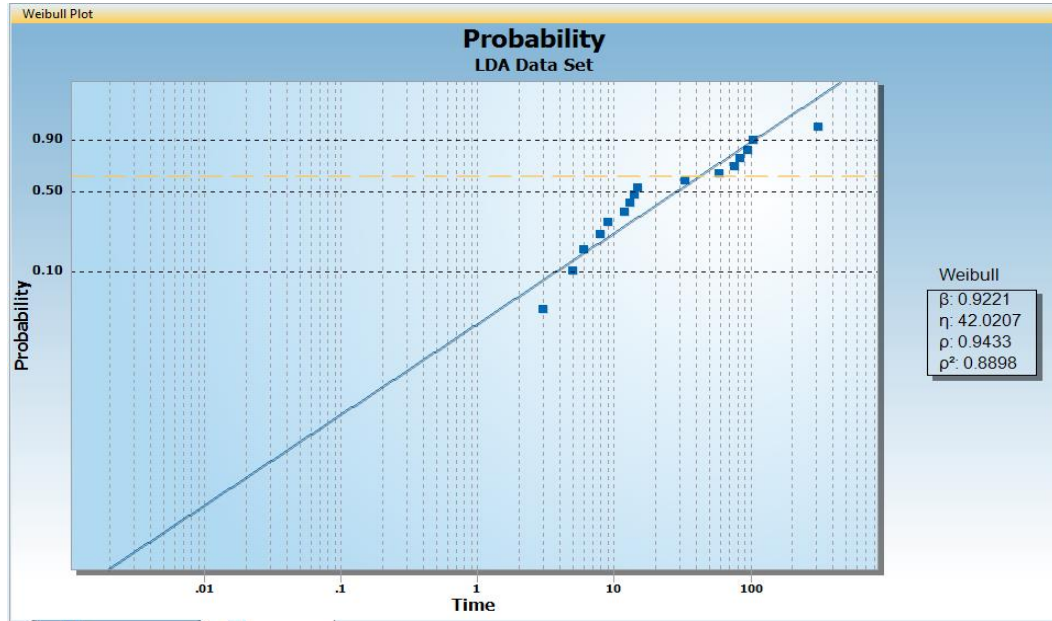
Anexo 6 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EMD001 Motor DEK F400S.



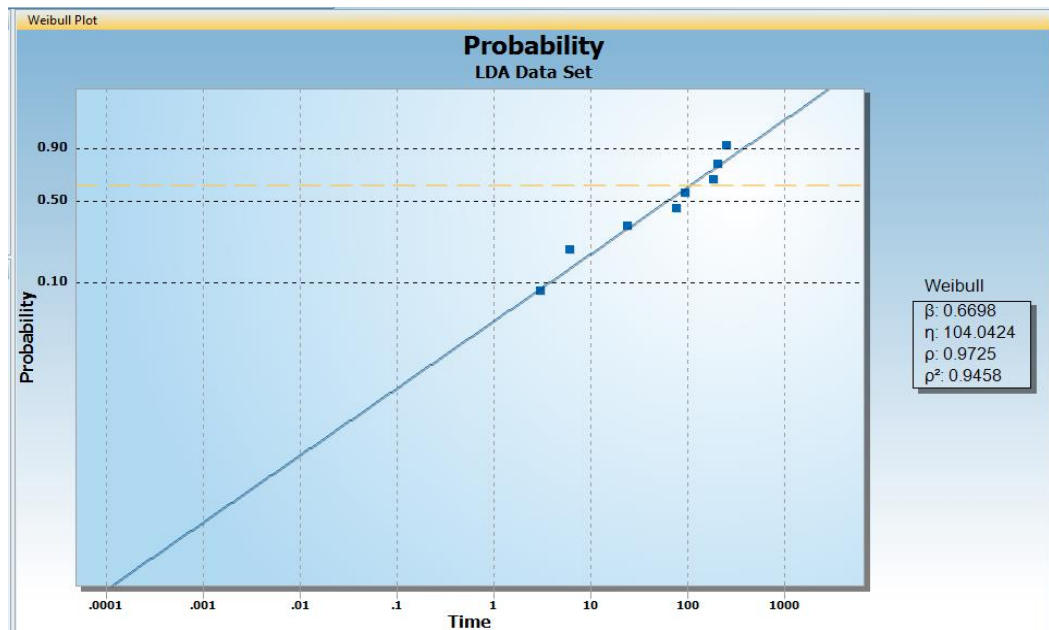
Anexo 7 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.



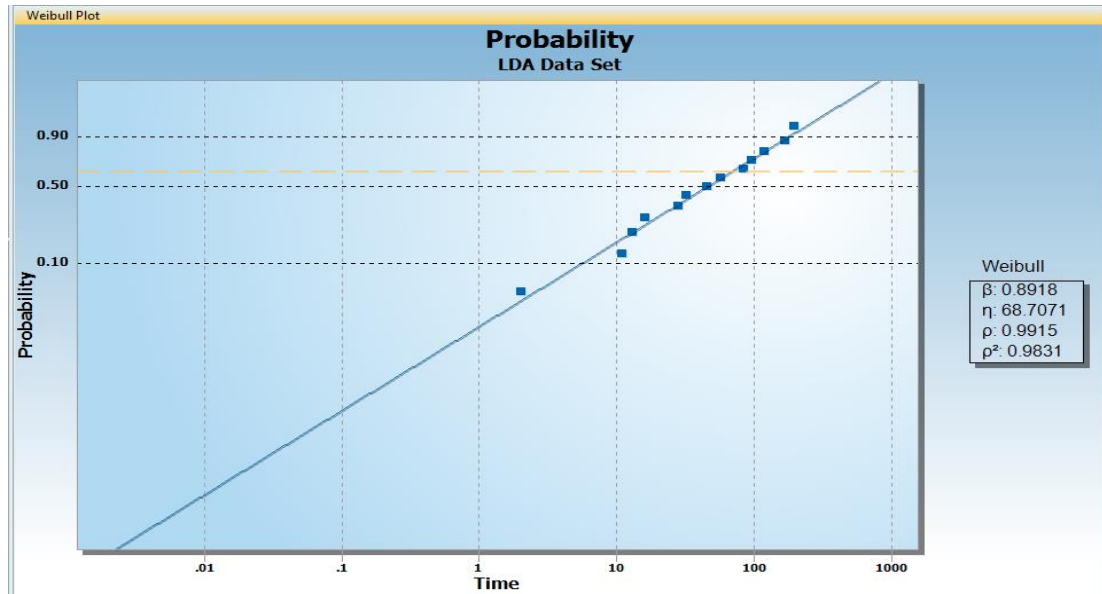
Anexo 8 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.



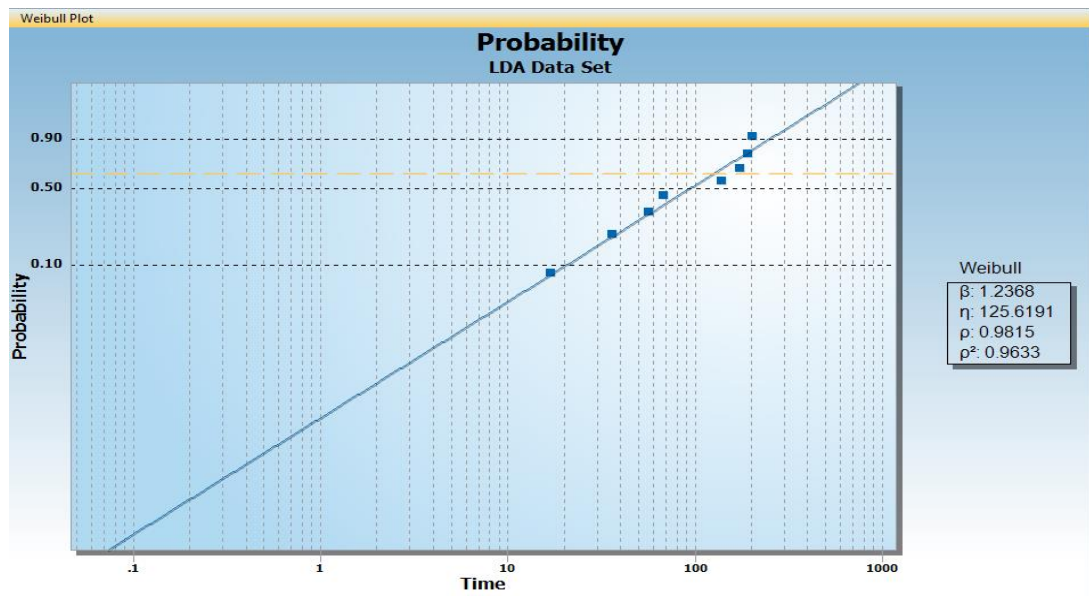
Anexo 9 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.



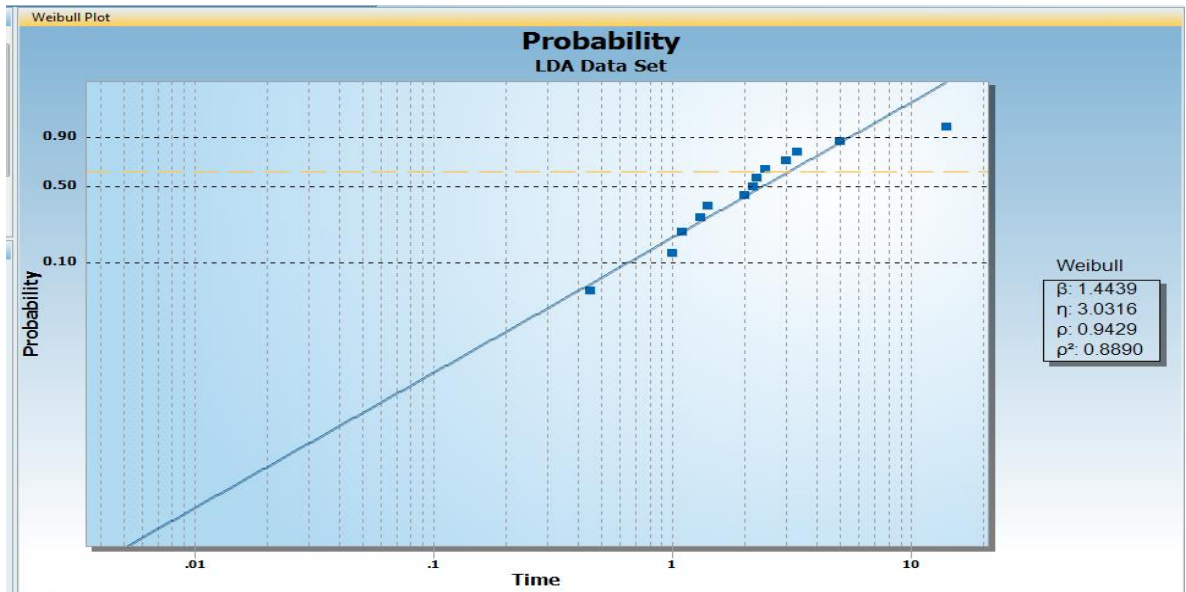
Anexo 10 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo ERB001 Winche Hydracore 2000.



