

**FORMULACION DEL SISTEMA DE CALIDAD PARA EL MANTENIMIENTO DE
EQUIPO ROTATIVO DE LA GERENCIA REFINERIA DE
BARRANCABERMEJA – ECOPETROL S.A.**

**RUBÉN DARIO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ
FABIAN ANDRES FLOREZ MORENO
Investigador**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
ESPECIALIZACIÓN EN EVALUACIÓN Y GERENCIA DE PROYECTOS
BUCARAMANGA**

2009

**FORMULACION DEL SISTEMA DE CALIDAD PARA EL MANTENIMIENTO DE
EQUIPO ROTATIVO DE LA GERENCIA REFINERIA DE
BARRANCABERMEJA – ECOPETROL S.A.**

**RUBÉN DARIO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ
FABIAN ANDRES FLOREZ MORENO
Investigador**

**Monografía de Grado para optar al título de
Especialista en Evaluación y Gerencia de proyectos
Especialista en Alta Gerencia**

**Director
HERNÁN PABÓN BARAJAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
ESPECIALIZACIÓN EN EVALUACIÓN Y GERENCIA DE PROYECTOS
BUCARAMANGA**

2009

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. TITULO	4
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2.1. IDENTIFICACION	5
2.2. TITULO	5
2.3. PLANTEAMIENTO	5
2.3.1 EL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	6
2.3.2 OBJETIVOS DE LA CALIDAD	9
2.3.3 NUESTRO NEGOCIO	11
2.3.4 NUESTRO RETO	11
2.4 SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD (SGC)	11
2.4.1. GENERALIDADES	11
3. ALCANCE - LIMITACIONES	14
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. OBJETIVOS	19
5.1 OBJETIVO GENERAL	19
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
6. LINEAMIENTO ESTRTEGICOS DE LA GESTION DE CALIDAD	21
6.1 MARCO CONTEXTUAL	21
6.1.1 ANTECEDENTES	21

6.1.2 ESTADO ACTUAL DEL PROCESO DE REPARACIÓN DE EQUIPO ROTATIVO DE LA GRB	21
6.2 MARCO TEORICO	22
6.2.1 BASES PARA ESTABLECER EL SISTEMA DE GESTIÓN.	22
6.2.2 DURANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN.	23
6.3 MARCO CONCEPTUAL	23
6.4 MARCO LEGAL	25
7. METODOLOGIA	27
7.1 REVISION SISTEMATICA DEL TEMA – CONSULTA A EXPERTOS	27
7.2 DIAGNÓSTICO AL PROCESO DE REPARACION DE EQUIPO ROTATIVO.	27
7.3 FORMULACION DEL SISTEMA DE GESTION DE REPARACION DE EQUIPO ROTATIVO DE LA GRB.	27
7.4 IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE GESTION DE REPARACION DE EQUIPO ROTATIVO DE LA GRB.	28
7.4.1 REPARACIÓN DE BOMBA CENTRIFUGA	31
7.5 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD PARA LA REPARACION DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS	32
7.5.1 CHEQUEOS PRELIMINARES	32
7.5.2 CHEQUEO EN CAMPO	33
7.6 PROCESO DE DESARME	33
7.7 PROCESO DE CALIBRACION INICIAL Y REPARACION	39
7.8 RODAMIENTOS	41
7.8.1 CAJA DE RODAMIENTO	43
7.8.2 SELLOS MECÁNICOS	43
7.9 IMPULSOR	45
7.9.1 BALANCEO	47
7.9.2 ANILLOS DE DESGASTE	47
7.10 CABEZOTE	49