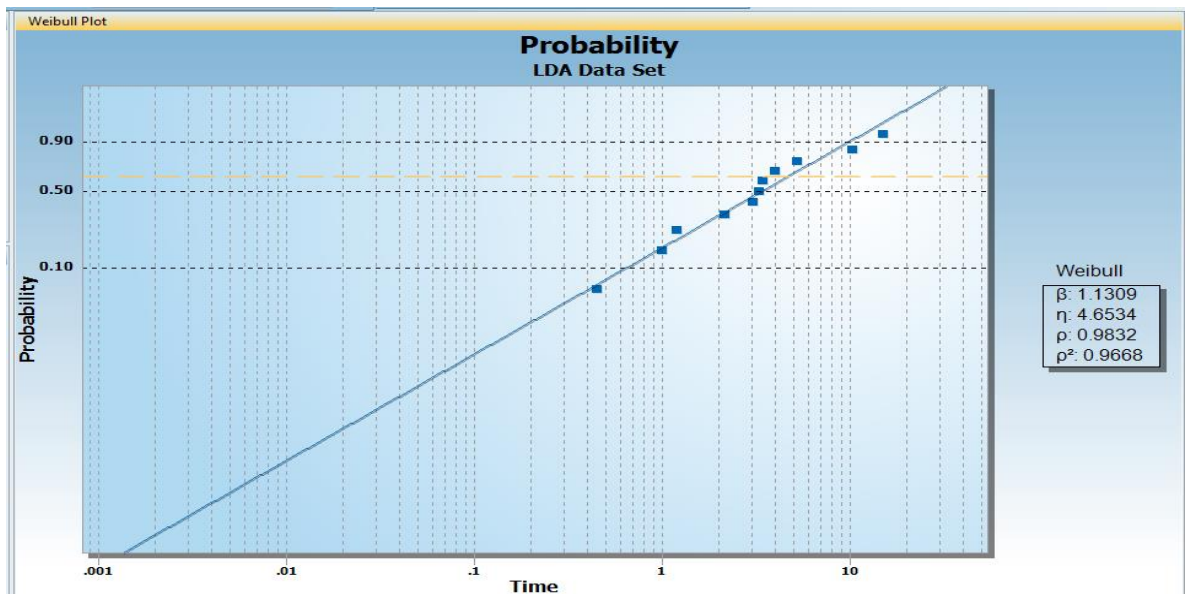
Anexo 11 Simulación de confiabilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo ETC001 Panel de control Hydracore 2000.



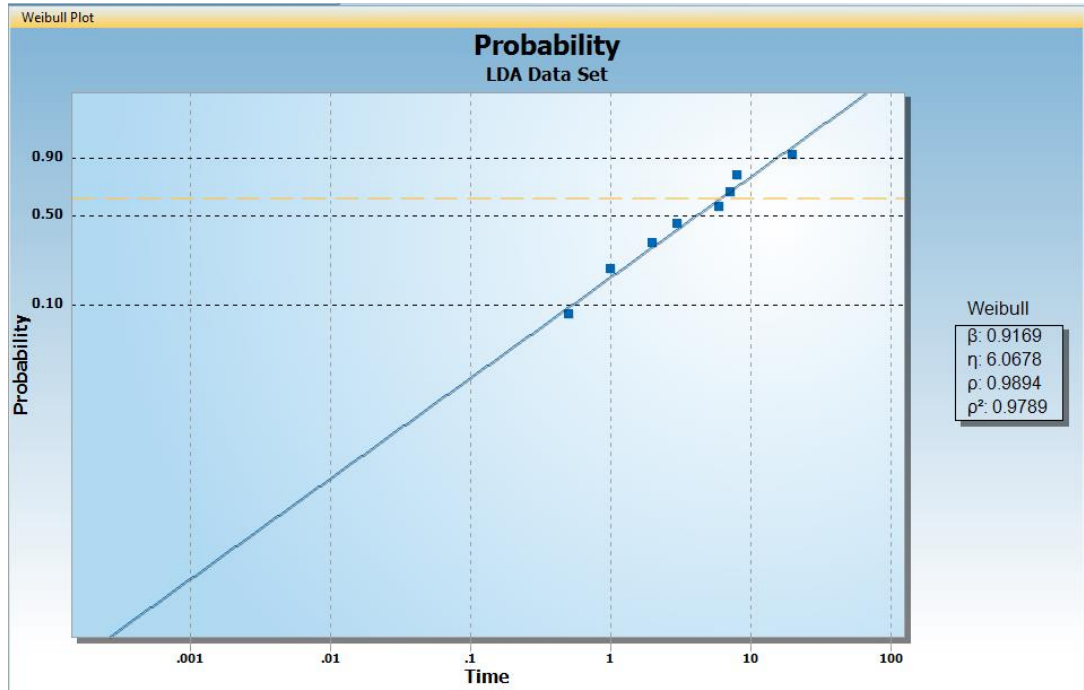
Anexo 12 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EMK002 Motor Kubota.



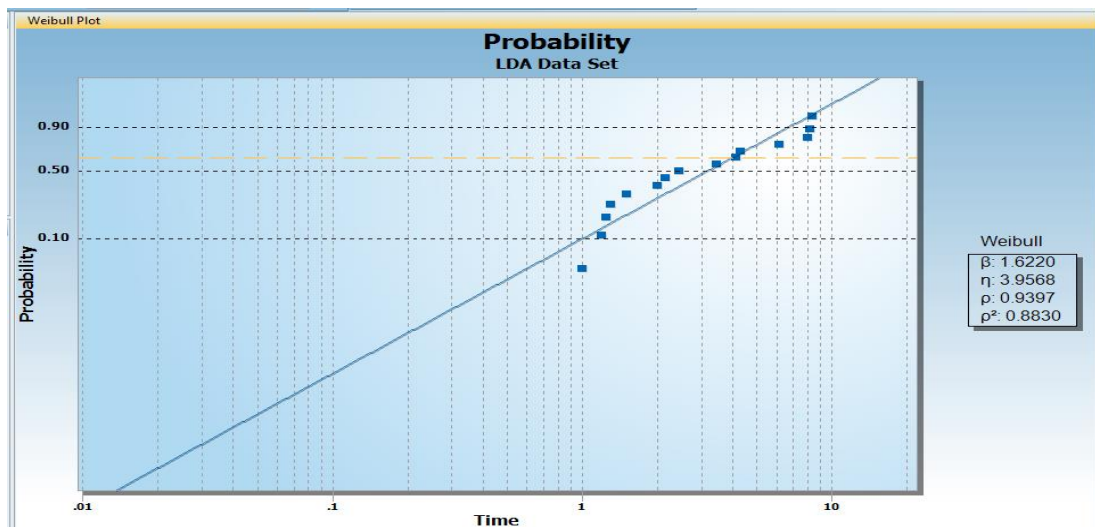
Anexo 13 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EMK003 Motor Kubota.



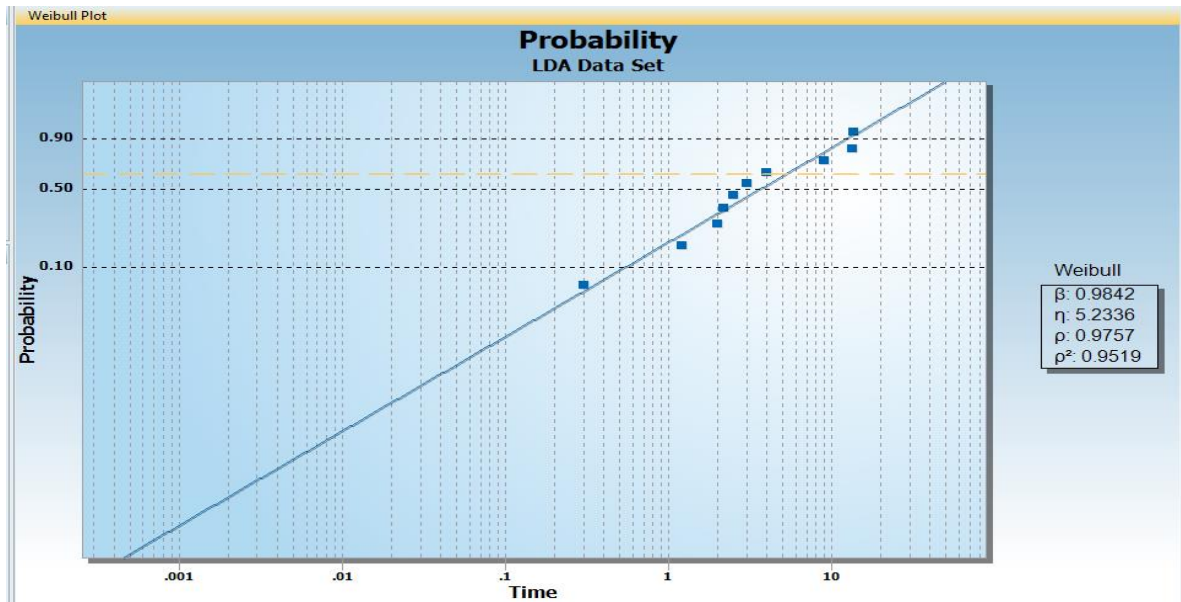
Anexo 14 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EGE001 Generador eléctrico portatil Sportsman GEN 10K.



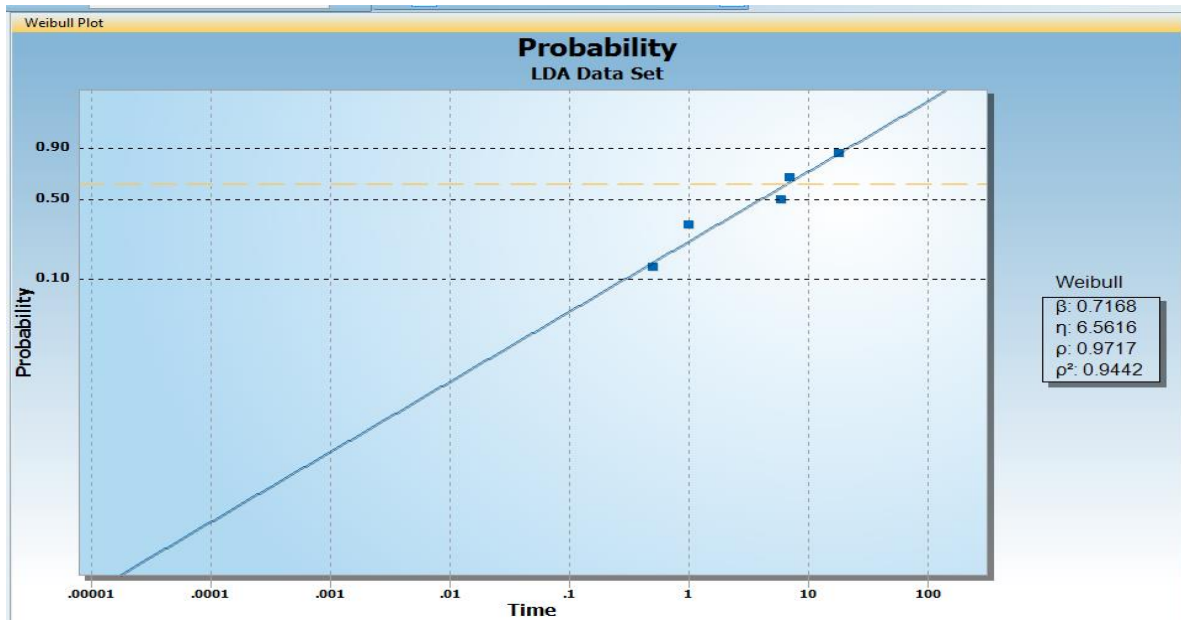
Anexo 15 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.



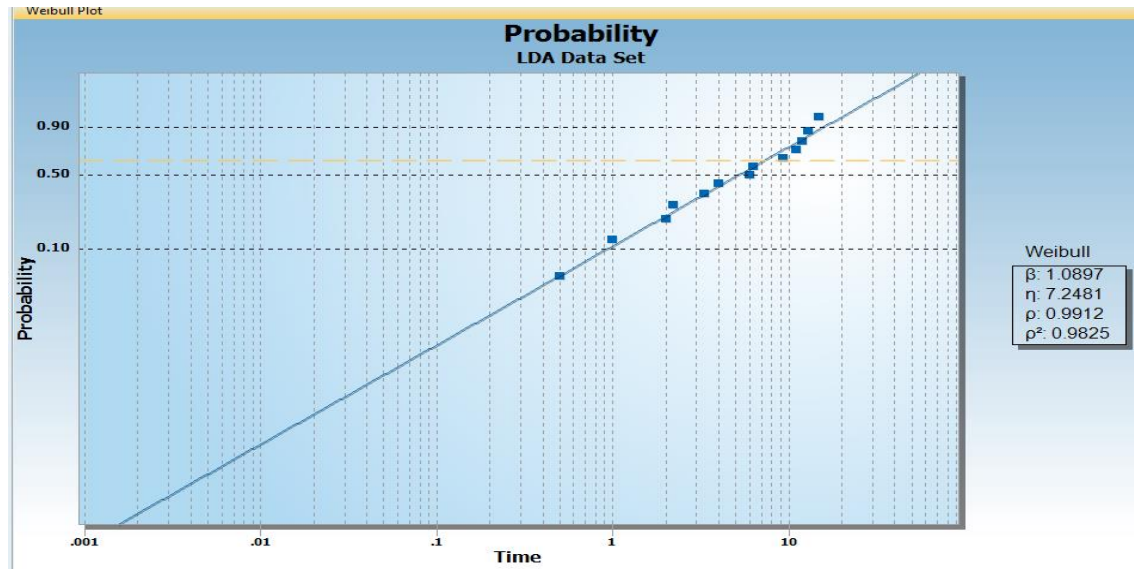
Anexo 16 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EMD001 Motor DEK F400S.



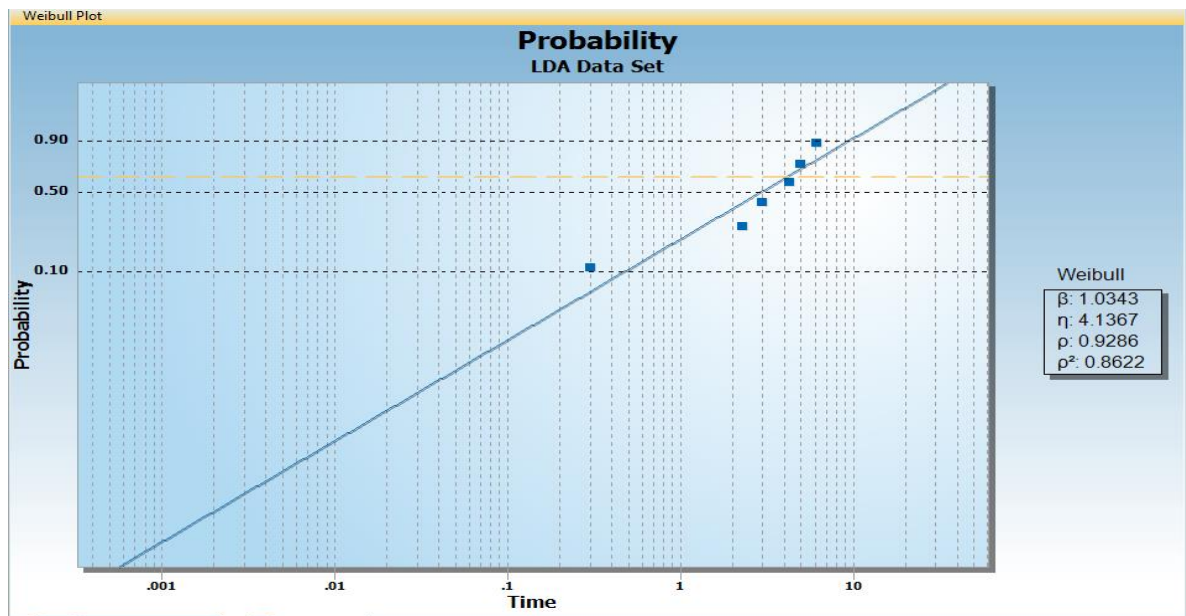
Anexo 17 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.



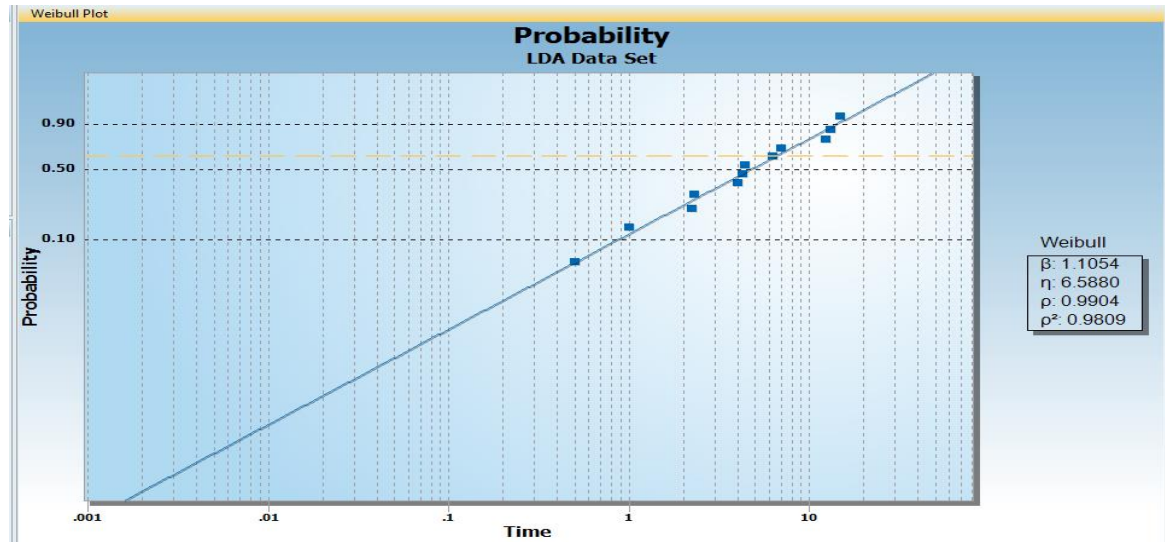
Anexo 18 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.



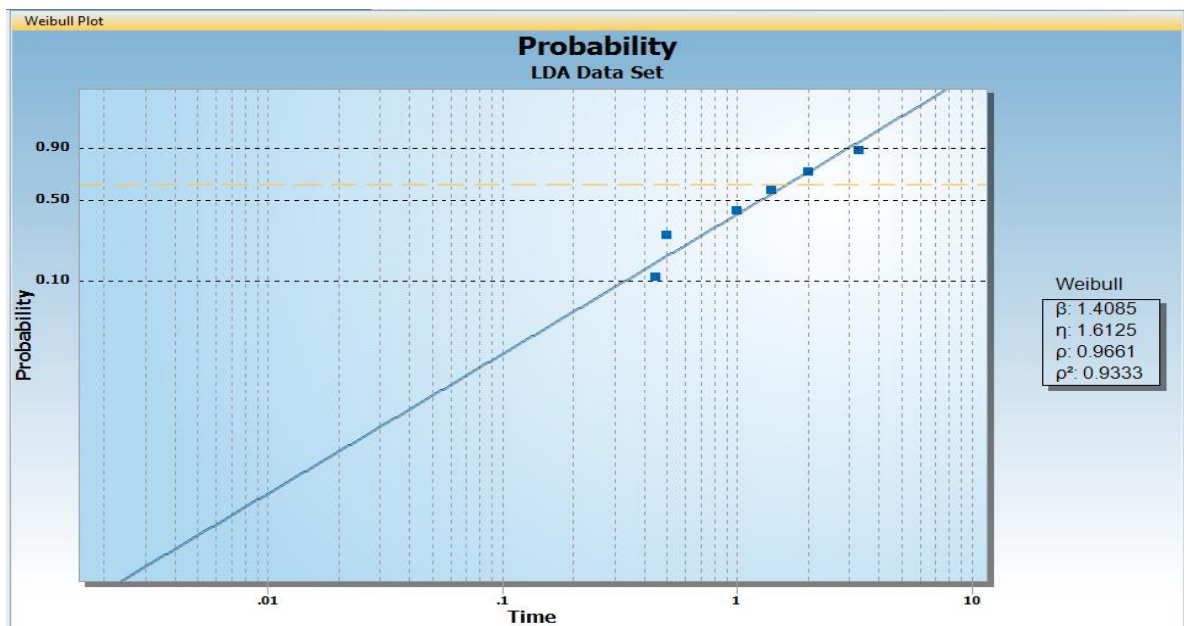
Anexo 19 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.



Anexo 20 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo ERB001 Winche Hydracore 2000.



Anexo 21 Simulación de Mantenibilidad mediante el método grafico de Weibull para el equipo ETC001 Panel de control Hydracore 2000.



Anexo 22. Hoja de información AMEF EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K.

Empresa: CONTRATANTE						
Departamento: DOP Operaciones						
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía						
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						
Sistema: GEN Equipo de generación eléctrica						
Subsistema: MEGUA 101 Generador eléctrico						
Componente: EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K						
Estándar de Función: Motor 4 tiempos ohv, arranque eléctrico, motor a gasolina 15 hp, parada automática de aceite baja, alarma de bajo nivel de aceite, salida de 4-120 volt a/c, 1-120/240 volt bloqueo giratorio de ac, 8 galones del tanque de combustible, tiempo de trabajo del motor: 8 horas @ 50% carga, 10,000 vatios/7,000 vatios de funcionamiento, 37.12 oz (1.1litro) capacidad de aceite, nivel de ruido del motor: < 77db, 420cc desplazamiento, aprobado por la EPA, (batería no incluida)						
SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA (F)		MODO DE FALLO (FF)		CAUSAS POTENCIALES DE FALLO (FM)	
Depósito de combustible	1	Almacenar el combustible para el funcionamiento del generador	A	Fuga de combustible	1	Sin combustible
					2	Mal mantenimiento
			B	Baja potencia	1	Sin combustible
			C	Golpeteo del motor	1	Motor está lleno de gasolina contaminada y/o vieja gasolina
Bujía	2	Suministrar la chispa de encendido necesaria para la combustión de la mezcla	A	No hay chispa	1	Bujía defectuosa o con desgaste
					1	Bujía está muy sucia
			C	Oscilaciones	1	Excesivo entrehierro
Cable de bujía	3	Transmitir la energía necesaria desde el distribuidor hasta la bujía de ignición	A	Circuito abierto	1	Cable corroído/sulfatado
					2	Cable de la bujía suelto
Nivel de aceite	4	Controla la cantidad necesaria de aceite	A	Fugas de aceite	1	Aceite del motor es insuficiente
					2	Nivel de aceite bajo
			B	Des calibración	1	Generador no está sobre una superficie nivelada
Anillos de lubricación	5	Lubrican el cilindro del motor	A	Mala combustión	1	Desgaste en los anillos de lubricación

Interruptor del motor	6	Desconectar la bobina de arranque una vez que el motor se aproxime a su velocidad de funcionamiento normal	A	El motor no arranca	1	Interruptor del motor está en "off"
			B	El generador funciona pero no hay salida eléctrica	1	Interruptor de circuito está apagado
Cables de alimentación	7	Conectar los dispositivos eléctricos a la red de suministro del generador	A	El generador funciona pero no admite todos los aparatos eléctricos conectados	1	El generador está sobrecargado
			B	El generador funciona pero no admite todos los aparatos eléctricos conectados	1	Ventilación insuficiente
Panel de energía	8	Panel de control en donde se localizan los indicadores y los controles del equipo	A	Carga no energizada	1	Cable incorrectamente conectado
					2	Conjunto de cepillo defectuoso
					3	Regulación de voltaje automática defectuosa
			B	Salida de fase sin energizar	1	Cortacircuito abierto
			C	Caída de tensión en la carga	1	Condensador defectuoso
Limitador del motor	9	Limitar las revoluciones generadas por el motor al impedir el paso de combustible	A	Oscilación en la tensión de la carga	1	Limitador del motor defectuoso
Filtro de aire	10	Purifica el aire de admisión	A	Restricción del aire	1	Filtro de aire está sucio

Filtro de combustible	11	Mantener limpio el sistema de alimentación del motor	A	Revolución del motor no es uniforme	1	Filtro de combustible taponado o sucio
					2	Filtro de combustible obstruido
Cilindros	12	Permiten el movimiento de los pistones	A	Baja compresión	1	Desgaste de cilindros
Anillos del pistón	13	Sellar la cámara de combustión/expansión	A	Mala combustión	1	Formación de hollín que obstruye las encías y los anillos del pistón

Anexo 23. Hoja de información AMEF EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.