7.11 CARCAZA	51
7.12 SELLOS MECANICO	53
7.13 ACOUPLE	55
8. PROCESO DE REVISIÓN DE ALCANCE	58
8.1 CONSTRUCCION DE LOS INTERNOS DE LA BOMBA	58
9. ARMADO	59
10. ANALISIS DE FALLAS Y COMPORTAMIENTO DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS DE LA REFINERIA DE BARRANCABERMEJA.	69
10.1 TENDECNIA DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS EN LA GRB, AÑO 2007	69
10.2 TENDECNIA DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS DE LA GRB AÑO 2008	73
10.3 TENDECNIA DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS DE LA GRB AÑO 2009	78
11. FALLAS ATRIBUIBLES A MANTENIMIENTO (REPROCESOS), EN BOMBAS CENTRIFUGAS.	82
11.1 CAUSAS DE FALLAS	82
11.2 TOTAL DE FALLAS EN LA GRB POR AÑO (2007, 2008, 2009)	85
11.3 COSTOS POR REPROCESOS EN EQUIPOS DE BOMBEO (BOMBAS) ENTRE LOS AÑOS 2007, 2008, 2009.	86
12. ANALISIS DE FALLAS Y COMPORTAMIENTO CONFIABLE DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS DE REFINACION DE CRUDOS	88
12.1 TENDENCIAS	88
12.2 ESTADO DE EQUIPO ROTATIVO POR PLANTAS DEL AREA DE REFINACION DE CRUDOS	91
12.2.1 ANÁLISIS DE ESTADO DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS EN REFINACIÓN DE CRUDOS	91

12.2.2 ACCIONES DE ASEGURAMIENTO DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS EN REFINACIÓN DE CRUDOS	92
12.3 TASA DE FALLA EQUIPO ROTATIVO REFINACIÓN DE CRUDOS 2009	93
12.3.1 MODO DE FALLA 2009	93
12.3.2 CAUSA DE FALLA 2009	94
12.3.3 FALLAS POR UNIDAD 2009	95
12.4 TASA DE FALLA TOTAL EQUIPO ROTATIVO REFINACIÓN DE CRUDOS (EQUIPO/MES)	96
12.4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS	96
12.4.2 ACCIONES DE MEJORAS REALIZADAS	97
12.4.3 ACCIONES DE ASEGURAMIENTO	97
12.5 CAUSAS DE FALLA ENTRE ENERO A MAYO DE 2008 VS 2009	98
12.6 EQUIPOS DE BOMBEO QUE SE ENCUENTRAN EN MANTENIMIENTO A JUNIO 2009	99
12.6.1 ANÁLISIS DE EQUIPOS EN MANTENIMIENTO	101
12.6.2 ACCIONES DE ASEGURAMIENTO	101
12.7 LISTADO DE EQUIPOS FUSIBLES AÑO 2009 REFINACION DE CRUDOS	103
13. CONCLUSIONES	104
BIBLIOGRAFÍA	107

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Indicadores de Mantenimiento	10
Tabla 2. Holgura de la camisas con el eje	35
Tabla 3. Holgura entre el eje y el acople	37
Tabla 4. Tolerancia para bujes de garganta	41
Tabla 5. Run out permisible para camisas de sello	55
Tabla 6. Ajuste eje – acople	57
Tabla 7. Holguras y tolerancias para chequeo en la reparación	60
Tabla 8. Holguras y tolerancias no consignables en la carpeta de reparación	62
Tabla 9. Holguras de anillos de desgaste	63
Tabla 10. Holguras de buje de garganta	64
Tabla 11. Dimensiones de los ejes para los rodamientos	65
Tabla 12. Tolerancias para chequeos encontrados en la carpeta de reparación del equipo	66

LISTA DE GRAFICOS

	Pág.
Grafico 1. ORGANIGRAMA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	6
Grafico 2. PROCESO DEL PS&O	8
Grafico 3. Disponibilidad Equipo rotativo año 2007	16
Grafico 4. Disponibilidad Equipo rotativo año 2008	17
Grafico 5. Disponibilidad Equipo rotativo año 2009	18
Grafico 6. Diagrama de tendencia equipo rotativo año 2007	70
Grafico 7 DIAGRAMA DE TENDENCIA EQUIPO ROTATIVO AÑO 2008	75
Grafico 8. Diagrama de tendencia equipo rotativo año 2009	79
Grafico 9. Causas de falla (reprocesos) en bombas centrifugas	83
Grafico 10. Cantidad de fallas a mantenimiento en bombas	84
Grafico 11. Cantidad de fallas en la GRB año (2007, 2008, 2009)	85
Grafico 12. Costos por fallas atribuibles a mantenimiento	87
Grafico 13. Disponibilidad Equipo Rotativo año 2007	88
Grafico 14. Disponibilidad Equipo Rotativo año 2008	89
Grafico 15. Disponibilidad Equipo Rotativo año 2009	90
Grafico 16. Estado de equipos en planta	91
Grafico 17. Modos de falla año 2009	93
Grafico 18. Causas de falla año 2009	94
Grafico 19. Fallas por unidad de plantas en refinación de crudos año 2009	95
Grafico 20. Tasa de falla total equipo rotativo en refinación de crudos (equipo/mes)	96
Grafico 21. Causas de falla entre enero a mayo de los años 2008 vs 2009	98