Empresa: CONTRATANTE						
Departamento: DOP Operaciones						
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía						
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						
Sistema: CAG Captación de agua						
Subsistema: CAGGUA101 Captación de agua para proceso						
Componente: EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps						
Estándar de Función: Modelo l06, numero de pistones 3, configuración horizontal de triple pistón, longitud de la carrera 1.5", capacidad de carga 2800lb, peso de la bomba 175lb, sentido de giro: parte superior del eje hacia la cabeza, velocidad intermitente 500rpm, velocidad continua 350rpm,maximo grado de velocidad válvula de bolas 200rpm, velocidad mínima 100rpm, eficiencia mecánica 90%, sistema de lubricación: splash retorno por gravedad, aceite lubricante 2/4, tipo de aceite lubricante SAE 30, temperatura máxima de fluido 140 °F, temperatura mínima de fluido 0°F, estándar del tamaño de succión 1.5"npt, estándar de tamaño de descarga 1.25"npt, tipo de material acero dúctil, níquel, aluminio, bronce, tipo de válvula "válvula de disco"						
SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA (F)		MODO DE FALLO (FF)		CAUSAS POTENCIALES DE FALLO (FM)	
Tanque de suministro de aceite hidráulico	1	Garantizar que la bomba tenga siempre un amplio suministro de aceite	A	Conexiones desajustadas	1	Aire en el fluido
			B	Reducción de la vida de la válvula	1	Partículas altamente abrasivas en fluido
			C	Ruido	1	Bajo nivel de aceite en el extremo de alimentación
			D	No hay flujo en la bomba	1	No hay liquido en el depósito (tanque)
Válvula de entrada	2	Permitir la entrada de líquido a la bomba	A	No hay flujo en la bomba	1	Línea de la válvula de entrada cerrada
Filtro de entrada	3	Permitir la protección de componentes sensibles de la bomba	A	La bomba no toma el flujo completo de aceite	1	Filtro de entrada está totalmente tapado con escombros
			B	No hay flujo	1	Filtro de entrada está totalmente tapado con escombros
Correa de transmisión	4	Mover la transmisión	A	Ruido	1	Velocidad en la bomba es demasiado baja

			B	Sacudidas del cigüeñal o arranque y detención de la rotación	1	Correas de transmisión sueltas o con deslizamiento
Válvula de alivio	5	Liberar fluido cuando la presión interna supera el límite establecido	A	No hay flujo	1	Válvula de alivio mal ajustada o desgastada
Válvula de retención	6	Permitir el flujo en un solo sentido	A	No hay flujo	1	Válvulas de retención gastadas
Sellos	7	Impedir la entrada/salida de fluido de la bomba	A	Fugas	1	Fuga excesiva por los sellos de la bomba
Ductos de lubricación	8	Conducir el lubricante a las partes móviles de la bomba	A	Obstrucción de los pasajes de lubricación	1	Aceite contaminado
			B	Baja presión en la bomba	1	Desgaste del cojinete patín de deslizamiento
Cámaras de bombeo	9	Transferir el líquido a presión hacia el exterior de la bomba	A	Cavitación	1	Erosión del metal
Cilindros	10	Permiten el movimiento de los pistones	A	Cavitación	1	Choque hidráulico (cavitación o aire mezclado)
			B	La bomba no toma el flujo completo de aceite	1	Descarga de la bomba reducida
Pistones	11	Piezas que efectúan el movimiento alternativo que	A	Cavitación	1	Choque hidráulico debido a la cavitación

		transmiten la potencia	B	Fugas de producto	1	Sujeción incorrecta de la máquina a pistones axiales.
Impulsor	12	Forzar al líquido a salir en un plano determinado de acuerdo a su configuración geométrica	A	Cavitación	1	Formación de bolsas de gas en los puntos altos en la absorción
Línea de succión	13	Conducir el líquido en el momento de la succión	A	Fluctuación rápida en la presión de succión	1	Desgaste en las diferentes partes de la bomba
Tubo de aspiración	14	Dar continuidad al flujo de aspiración	A	Entrada de aire por el tubo de aspiración	1	Entrada de aire por el tubo de aspiración
Eje de la bomba	15	Guiar el movimiento rotacional de la bomba	A	No da caudal	1	Eje de la bomba roto
Rodamiento	16	Punto de apoyo del eje para guiarlo en su rotación	A	Juego en el eje	1	Rodamiento defectuoso

Anexo 24 Hoja de información AMEF EMD001 Motor DEK F400S.

Empresa: CONTRATANTE						
Departamento: DOP Operaciones						
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía						
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						
Sistema: CAG Captación de agua						
Subsistema: CAGGUA101 Captación de agua para proceso						
Componente: EMD001 Motor DEK F400S						
Estándar de Función: Motor Diésel de inyección directa DEK F400S, 1 cilindro, carrera 70 mm, 4 tiempos, desplazamiento 406 cc, potencia continua 7.7 HP/3000 rpm, potencia máxima 8.8 HP/3000 rpm, sentido de giro anti horario (visto desde el eje del motor), sistema de arranque YOYO retráctil, capacidad de tanque 5.5 L, capacidad de aceite 1.65 L., refrigerado por aire, consumo de combustible 201 g/hp.h, sistema de enfriamiento aire forzado, sistema de lastre centrifugo, tiempo de trabajo continuo 2.5 h, nivel de ruido 88 dB a 4 m, dimensiones: longitud 525 mm, ancho 470 mm, altura 565 mm, peso 56 Kg.						
SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA (F)		MODO DE FALLO (FF)		CAUSAS POTENCIALES DE FALLO (FM)	
Depósito de combustible	1	Almacenar el combustible del motor	A	Fuga de combustible	1	No hay combustible
			B	Parada de motor	1	Aire en el sistema de combustible
						2
Filtro de combustible	2	Mantener limpio el sistema de alimentación del motor	A	Restricción de aire	1	Filtro de combustible obstruido
			B	Revolución del motor no es uniforme	1	Filtro de combustible taponado o sucio
			C	No hay paso de combustible	1	Filtro de combustible taponado
Bomba de inyección	3	Inyectar combustible en los cilindros y aspirar gas-aceite del depósito de combustible	A	Ruido	1	Inyección mal sincronizada
			B	Agarrotamiento de inyectores	1	Mal funcionamiento bomba de inyección
			C	No hay combustión	1	Mal funcionamiento bomba de inyección
			D	Baja presión de combustible	1	Inyección mal sincronizada

			E	Se observan gases de escape ya sea negro gris oscuro	1	Sobrecarga
			F	Taponamiento	1	Inyección de combustible desigual
			G	Consumo excesivo de combustible	1	Sobrecarga de funcionamiento
			H	No hay suficiente combustible	1	Inyección mal sincronizada
			I	Ruido	1	Tapón de ventilación abierto en la bomba de inyección de combustible
			J	Desgaste en la bomba de inyección	1	Polvo y suciedad en el combustible
Cigüeñal	4	Transmite la potencia al eje	A	Desbalanceo	1	Atascamiento de cigüeñal
			B	Consumo excesivo aceite lubricante	1	Cojinete del cigüeñal, y pasador del cigüeñal usados
			C	Baja presión de aceite	1	Excesivo paso de aceite en el cojinete del cigüeñal
Árbol de levas	5	Convertir el movimiento rotacional en movimiento alternativo	A	Desbalanceo	1	Atascamiento o desgaste del árbol de levas
Pistón	6	Pieza que efectúa el movimiento alternativo que transmite la potencia	A	Motor no comprime	1	Atascamiento de pistones
Cilindro	7	Permitir el movimiento del pistón	A	Baja compresión	1	Desgaste de cilindros
			B	No hay compresión en la cámara de combustión	1	Fugas de compresión del cilindro
			C	Desgaste y rayas en los cilindros	1	Impurezas en el aceite del motor
Válvula	8	Controlar la admisión de la mezcla y la salida de los gases quemados	A	No hay combustión	1	Sincronización de válvulas incorrecta
Anillo de	9	Mantener la presión y	A	No hay	1	Anillos del pistón y

compresión		lubricar el pistón		compresión en la cámara de combustión		el cilindro desgastados
			B	Se observan gases de escape ya sea blanco o azul	1	Compresión deficiente
Gobernador	10	Controla la velocidad de giro del motor	A	Revoluciones no uniformes del motor	1	Mal funcionamiento del gobernador
Depósito de aceite	11	Almacenar el aceite del motor	A	Se observan gases de escape ya sea blanco o azul	1	Exceso de aceite del motor
Tobera de inyección	12	Inyectar una carga de combustible en la cámara de combustión de forma que pueda arder por completo	A	Agarrotamiento del inyector	1	Deficiente inyección en las toberas
			B	Desgaste en la tobera de inyección	1	Polvo y suciedad en el combustible
			C	Mala combustión	1	Salida incorrecta de presión de la tobera
			D	Baja temperatura del cilindro	1	Deficiente inyección en las toberas
Vástago de la válvula	13	Es la parte que se introduce en una guía para que pueda subir y bajar la válvula centrada en la culata	A	Falla de combustión	1	Vástago de la válvula y guía de la válvula roto
Sellos	14	Sellar uniones por las que se podrían fugar fluidos	A	No hay bombeo de aceite	1	Fugas de aceite, debido a los sellos o empaques defectuosos
Aceite lubricante	15	Enfriar las zonas calientes del motor y de las piezas en movimiento. Proteger las superficies internas del motor contra la corrosión	A	Agua mezclada en el aceite lubricante	1	Junta de la culata defectuosa
			B	Alta presión de aceite	1	Diferentes tipos de aceite
Filtro de aceite	16	Ayudar a limpiar el aceite de materias que contiene en suspensión	A	No hay bombeo de aceite	1	Filtro de aceite obstruido
			B	Fugas de aceite	1	Ajuste excesivo puede causar deformaciones en los sellos de goma
			C	Saturación del filtro	1	Falta de cambio del filtro

						regularmente
Conductos de aceite	17	Derivar el aceite a las piezas del motor	A	Taponamiento	1	Conducto de aceite atascado
Bomba de aceite	18	Proporcionar un flujo y presión constante de aceite limpio a todos los componentes que tienen fricción durante el funcionamiento del motor	A	Baja presión de aceite	1	La válvula de alivio de la bomba de aceite puede estar pegada, abierta o instalada al revés
					2	Tolerancias excesivas dentro de la bomba de aceite
Ventilador	19	Refrigerar el motor	A	Bajo flujo de aire	1	El ventilador no funciona bien

Anexo 25 Hoja de información AMEF ETA 001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.

Empresa: CONTRATANTE						
Departamento: DOP Operaciones						
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía						
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						
Sistema: PER Equipos operativos perforación						
Subsistema: LUBGUA101 Suministro hidráulico taladro de perforación						
Componente: ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico						
Estándar de Función: Capacidad 12.5 gal., temperatura de trabajo 120 a 150°F, temperatura máxima permitida 180°F.						
SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA (F)		MODO DE FALLO (FF)		CAUSAS POTENCIALES DE FALLO (FM)	
Depósito de aceite	1	Almacenar el aceite	A	Fuga de aceite	1	No hay aceite
					2	Rotura de la estructura del depósito
Tapa de llenado	2	Mantener los contaminantes fuera de la abertura usada para llenar y añadir aceite al tanque	A	Exceso de aire en el tanque	1	Pérdida de la tapa
Mirilla-Indicador	3	Permite revisar el nivel de aceite del tanque hidráulico	A	Sistema hidráulico no arranca	1	Indicador dañado, no se reconoce el nivel actual de aceite en el tanque
Tubería de suministro	4	Permitir que el aceite fluya del tanque al sistema	A	Taponamiento	1	Obstrucción de la tubería
Tubería de retorno	5	Permitir que el aceite fluya del sistema al tanque	A	Taponamiento	1	Obstrucción de la tubería
Drenaje	6	Permite sacar el aceite en la operación de cambio de aceite	A	Taponamiento	1	Partículas de mayor tamaño al drenaje lo están obstruyendo
Rejilla de llenado	7	Evitar que entren contaminantes grandes al tanque cuando se quita la tapa de llenado	A	Taponamiento en alguna parte del depósito de aceite	1	Rejilla dañada
Respiradero	8	Compensar por la expansión y contracción del	A	Elevación de la temperatura del aceite	1	Respiradero taponado

		aceite o el bombeo del mismo por el sistema hidráulico	B	Taponamiento en alguna parte del depósito de aceite	1	Rejilla dañada
			C	Taponamiento	1	Partículas de mayor tamaño al agujero del respiradero entraron en contacto con el mismo

Anexo 26. Hoja de información AMEF EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.

Empresa: CONTRATANTE							
Departamento: DOP Operaciones							
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía							
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)							
Sistema: PER Equipos operativos perforación							
Subsistema: SATGUA101 Actuadores taladro de perforación							
Componente: EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series							
Estándar de Función: Desplazamiento del motor de 4,9 in ³ /rv, 908 rpm, torque 2065 lb-in, extracción máxima 12.000 lb, empuje máximo 8.000 lb, peso 20,5 lb.							
SUBCOMPONENTE		FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA (F)		MODO DE FALLO (FF)		CAUSAS POTENCIALES DE FALLO (FM)	
Bomba		1	Transformar la energía mecánica con la que es accionada en energía del fluido incompresible que mueve	A	Dirección lenta, dirección dura, o pérdida de energía.	1	Desgaste o mal funcionamiento de la bomba
Divisor de flujo		2	Separar el caudal	A	Dirección lenta, dirección dura, o pérdida de energía.	1	El pistón del divisor de flujo está pegado
Compensador de la bomba		3	Controlar la presión de la bomba	A	Dirección lenta, dirección dura, o pérdida de energía.	1	El compensador de la bomba se encuentra desgastado y permite que la presión del sistema sea inferior a la especificada
Válvula de alivio		4	Liberar fluido cuando la presión interna supera el límite establecido	A	Dirección lenta, dirección dura, o pérdida de energía.	1	Mal funcionamiento de la válvula de alivio permite que la presión del sistema sea inferior a la especificada
Eje del motor		5	Guiar el movimiento rotacional del motor	A	Dirección lenta, dirección dura, o pérdida de	1	Sobrecarga en el eje de dirección

				energía.		
			B	Tendencia del motor a desviarse del rumbo a través de la operación	1	Aire en el sistema debido al bajo nivel de aceite
			C	Dirección no funciona	1	Columna superior del eje esta suelta o dañada
					2	El cuñero del eje puede estar roto
Acople del motor	6	Prolongar la línea de transmisión del eje del motor	A	Tendencia del motor a desviarse del rumbo a través de la operación	1	Conexión mecánica desgastada
					2	Flexión de la articulación o el cilindro de vástagos.
Cilindro	7	Permitir el movimiento del volante	A	Tendencia del motor a desviarse del rumbo a través de la operación	1	Pistón del cilindro suelto
			B	Desviación de la trayectoria del eje del motor	1	El cilindro del extremo del vástago se extiende lentamente sin girar el volante
			C	Dirección errática	1	Pistón del cilindro suelto
Unidad de dirección	8	Controlar la dirección hidráulica	A	Tendencia del motor a desviarse del rumbo a través de la operación	1	Desgaste severo en la unidad de control de dirección
			B	Movimiento lento de la dirección	1	Desgaste en la unidad de dirección
			C	Dirección errática	1	Daños por choque térmico
			D	Dirección suave	1	Aire atrapado en las líneas de conducción o en el

						cilindro de operación
					2	Bajo nivel de aceite hidráulico
			E	Dirección no funciona	1	No hay flujo de aceite
					2	Daños internos por choque térmico
			F	Dirección gira con una ligera resistencia	1	Junta del pistón está afuera
			G	Juego excesivo del volante	1	Acople entre el eje motriz y los engranes está fallando
			H	Unidad de dirección bloqueada	1	Energía hidráulica insuficiente
					2	Desgaste severo del pin
Varillaje de la dirección	9	Transmitir el movimiento de giro desde la caja de dirección a los brazos de la dirección	A	Desviación de la trayectoria del eje del motor	1	Varillaje de la dirección desgastado o dañado
Sellos y mangueras	10	Sellar uniones por las que se podrían fugar fluidos. Transportar el fluido hidráulico	A	Movimiento lento de la dirección	1	Fuga en los sellos del pistón o en las líneas hidráulicas conectadas al motor
Volante	11	Aportar al motor una inercia adicional de modo que permita almacenar energía cinética	A	Aumento del par del motor de una manera brusca	1	Choque térmico
			B	Juego excesivo del volante	1	Eje de la columna de dirección desgastado
			C	Volante descentrado	1	Desalineación de la columna de dirección o de la conexión estriada de entrada
2	Alta presión que ocasiona un lento retorno del fluido hidráulico					

Eje de dirección	12	Sostener parte de los elementos de la dirección	A	Dirección errática	1	Aire en el sistema debido al bajo nivel de aceite
Líneas de conducción	13	Conducir fluido hidráulico	A	Eje gira en sentido contrario al mando que dio el operador	1	Líneas de accionamiento del motor están mal conectadas
			B	Oscilación e inestabilidad del motor	1	Aire en las líneas de conducción

Anexo 27 Hoja de información AMEF EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.

Empresa: CONTRATANTE						
Departamento: DOP Operaciones						
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía						
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						
Sistema: PER Equipos operativos perforación						
Subsistema: SATGUA101 Actuadores taladro de perforación						
Componente: EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000						
Estándar de Función: Apertura y cierre hidráulico, empuje axial 12000 lb, capacidad máxima BO a HW, número de mordazas 2, tamaño máximo del vástago 4-1/2", peso 76 lb.						
SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA (F)		MODO DE FALLO (FF)		CAUSAS POTENCIALES DE FALLO (FM)	
Cilindro	1	Permitir el movimiento para la apertura y cierre de la abrazadera	A	Desgaste y rayas en los cilindros	1	Aceite contaminado, exposición a ambientes contaminantes
			B	El cilindro presenta una alta temperatura de operación	1	Fugas internas
Sellos	2	Sellar uniones por las que se podrían fugar fluidos	A	Fugas externas	1	Sellos presentan desgaste por la apertura continua del foot clamp
Vástago	3	Es la parte que se introduce en una guía para que pueda subir y bajar la válvula	A	Foot clamp no cierra correctamente	1	Vástago de la válvula y guía de la válvula roto
Cojinete	4	Soporta y gira el eje de la abrazadera	A	Foot clamp no cierra correctamente	1	Juego en el cojinete, mal instalación
					2	Cojinete descentrado
Mangueras	5	Transportar el fluido hidráulico	A	Fugas externas	1	Mala instalación

Anexo 28 Hoja de información AMEF ERB001 Winche Hydracore 2000.

Empresa: CONTRATANTE						
Departamento: DOP Operaciones						
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía						
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						
Sistema: PER Equipos operativos perforación						
Subsistema: SATGUA101 Actuadores taladro de perforación						
Componente: ERB001 Winche Hydracore 2000						
Estándar de Función: Winche operado por una válvula de cuatro vías cuatro posiciones 4/4, capacidad 900 ft de cable, calibre del cable 3/16", discos estacionarios que rodean el cable, tambor de aluminio.						
SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA (F)		MODO DE FALLO (FF)		CAUSAS POTENCIALES DE FALLO (FM)	
Freno	1	Detener o reducir la velocidad de rotación del winche	A	Cable de operación no se desenrolla	1	El freno no se libera porque no está recibiendo la señal de piloto
					2	El freno se está trabando mecánicamente
			B	El winche no levanta la carga, para el caso la broca de perforación	1	El freno no se libera
			C	Hay pérdida de aceite hidráulico de la caja de freno, motor o apoyo de extremo	1	Falló el sellado frontal del eje del motor hidráulico
Sistema hidráulico asociado al winche	2	Transmitir presión hidráulica al winche	A	Cable de operación no se desenrolla	1	El sistema hidráulico no acumula suficiente presión para liberar el freno
Tren de engranajes	3	Transmitir potencia y movimiento en el equipo	A	Cable de operación no se desenrolla	1	El tren de engranajes se está trabando mecánicamente.
Motor hidráulico	4	Convertir presión hidráulica y flujo en un par de torsión y un desplazamiento angular, es decir,	A	El winche no levanta la carga, para el caso la broca de perforación	1	La presión del sistema hidráulico no es adecuada para activar la carga, o la contrapresión es demasiado alta

		en una rotación o giro	B	Hay pérdida de aceite hidráulico de la caja de freno, motor o apoyo de extremo	1	Falló el sellado frontal del eje del motor hidráulico
Estructura: Tambor, tornillos	5	Soportar cargas y elementos del equipo	A	El winche no levanta la carga, para el caso la broca de perforación	1	El malacate se está trabando mecánicamente

Anexo 29 Hoja de información AMEF ETC001 Panel de control Hydracore 2000.

Empresa: CONTRATANTE						
Departamento: DOP Operaciones						
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía						
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)						
Sistema: PER Equipos operativos perforación						
Subsistema: SCLGUA101 Control taladro de perforación						
Componente: ETC001 Panel de control Hydracore 2000						
Estándar de Función: Control de bloqueo, niveles de velocidad para la bomba de agua, control de desplazamiento, control de motor de rotación, nivel y posición del winche, peso 220 lb.						
SUBCOMPONENTE	FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA (F)		MODO DE FALLO (FF)		CAUSAS POTENCIALES DE FALLO (FM)	
Válvulas de regulación y control	1	Variar el caudal del fluido de control que modifica y a su vez el valor de la variable de medida	A	Error en la transmisión de la señal	1	Falta de comunicación de la señal
					2	Avería interna
					3	Desconexión eléctrica
					4	Sobrepresión
			B	Falta de estanqueidad	1	Fallo de la junta de estanqueidad por corrosión interna
			C	Falla de operación	1	Rotura de la válvula
					2	Bloqueo de la válvula
Válvulas de seguridad	2	Liberar fluido cuando la presión interna del sistema supera el límite establecido	A	Explosión	1	Bloqueo o apertura descontrolada
			B	Escape	1	Bloqueo o apertura descontrolada
Válvulas anti retorno	3	Permitir la circulación de fluido en un sentido y cerrar el paso del fluido en sentido contrario	A	Inversión de flujo	1	Válvulas anti retorno como insuficiente sistema de seguridad
Problema de operario	4	Operar correctamente el equipo	A	Accidente laboral, accidente con el equipo	1	Falta de capacitación y conocimiento del uso de los

						controles
Palancas o mandos	5	Controlar movimientos o funciones del equipo	A	Falta de control específico	1	Rotura de la palanca o mando
Indicadores de presión	6	Indicar presión determinada en el punto donde se encuentre instalado	A	Sobrepresión	1	El indicador no funciona y es imposible detectar la elevación de presión
			B	Falta de presión	1	El indicador no funciona y se dificulta detectar la falta de presión
Conexión de energía principal	7	Conectar el equipo a la energía eléctrica necesaria para su normal funcionamiento	A	No responde el control de ningún sistema	1	Rotura de la toma o del cable
					2	Falta de potencia del generador

Anexo 30 Hoja de decisión AMEF EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K.

Empresa: CONTRATANTE							Autor: Andrea Paola González; Daniel Bohorquez						Fecha:			Hoja No. 2		
Departamento: DOP Operaciones							Auditor									de 9		
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía																		
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)																		
Sistema: GEN Equipo de generación eléctrica																		
Subsistema: MEGUA 101 Generador eléctrico																		
Componente: EGE 001 Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K																		
REFERENCIA DE INFORMACION			Evaluación de consecuencias				H 1	H 2	H 3	Acción a falta de			Tarea propuesta	Intervalo inicial (horas)	A realizarse por			
F	FF	FM	H	S	E	O	S 1	S 2	S 3	H4	H5	S4						
							O 1	O 2	O 3									
Depósito de combustible																		
1	A	1	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	Agregar combustible	Diario	Operario			
1	A	2	S	S	S	S	N	S	N	N	N	N	Revisar/Ajustar correctamente la línea de combustible	50 horas	Mecánico			
1	B	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Llenar el deposito	Diario	Operario			
1	C	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Drenar la gasolina del motor y agregar gasolina nueva	Diario	Operario			
Bujía																		
2	A	1	N	N	N	S	S	N	S	N	N	N	Verificar estado de la bujía	100 horas	Mecánico			
2	B	1	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Limpiar o cambiar la bujía	100 horas	Mecánico			
2	C	1	N	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Limpiar o cambiar la bujía	100 horas	Mecánico			
Cable de bujía																		
3	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Revisar la conexión del cable de la bujía	100 horas	Mecánico			
3	A	2	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Revisar la conexión del cable de la bujía	100 horas	Mecánico			

12	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar desgaste de los cilindros	1200 horas	Mecánico
Anillos del pistón															
13	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado y desgaste de los anillos	1200 horas	Mecánico

Anexo 31 Hoja de decisión AMEF EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps.

Empresa: CONTRATANTE							Autor: Andrea Paola González; Daniel Bohorquez						Fecha:			Hoja No. 3	
Departamento: DOP Operaciones							Auditor									de 9	
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía																	
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)																	
Sistema: CAG Captación de agua																	
Subsistema: CAGGUA101 Captación de agua para proceso																	
Componente: EBA102 Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps																	
REFERENCIA DE INFORMACION			Evaluación de consecuencias				H 1	H 2	H 3	Acción a falta de			Tarea propuesta	Intervalo inicial (horas)	A realizarse por		
F	FF	FM	H	S	E	O	S 1	S 2	S 3	H4	H5	S4					
							O 1	O 2	O 3								
Tanque de suministro de aceite hidráulico																	
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Purgar aire del sistema	100 horas	Mecánico		
1	B	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Instalar un tamiz o filtro	Oportunidad de mejora	Ingeniero		
1	C	1	S	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Llenar hasta el nivel adecuado	Diario	Operario		
1	D	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar que las líneas de flujo están conectadas y llenar el tanque	Diario	Operario		
Válvula de entrada																	
2	A	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar que las líneas están conectadas y abrir la válvula	Diario	Operario		
Filtro de entrada																	
3	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Revisar los filtros de la línea de succión	100 horas	Mecánico		
3	B	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Limpiar o cambiar filtro	100 horas para limpiar/1000 horas para cambio	Mecánico		
Correa de transmisión																	
4	A	1	S	N	S	S	N	S	N	N	N	N	Revisar la tensión de la correa y la potencia del motor	100 horas	Mecánico		

4	B	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Ajustar y tensionar la correa correctamente	100 horas	Mecánico
Válvula de alivio															
5	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar la respuesta de la válvula	4000 horas	Mecánico
Válvula de retención															
6	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar la respuesta de la válvula	4000 horas	Mecánico
Sellos															
7	A	1	S	S	S	S	N	S	N	N	N	N	Alinear la unidad y comprobar las condiciones de los sellos	8000 horas	Mecánico
Ductos de lubricación															
8	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Cambiar el aceite	4000 horas	Mecánico
8	B	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Cambiar el aceite	4000 horas	Mecánico
Cámaras de bombeo															
9	A	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Aumentar el tamaño de succión o NPSH	Oportunidad de mejora	Ingeniero
Cilindros															
10	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar el funcionamiento del sistema de tuberías	100 horas	Mecánico
10	B	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Revisar los filtros de la línea de succión	100 horas	Mecánico
Pistones															
11	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar desgaste de los pistones	4000 horas	Mecánico
11	B	1	S	S	S	S	S	N	N	N	N	N	Verificar la sujeción de la maquina a pistones axiales de acuerdo a las especificaciones del fabricante de la maquina o instalación. Tener en cuenta torques de apriete	4000 horas	Mecánico
Impulsor															
12	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Revisar el estado del impulsor	8000 horas	Mecánico
Línea de succión															
13	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar desgaste en la instalación de la línea de succión	100 horas	Mecánico
Tubo de aspiración															
14	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar la conexión al racor y comprobar la estanqueidad del circuito	100 horas	Mecánico
Eje de la bomba															
15	A	1	S	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Realizar análisis de vibraciones	4000 horas	Ingeniero especialista
Rodamiento															
16	A	1	N	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Realizar análisis de vibraciones	4000 horas	Ingeniero especialista

Anexo 32. Hoja de decisión AMEF EMD001 Motor DEK F400S.

Empresa: CONTRATANTE							Autor: Andrea Paola González; Daniel Bohorquez						Fecha:			Hoja No. 4		
Departamento: DOP Operaciones							Auditor									de 9		
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía																		
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)																		
Sistema: CAG Captación de agua																		
Subsistema: CAGGUA101 Captación de agua para proceso																		
Componente: EMD001 Motor DEK F400S																		
REFERENCIA DE INFORMACION			Evaluación de consecuencias				H 1	H 2	H 3	Acción a falta de			Tarea propuesta	Intervalo inicial (horas)	A realizarse por			
F	FF	FM	H	S	E	O	S 1	S 2	S 3	O 1	O 2	O 3				H 4	H5	S4
Depósito de combustible																		
1	A	1	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Verificar el nivel de combustible	Diario	Operario
1	B	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Purga del aire	100 horas	Mecánico
1	B	2	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Reparar o cambiar sistema de combustible	100 horas	Mecánico
Filtro de combustible																		
2	A	1	N	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Limpiar o cambiar	500 horas para limpieza - 1000 horas para cambio	Mecánico
2	B	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Limpiar o cambiar	500 horas para limpieza - 1000 horas para cambio	Mecánico
2	C	1	N	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Limpiar o cambiar	500 horas para limpieza - 1000 horas para cambio	Mecánico
Bomba de inyección																		
3	A	1	S	N	S	S	N	S	N	N	N	N	N	N	N	Comprobar funcionamiento de la bomba	500 horas	Mecánico
3	B	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	Comprobar estado de los	500 horas	Mecánico

														inyectores		
3	C	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Comprobar funcionamiento de la bomba	500 horas	Mecánico
3	D	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	Comprobar funcionamiento de la bomba	500 horas	Mecánico
3	E	1	S	N	S	S	N	N	N	N	N	N	N	Mantener carga de trabajo constante	Diario	Operario
3	F	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Comprobar funcionamiento de la bomba	500 horas	Mecánico
3	G	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	Mantener carga de trabajo constante	Diario	Operario
3	H	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	Comprobar funcionamiento de la bomba	500 horas	Mecánico
3	I	1	S	N	S	S	N	N	N	N	N	N	N	Mantener siempre el tapón de ventilación de aire cerrada en la bomba de inyección de combustible, excepto cuando está saliendo el aire	Diario	Operario
3	J	1	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	N	Inspeccionar y limpiar el depósito de combustible periódicamente	500 horas	Mecánico
Cigüeñal																
4	A	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	Capacitar al personal continuamente en el correcto procedimiento de montaje del cigüeñal	Oportunidad de mejora	Ingeniero
4	B	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Verificar estado del cojinete del cigüeñal	3000 horas	Mecánico
4	C	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Verificar estado del cojinete del cigüeñal	3000 horas	Mecánico
Árbol de levas																
5	A	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	Capacitar al personal continuamente en el correcto procedimiento de montaje del árbol de levas	Oportunidad de mejora	Ingeniero
Pistón																
6	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Verificar desgaste del pistón	3000 horas	Mecánico
Cilindro																
7	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Verificar desgaste de los cilindros	3000 horas	Mecánico

7	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Reemplazar la junta de la culata, apretar el tornillo de la culata, bujía y porta tobera	3000 horas	Mecánico
7	C	1	N	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Realizar análisis predictivo del aceite	250 horas	Ingeniero especialista
Válvula															
8	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Realizar calibración correcta de la válvula	500 horas	Mecánico
Anillo de compresión															
9	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar desgaste de anillos de compresión	1000 horas	Mecánico
9	B	1	S	N	S	S	N	S	N	N	N	N	Ajustar el juego de la parte superior	500 horas	Mecánico
Gobernador															
10	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar y regular gobernador	100 horas	Mecánico
Depósito de aceite															
11	A	1	S	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Reducir hasta el nivel especificado	Diario	Operario
Tobera de inyección															
12	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Comprobar estado de los inyectores	500 horas	Mecánico
12	B	1	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	Inspeccionar y limpiar el depósito de combustible periódicamente	500 horas	Mecánico
12	C	1	N	N	S	S	N	S	N	N	N	N	Comprobar funcionamiento de la bomba	500 horas	Mecánico
12	D	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Comprobar estado de la tobera	500 horas	Mecánico
Vástago de la válvula															
13	A	1	N	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Realizar análisis predictivo del aceite	250 horas	Ingeniero especialista
Sellos															
14	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Reemplazar	3000 horas	Mecánico
Aceite lubricante															
15	A	1	S	N	S	S	N	N	S	N	N	N	Reemplazar	100 horas	Mecánico
15	B	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Usar el tipo de aceite especificado	Oportunidad de mejora	Ingeniero
Filtro de aceite															
16	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Limpiar/Cambiar	100 horas para limpiar - 500	Mecánico

															horas para cambio	
16	B	1	S	S	S	S	N	S	N	N	N	N	Limpiar/Cambiar	100 horas para limpiar - 500 horas para cambio	Mecánico	
16	C	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Reemplazar	500 horas	Mecánico	
Conductos de aceite																
17	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Limpiar	100 horas	Mecánico	
Bomba de aceite																
18	A	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar pérdida de presión en el motor	1000 horas	Mecánico	
18	A	2	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar pérdida de presión en el motor	1000 horas	Mecánico	
Ventilador																
19	A	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar funcionamiento del ventilador	500 horas	Mecánico	

Anexo 33 Hoja de decisión AMEF ETA 001 Tanque de suministro de aceite hidráulico.

Empresa: CONTRATANTE										Autor: Andrea Paola González; Daniel Bohorquez					Fecha:	Hoja No. 5
Departamento: DOP Operaciones										Auditor						de 9
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía																
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)																
Sistema: PER Equipos operativos perforación																
Subsistema: LUBGUA101 Suministro hidráulico taladro de perforación																
Componente: ETA001 Tanque de suministro de aceite hidráulico																
REFERENCIA DE INFORMACION			Evaluación de consecuencias				H 1	H 2	H 3	Acción a falta de			Tarea propuesta	Intervalo inicial (horas)	A realizarse por	
F	FF	FM	H	S	E	O	O 1	O 2	O 3	H4	H5	S4				
							N 1	N 2	N 3							
Depósito de aceite																
1	A	1	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	Llenar de aceite	Diario	Operario	

1	A	2	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	Verificar la condición de la estructura	250 horas	Mecánico
Tapa de llenado															
2	A	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar que la tapa se encuentre en el tanque	Diario	Mecánico
Mirilla-Indicador															
3	A	1	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Verificar y calibrar el instrumento de medición	500 horas	Mecánico
Tubería de suministro															
4	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Limpiar	500 horas	Mecánico
Tubería de retorno															
5	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Limpiar	500 horas	Mecánico
Drenaje															
6	A	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Evitar que el drenaje sea taponado, verificar que no haya partículas ajenas en el drenaje	100 horas	Mecánico
Rejilla de llenado															
7	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Limpiar la rejilla de llenado	100 horas	Mecánico
Respiradero															
8	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Limpiar el respiradero	100 horas	Mecánico
8	B	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Limpiar la rejilla del respiradero	Diario	Operario
8	C	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar que no haya partículas que taponan el agujero del respiradero	Diario	Operario

Anexo 34 Hoja de decisión AMEF EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series.

Empresa: CONTRATANTE							Autor: Andrea Paola González; Daniel Bohorquez						Fecha:	Hoja No. 6	
Departamento: DOP Operaciones							Auditor							de 9	
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía															
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)															
Sistema: PER Equipos operativos perforación															
Subsistema: SATGUA101 Actuadores taladro de perforación															
Componente: EMR001 Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series															
REFERENCIA DE INFORMACION			Evaluación de consecuencias				H 1	H 2	H 3	Acción a falta de			Tarea propuesta	Intervalo inicial (horas)	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	S 1	S 2	S 3	H4	H5	S4			
							O 1	O 2	O 3						
Bomba															
1	A	1	S	N	N	S	S	S	N	N	N	N	Realizar pruebas de presión y trabajo de la bomba	500 horas	Mecánico
Divisor de flujo															
2	A	1	S	N	N	S	S	S	N	N	N	N	Realizar pruebas de funcionamiento del divisor de flujo	500 horas	Mecánico
Compensador de la bomba															
3	A	1	S	N	N	S	S	S	N	N	N	N	Realizar pruebas de funcionamiento del compensador y la bomba	500 horas	Mecánico
Válvula de alivio															
4	A	1	S	N	N	S	S	S	N	N	N	N	Realizar pruebas de funcionamiento	500 horas	Mecánico
Eje del motor															
5	A	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Reducir carga	Diario	Operario
5	B	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Corregir condición y adicionar fluido	Diario	Operario

5	C	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar que la dirección funciona normalmente de ser necesario apretar la tuerca del volante	Diario	Operario
5	C	2	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Verificar que el cuñero se encuentre en buen estado	500 horas	Mecánico
Acople del motor															
6	A	1	S	N	N	S	S	S	N	N	N	N	Verificar desgaste del acople, llevar control	3000 horas	Mecánico
6	A	2	S	N	N	S	S	S	N	N	N	N	Verificar desgaste del acople, llevar control	3000 horas	Mecánico
Cilindro															
7	A	1	S	N	N	S	S	S	N	N	N	N	Verificar funcionamiento del cilindro	500 horas	Mecánico
7	B	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Corregir la dirección del vástago	Diario	Mecánico
7	C	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar funcionamiento del cilindro	500 horas	Mecánico
Unidad de dirección															
8	A	1	S	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Realizar termografía de inspección al equipo	3000 horas	Ingeniero especialista
8	B	1	S	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Realizar termografía de inspección al equipo	3000 horas	Ingeniero especialista
8	C	1	S	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Realizar termografía de inspección al equipo	3000 horas	Ingeniero especialista
8	D	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Comprobar y purgar el aire del sistema	Diario	Operario
8	D	2	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Adicionar fluido y comprobar que no hay fugas	Diario	Operario
8	E	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar el buen estado del tubo	500 horas	Mecánico
8	E	2	S	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Realizar termografía de inspección al equipo	3000 horas	Ingeniero especialista
8	F	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar que la junta este en el lugar que corresponde	500 horas	Mecánico
8	G	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Compruebe si los cojinetes están sueltos y los puntos de anclaje de la dirección entre el cilindro y las ruedas directrices	3000 horas	Mecánico
8	H	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Chequear la unidad de alimentación	Diario	Operario
8	H	2	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar el desgaste del pin	500 horas	Mecánico
Varillaje de la dirección															
9	A	1	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Verificar el desgaste del varillaje	100 horas	Mecánico
Sellos y mangueras															
10	A	1	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Revisar sellos y mangueras del motor	100 horas	Mecánico
Volante															

11	A	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Revisar la temperatura de operación del motor	Diario	Mecánico
11	B	1	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Verificar desgaste del eje	100 horas	Mecánico
11	C	1	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Verificar alineación de la columna	3000 horas	Mecánico
11	C	2	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Revisar la línea de retorno	500 horas	Mecánico
Eje de dirección															
12	A	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Corregir condición y adicionar fluido	Diario	Operario
Líneas de conducción															
13	A	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar y reconectar líneas correctamente de ser necesario	Diario	Operario
13	B	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Comprobar entrada de la bomba. Purgar las líneas de detección	Diario	Operario

Anexo 35 Hoja de decisión AMEF EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000.

Empresa: CONTRATANTE							Autor: Andrea Paola González; Daniel Bohorquez						Fecha:		Hoja No. 7	
Departamento: DOP Operaciones							Auditor								de 9	
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía																
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)																
Sistema: PER Equipos operativos perforación																
Subsistema: SATGUA101 Actuadores taladro de perforación																
Componente: EFC001 Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000																
REFERENCIA DE INFORMACION			Evaluación de consecuencias				H	H	H	Acción a falta de			Tarea propuesta	Intervalo inicial (horas)	A realizarse por	
							1	2	3							
F	FF	FM	H	S	E	O	S	S	S	H4	H5	S4				
							O	O	O							
							1	2	3							
							N	N	N							
							1	2	3							
Cilindro																
1	A	1	S	N	N	S	S	S	S	N	N	N	Verificar condición del cilindro, reparar y/o cambiar	500 horas	Mecánico	
1	B	1	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	Realizar pruebas de presión interna, y corregir fugas detectadas	1000 horas	Mecánico	
Sellos																
2	A	1	S	S	S	S	S	S	N	N	N	N	Verificar el desgaste promedio de los sellos	500 horas	Mecánico	
Vástago																
3	A	1	S	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Realizar inspección visual del vástago de la válvula	100 horas	Mecánico	
Cojinete																
4	A	1	S	S	N	S	N	S	N	N	N	N	Verificar montaje del cojinete, corregir falla	1000 horas	Mecánico	
4	A	2	S	S	N	S	N	S	N	N	N	N	Verificar instalación, corregir montaje	1000 horas	Mecánico	
Mangueras																
5	A	1	S	S	S	S	S	S	N	N	N	N	Verificar funcionamiento de las mangueras y corregir fugas	100 horas	Mecánico	

Anexo 36. Hoja de decisión AMEF ERB001 Winche Hydracore 2000.

Empresa: CONTRATANTE							Autor: Andrea Paola González; Daniel Bohorquez						Fecha:			Hoja No. 8	
Departamento: DOP Operaciones							Auditor									de 9	
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía																	
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)																	
Sistema: PER Equipos operativos perforación																	
Subsistema: SATGUA101 Actuadores taladro de perforación																	
Componente: ERB001 Winche Hydracore 2000																	
REFERENCIA DE INFORMACION			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea propuesta	Intervalo inicial (horas)	A realizarse por		
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4					
							O1	O2	O3								
							N1	N2	N3								
Freno																	
1	A	1	S	S	N	S	N	S	N	S	N	S	Controlar la presión en el puerto de la válvula de freno. Con el sistema hidráulico en funcionamiento, la presión en el puerto será aproximadamente igual a la presión del sistema. El freno está totalmente abierto en determinada presión. Si la presión en el puerto no es	1000 horas	Mecánico		

														correcta, reemplace la válvula de freno		
1	A	2	S	S	N	S	N	N	N	N	N	N	N	Si la presión es correcta y el freno no se libera, éste podría estar mecánicamente trabado. Esto requiere el desmontaje del extremo del motor para corregir el problema	500 horas	Mecánico
1	B	1	S	S	N	S	N	S	N	S	N	S	S	Controlar la presión en el puerto de la válvula de freno. Con el sistema hidráulico en funcionamiento, la presión en el puerto será aproximadamente igual a la presión del sistema. El freno está totalmente abierto en determinada presión. Si la presión en el puerto no es correcta, reemplace la válvula de freno	1000 horas	Mecánico

1	C	1	S	S	S	S	N	S	N	S	N	S	* Verificar el sellado frontal del eje del motor * Inspeccionar los sellos del freno * Si se observan fugas drenar el aceite y volver a llenar. Controlar el apoyo del extremo para asegurarse de que no haya más pérdidas.	500 horas	Mecánico
Sistema hidráulico asociado al winche															
2	A	1	S	S	N	S	N	N	N	N	N	N	La válvula de alivio, ubicada en la válvula de control del sistema, está demasiado baja, o se trabó y quedó abierta. O, ha fallado la bomba hidráulica. Revisar y corregir	500 horas	Mecánico
Tren de engranajes															
3	A	1	S	S	N	S	S	S	N	N	N	N	Desmante del winche para verificar que los engranes presenten una buena condición de funcionamiento	3000 horas	Mecánico
Motor hidráulico															

4	A	1	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Controlar la presión instalando manómetros en cada uno de los lados del motor del winche. Comparar la diferencia que muestran los manómetros con la información del rendimiento del winche	Oportunidad de mejora	Ingeniero
4	B	1	S	S	S	S	N	S	N	S	N	S	* Verificar el sellado frontal del eje del motor * Inspeccionar los sellos del freno * Si se observan fugas drenar el aceite y volver a llenar. Controlar el apoyo del extremo para asegurarse de que no haya más pérdidas.	500 horas	Mecánico
Estructura: Tambor, tornillos															
5	A	1	S	S	N	S	N	S	N	S	N	S	* Verificar y asegurar de que el Winche está montado sobre una superficie plana y rígida. * Aflojar, pero no quitar los tornillos de cabeza que unen las correas de soporte (o ángulos de base	1000 horas	Mecánico

Anexo 37 Hoja de decisión AMEF ETC001 Panel de control Hydracore 2000.

Empresa: CONTRATANTE							Autor: Andrea Paola González; Daniel Bohorquez			Fecha:			Hoja No. 9		
Departamento: DOP Operaciones							Auditor						de 9		
Plataforma: PGA Guadalupe Antioquía															
Nombre del equipo: Taladro de perforación minera (Hydracore drills, Gopher Manportable Drill)															
Sistema: PER Equipos operativos perforación															
Subsistema: SCLGUA101 Control taladro de perforación															
Componente: ETC001 Panel de control Hydracore 2000															
REFERENCIA DE INFORMACION			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea propuesta	Intervalo inicial (horas)	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
							N1	N2	N3						
Válvulas de regulación y control															
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar conexiones y reparar	300 horas	Mecánico
1	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Probar válvula y/o cambiar	300 horas	Mecánico
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar conexiones y cables de las válvulas	300 horas	Mecánico
1	A	4	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar presión	300 horas	Mecánico
1	B	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar presión en las válvulas de regulación y control	300 horas	Mecánico
1	C	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar presión en las válvulas de regulación y control	300 horas	Mecánico
1	C	2	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar presión en las válvulas de regulación y	300 horas	Mecánico

														control		
Válvulas de seguridad																
2	A	1	S	S	S	S	S	N	S	N	N	N	Verificar presión y/o cambiar válvula	300 horas	Mecánico	
2	B	1	S	S	S	S	S	N	S	N	N	N	Verificar presión y/o cambiar válvula	300 horas	Mecánico	
Válvulas anti retorno																
3	A	1	S	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Realizar verificación del circuito de control, rediseñar si es necesario	Oportunidad de mejora	Ingeniero	
Problema de operario																
4	A	1	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	Capacitación y revisión de procedimientos	Oportunidad de mejora	Ingeniero	
Palancas o mandos																
5	A	1	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar el estado de las palancas	300 horas	Mecánico	
Indicadores de presión																
6	A	1	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar funcionamiento y calibrar los indicadores	2000 horas	Mecánico	
6	B	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar funcionamiento y calibrar los indicadores	2000 horas	Mecánico	
Conexión de energía principal																
7	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar el estado de las conexiones	100 horas	Mecánico	
7	A	2	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar el estado de las conexiones	100 horas	Mecánico	

Anexo 38 Formato Check List EMK Motor Kubota V1505-T.

		EQUIPO	EMK Motor Kubota V1505-T	FORMATO	
		Fecha:		CHECK LIST	
N°	ELEMENTOS A INSPECCIONAR	ACCIÓN A REALIZAR		CONDICIÓN	
				BUENO	MALO
1	CARTER DE MOTOR	Chequear el nivel de aceite			
2	RADIADOR	Comprobar el nivel de refrigerante y aspas del radiador			
3	RADIADOR	Limpiar el panel frontal del radiador que esté libre de insectos y suciedades.			
4	TANQUE DE COMBUSTIBLE	Verificar el nivel de combustible en el deposito			
5	BATERÍA	Verificar la carga de la batería			
6	FILTRO DE ACEITE	Limpiar el filtro de aceite			
7	FILTRO DE COMBUSTIBLE	Revisar que el filtro no presente fugas, ni suciedad excesiva.			
8	BOMBA DE INYECCION	Mantener carga de trabajo de la bomba de inyección constante			
9	TAPON DE VENTILACION	Mantener siempre el tapón de ventilación de aire cerrado en la bomba de inyección de combustible, excepto cuando está saliendo el aire			
10	TUBERIA DE COMBUSTIBLE	Revisar la tubería de combustible y abrazaderas			
11	PARTES EN GENERAL	Inspección visual general			
12					
13					
14	OTROS:				
15					
OBSERVACIONES:					
REALIZÓ			REVISÓ		
NOMBRE:			NOMBRE		
CARGO:			CARGO		
FIRMA:			FIRMA	FECHA	

Anexo 39 Formato Check List EBE Bomba de engranajes Sauer Danfoss SNP2EN.

		EQUIPO	EBE Bomba de engranajes Sauer Danfoss SNP2EN	FORMATO	
		Fecha:		CHECK LIST	
N°	ELEMENTOS A INSPECCIONAR	ACCIÓN A REALIZAR	CONDICIÓN		
			BUENO	MALO	
1	CARTER DE MOTOR	Llenar el tanque de suministro de aceite hidráulico a nivel adecuado			
2	PRESION DEL SISTEMA	Volver la presión de entrada a los niveles recomendados			
3	MANGUERAS DE SUCCION Y DESCARGA	Inspeccionar estado de las mangueras y apretar las conexiones que tengan perdida			
4	PARTES EN GENERAL	Inspección visual general			
5					
6					
7	OTROS:				
8					
OBSERVACIONES:					
REALIZÓ			REVISÓ		
NOMBRE:			NOMBRE		
CARGO:			CARGO		
FIRMA:			FIRMA	FECHA	

Anexo 40 Formato Check List EBA Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps

		EQUIPO	EBA Bomba hidráulica FMC L06 Through L16 Triplex Pumps	FORMATO	
		Fecha:		CHECK LIST	
N°	ELEMENTOS A INSPECCIONAR	ACCIÓN A REALIZAR	CONDICIÓN		
			BUENO	MALO	
1	PARTES EN GENERAL	Inspección visual general			
2	BOMBA GENERAL	Enjuagar el sistema de la bomba cuando el bombeo se detenga, para evitar que se queden en el interior fluidos que puedan endurecer o corroer la bomba			
3	CONEXIONES Y ABRAZADERAS	Revisar fugas de agua/aceite			
4	FILTRO DE SUCCION	Inspeccionar filtro de succión			
5	CILINDRO	Inspeccionar si hay fugas en el área de la camisa - cilindro			
6	NIVEL DE ACEITE	Verificar que el nivel de aceite este en el nivel correcto y no haya sido contaminado por fluidos de bombeo o condensación			
7	MANGUERAS DE SUCCION Y DESCARGA	Verificar que las líneas de flujo están conectadas y llenan el tanque			
8	MANGUERAS DE SUCCION Y DESCARGA	Verificar que las líneas están conectadas y abrir la válvula			
9					
10	OTROS:				
11					
OBSERVACIONES:					
REALIZÓ			REVISÓ		
NOMBRE:			NOMBRE		
CARGO:			CARGO		
FIRMA:			FIRMA	FECHA	

Anexo 41 Formato Check List EMD Motor DEK F400S

		EQUIPO	EMD Motor DEK F400S	FORMATO	
		Fecha:		CHECK LIST	
N°	ELEMENTOS A INSPECCIONAR	ACCIÓN A REALIZAR	CONDICIÓN		
			BUENO	MALO	
1	TANQUE DE COMBUSTIBLE	Verificar el nivel de combustible			
2	CARTER DE MOTOR	Revisar el nivel de aceite			
3	FILTRO DE COMBUSTIBLE	Revise que el filtro no presente fugas, ni presente suciedad excesiva.			
4	PARTES EN GENERAL	Inspección visual general			
5	ESTRUCTURA GENERAL	Verificar y apretar tuercas y tornillos			
6	BOMBA DE INYECCIÓN	Mantener carga de trabajo de la bomba de inyección constante			
7	TAPON DE VENTILACION	Mantener siempre el tapón de ventilación de aire cerrada en la bomba de inyección de combustible, excepto cuando está saliendo el aire			
8	CONEXIONES	Verificar fugas de aceite			
9					
10	OTROS:				
11					
OBSERVACIONES:					
REALIZÓ			REVISÓ		
NOMBRE:			NOMBRE		
CARGO:			CARGO		
FIRMA:			FIRMA	FECHA	

Anexo 42 Formato Check List EMM Mezclador de lodos Hydracore 2000

		EQUIPO	EMM Mezclador de lodos Hydracore 2000	FORMATO	
		Fecha:		CHECK LIST	
N°	ELEMENTOS A INSPECCIONAR	ACCIÓN A REALIZAR	CONDICIÓN		
			BUENO	MALO	
1	PARTES EN GENERAL	Inspección visual general			
2	MEZCLADOR DE LODOS	Verificar que no haya fugas en el motor hidráulico			
3	PRODUCTO	Verificar material a dosificar			
4	ESTRUCTURA	Comprobar el estado general y verificar su estructura (Soldaduras)			
5	MANGUERAS DE SUCCION Y DESCARGA	Revise que los acoples ni las mangueras presenten fugas.			
6					
7	OTROS:				
8					
OBSERVACIONES:					
REALIZÓ			REVISÓ		
NOMBRE:			NOMBRE		
CARGO:			CARGO		
FIRMA:			FIRMA		FECHA

Anexo 43. Formato Check List EMR Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series

		EQUIPO	EMR Motor hidráulico de rotación EATON 2000 Series	FORMATO	
		Fecha:		CHECK LIST	
N°	ELEMENTOS A INSPECCIONAR	ACCIÓN A REALIZAR	CONDICIÓN		
			BUENO	MALO	
1	PARTES EN GENERAL	Inspección visual general			
2	SISTEMA HIDRAULICO	Comprobar y purgar aire del sistema hidráulico			
3	MOTOR GENERAL	Verificar comportamiento de operación, ruido, vibración y temperaturas del sistema			
4	MOTOR GENERAL	Engrasar el equipo			
5	MANGUERAS DE SUCCION Y DESCARGA	Corregir condición de fuga y adicionar fluido			
6	CONEXIONES	Verificar y reconectar líneas correctamente de ser necesario			
7	EJE DEL MOTOR	Verificar carga del motor, si es necesario reducir carga en el eje del motor			
8	VOLANTE	Verificar que la dirección funciona normalmente de ser necesario apretar la tuerca del volante			
9					
10	OTROS:				
11					
OBSERVACIONES:					
REALIZÓ			REVISÓ		
NOMBRE:					
CARGO:					
FIRMA:		FIRMA		FECHA	

Anexo 44 Formato Check List ETC Panel de control Hydracore 2000

		EQUIPO	ETC Panel de control Hydracore 2000	FORMATO	
		Fecha:		CHECK LIST	
N°	ELEMENTOS A INSPECCIONAR	ACCIÓN A REALIZAR	CONDICIÓN		
			BUENO	MALO	
1	PARTES EN GENERAL	Inspección visual general			
2	MANOMETROS	Verificar que los manómetros están funcionando correctamente			
3	EQUIPO EN GENERAL	Comprobar que el equipo en general este limpio y libre de daños.			
4	TUBERIAS Y MANGUERAS	Revisar que las tuberías y mangueras de distribución primaria o secundaria estén debidamente conectadas y no tengan fugas, estén obstruidas, quebradas o dobladas			
5	DISPOSITIVOS DE MEDICION	Revisar las líneas de distribución entre los dispositivos de medición y los puntos de lubricación que no haya fugas o daños			
6	OTROS:				
7					
OBSERVACIONES:					
REALIZÓ			REVISÓ		
NOMBRE:			NOMBRE		
CARGO:			CARGO		
FIRMA:			FIRMA		FECHA

Anexo 45 Formato Check List EGE Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K

		EQUIPO	EGE Generador eléctrico portátil Sportsman GEN 10K		FORMATO
		Fecha:			CHECK LIST
N°	ELEMENTOS A INSPECCIONAR	ACCIÓN A REALIZAR	CONDICIÓN		
			BUENO	MALO	
1	ESTRUCTURA GENERAL	Inspección visual general			
2	SISTEMA DE SEGURIDAD DE PARADA	Revisar que el sistema de parada de emergencia está funcionando adecuadamente			
3	DEPOSITO DE COMBUSTIBLE	Revisar nivel de combustible			
4	TUBO DE ESCAPE	Verificar que el tubo de escape no tenga averías			
5	MOTOR	Revisar que el motor no tenga ruidos extraños, averías y vibraciones no comunes			
6	CARTER DE MOTOR	Revisar nivel de aceite			
7	CONEXIONES ELECTRICAS	Optimizar el número de dispositivos eléctricos para aumentar la potencia del generador			
8	MOTOR DE ARRANQUE	Inspeccionar conexiones en el motor de arranque			
9	HORÓMETRO	Verificar el funcionamiento y marcación correcta del horómetro			
10	TABLERO ELÉCTRICO	Verificar y revisar que la instrumentación esté funcionando correctamente			
11	OTROS:				
12					
OBSERVACIONES:					
REALIZÓ		REVISÓ			
NOMBRE:		NOMBRE			
CARGO:		CARGO			
FIRMA:		FIRMA	FECHA		

Anexo 46 Formato Check List ERB Winche Hydracore 2000

		EQUIPO ERB Winche Hydracore 2000	FORMATO	
		Fecha:	CHECK LIST	
N°	ELEMENTOS A INSPECCIONAR	ACCIÓN A REALIZAR	CONDICIÓN	
			BUENO	MALO
1	ESTRUCTURA GENERAL	Inspección visual general		
1	MANGUERA DE SUCCION Y DESCARGA	Verificar si hay perdidas de aceite hidráulico		
2	SISTEMA DE FRENOS	Inspeccionar el funcionamiento del freno con carga		
3	PERNOS Y TUERCAS	Revisar que los pernos y tuercas estén en buen estado		
4	EQUIPO GENERAL	Engrasar el equipo, tambor del cable, extremo del cojinete, carcasa de embrague		
5	TAMBOR	Inspeccionar anclaje del tambor y cable		
10	OTROS:			
11				
OBSERVACIONES:				
REALIZÓ		REVISÓ		
NOMBRE:		NOMBRE		
CARGO:		CARGO		
FIRMA:		FIRMA	FECHA	

Anexo 47 Formato Check List EFC Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000

		EQUIPO	EFC Foot clamp - Guía de taladro Hydracore 2000	FORMATO	
		Fecha:		CHECK LIST	
N°	ELEMENTOS A INSPECCIONAR	ACCIÓN A REALIZAR	CONDICIÓN		
			BUENO	MALO	
1	LIMPIEZA DEL EQUIPO	Inspección visual general			
2	EQUIPO GENERAL	Lavar para evitar la acumulación de suciedad			
3	EQUIPO GENERAL	Engrasar el equipo			
4	CILINDRO	Verificar que no haya materiales abrasivos en el cilindro			
5					
6	OTROS:				
7					
OBSERVACIONES:					
REALIZÓ			REVISÓ		
NOMBRE :			NOMBRE		
CARGO:			CARGO		
FIRMA:			FIRMA		FECHA

Anexo 48 Formato Check List EMB Moto Bomba Honda WB20XT

		EQUIPO	EMB Moto Bomba Honda WB20XT	FORMATO	
		Fecha:		CHECK LIST	
N°	ELEMENTOS A INSPECCIONAR	ACCIÓN A REALIZAR	CONDICIÓN		
			BUENO	MALO	
1	LIMPIEZA DEL EQUIPO	Inspección visual general			
2	NIVELES DE ACEITE	Revisar el nivel de aceite			
3	SISTEMA DE ESCAPE	Verificar que el sistema de escape este en buen estado			
4	MANGUERAS Y CONEXIONES EN MOTOR	Apretar el conector de la manguera y abrazaderas para evitar fugas			
5	MANGUERAS Y CONEXIONES EN MOTOR	Regular correctamente el ajuste de las abrazaderas			
6	MANGUERA DE SUCCION	Inspeccionar el estado de la manguera de succión			
7	NIVEL DEL AGUA REFRIGERANTE	Revisar el nivel de refrigerante			
8	TANQUE DE COMBUSTIBLE	Revisar el nivel de combustible			
9	TAPA TANQUE DE COMBUSTIBLE	Verificar que la tapa del tanque se encuentre en buen estado			
10	ACOPLES DEL MOTOR	Verificar que los acoples del motor se encuentren lubricados y en buen estado			
11	OTROS:				
12					
OBSERVACIONES:					
REALIZÓ			REVISÓ		
NOMBRE:			NOMBRE		
CARGO:			CARGO		
FIRMA:			FIRMA		FECHA