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de Proceso Sistema de Bombeo	12
Figura 2. Gestión de Calidad de Equipo Rotativo – Bombas.	29

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Tendencia de los equipos rotativos en la GRB año 2007	69
Cuadro 2. Tendencia de los equipos rotativos de la GRB año 2008	73
Cuadro 3. Tendencia de los equipo rotativos de la GRB año 2009	78
Cuadro 4. Costos por fallas atribuibles a mantenimiento	86
Cuadro 5. Equipos por falla que se encuentran en mantenimiento	99
Cuadro 6. Equipos fusible en refinación de crudos año 2009	103

RESUMEN

TITULO:

FORMULACION DEL SISTEMA DE CALIDAD PARA EL MANTENIMIENTO DE EQUIPO ROTATIVO DE LA GERENCIA REFINERIA DE BARRANACABERMEJA – ECOPETROL S.A.*

AUTORES

RUBEN DARIO HERNANDEZ HERNANDEZ.- Ingeniero Mecánico

FABIAN ANDRES FLOREZ MORENO.- Ingeniero Mecánico**

PALABRAS CLAVES

Ecopetrol; Refinería; Mantenimiento; Calidad; Sistemas; Rotativos;

DESCRIPCIÓN

El reto del Departamento de Mantenimiento de la Refinería de Barrancabermeja es llegar a la altura de los mejores en mantenimiento a nivel mundial, esto requiere el involucramiento y compromiso de todos los trabajadores y en especial de la alta dirección del departamento para generar estrategias que consigan una óptima interacción con los departamentos operativos de la organización dado que todos hacen parte de la cadena de valor del negocio de la refinería. Es claro que este propósito se debe consolidar a través de la aplicación de un Modelo de Gestión de la calidad en sus procesos y servicios.

Debido a la amplia cantidad de procesos internos en el Departamento de Mantenimiento se utilizó un proyecto piloto para formular e implementar el sistema de Gestión de la Calidad bajo las normas NTC-ISO 9001:2000 y API (Instituto Americano del Petróleo), para la REPARACIÓN DE EQUIPOS ROTATIVOS DE LA REFINERÍA BARRANCABERMEJA, con el fin de garantizar los estándares de calidad de los sistemas reparados por el grupo de mantenimiento (Proactivo y Reactivo), cumplan con las especificaciones técnicas y entrega oportuna requerida por el proceso productivo de la refinería. En general este sistema de gestión permite asegurar que los procesos sean más efectivos enmarcados por la calidad, la salud ocupacional y el medio ambiente y a su vez asegurando la gestión del conocimiento al interior del Departamento, para ofrecer a los clientes un servicio de mayor valor agregado.

Inicialmente este trabajo consistía en la formulación del sistema de calidad pero fue más allá a través de su implementación, obteniendo logros muy importantes para el Departamento y para la Refinería, así mismo se evidenciaron nuevas oportunidades de mejora que indica la necesidad de ajustes sobre el sistema implementado de acuerdo al ciclo de mejora continua.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas.- Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.- Especialización en Evaluación de Proyectos de Alta Gerencia y Especialización en Alta Gerencia.- Director: Hernán Pabón Barajas.- Ingeniero Industrial

SUMMARY

TITLE:

FORMULATION OF QUALITY SYSTEM FOR ROTATING EQUIPMENT MAINTENANCE
BARRANCABERMEJA REFINERY - ECOPETROL SA^{*}

AUTHORS

RUBEN DARIO HERNANDEZ HERNANDEZ.- Mechanical Engineer

FABIAN ANDRES M. FLOREZ - Mechanical Engineer ^{**}

KEY WORDS

Ecopetrol, Refinery, Maintenance; Quality; Systems; Rotatings

DESCRIPTION

The challenge for the Maintenance Department Barrancabermeja Refinery is to reach the level of the best in global maintenance, this requires the involvement and commitment of all workers, especially senior management of the department to develop strategies to achieve an optimal interaction with the operating departments of the organization since all are part of the business value chain from the refinery. Clearly, this purpose should be consolidated through the application of a model of quality management in its processes and services.

Due to the large amount of internal processes in the maintenance department used a pilot project to formulate and implement the system of quality management under the standards NTC-ISO 9001:2000 and API (American Petroleum Institute), to REPAIR the rotating equipment of the REFINERY of Barrancabermeja city, in order to ensure quality standards of the systems repaired by the maintenance group (proactive and reactive) comply with the technical specifications and timely delivery required by the production process of the refinery. In general, this management system ensures that the most effective processes are through the quality, occupational health and the environment and in turn ensuring knowledge management within the Department, to offer customers more value-added service.

Initially this work was the formulation of the quality system but went further through its implementation, obtaining very important achievements for the Department and to the refinery, and it became evident that new opportunities for improvement indicates the need for adjustments on the system implemented according to the cycle of continuous improvement improvement.

* Project Degree

** Fisicomecánicas Faculty of Engineering School of Industrial and Employers' .- Specializing in Project Evaluation and Expertise in Senior Management Senior Management .- Director: Hernán Pabón Barajas .- Industrial Engineering

INTRODUCCIÓN

ECOPETROL S.A. está en un proceso de mejoramiento enfocado en su visión al año 2015 “será una empresa global de energía y petroquímica, con énfasis en petróleo, gas y combustibles alternativos; reconocida por ser competitiva, con talento humano de clase mundial y socialmente responsable”¹, por lo cual cada una de sus vicepresidencias deben alinearse a esa estrategia y plantearse objetivos que se lo permitan.

La Gerencia Refinería de Barrancabermeja hace parte de la Vicepresidencia de Refinación y Petroquímica y desde el año 2003 ha venido modificando procesos de acuerdo a estándares internacionales a través de metodologías como benchmarking con empresas líderes a nivel mundial como SHELL con la cual se realizó un contrato de Optimización de refinerías para mejorar sus procesos operativos y de mantenimiento, proceso que ha venido siendo liderado desde la Alta Gerencia.

El Departamento de Mantenimiento de la Gerencia de Refinería igualmente debe alinear sus objetivos con los de Gerencia y así mismo con los de la Vicepresidencia y en general con los de Ecopetrol S.A. Específicamente se quiere maximizar el uso de los activos, generar valor agregado, y operar bajo estándares internacionales.

La estrategia de mantenimiento actual está de acuerdo a las últimas tendencias de Administración de Mantenimiento y tiene que ver con la Gestión de Activos y cuyo resultado propende atender los mismos mercados con los mismos servicios y productos, la gestión de activos requiere desarrollar una metodología basada en

¹ Marco estratégico de Ecopetrol S.A. www.ecopetrol.com.co

costos e indicadores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad que garanticen que estos generen cada vez más ingresos y menos gastos.

La implantación de la tecnología de gestión de activos en las empresas se refleja en sus cuatro objetivos principales: reducción de costos en la gestión de mantenimiento, aumento de la disponibilidad de los equipos y líneas de producción, incremento de la vida útil de los activos y disminución de stock (considerada como la inversión en repuestos y maquinaria que permanece en tiempo de parada).

Esta estrategia involucra al Departamento de Mantenimiento y a cada uno de los Departamentos Operativos quienes son realmente los dueños de la mayoría de los activos (plantas, equipos, entre otros).

Según esto debe haber estrategias a nivel operativo y de mantenimiento que hacen parte de la gestión de activos, y específicamente la Estrategia de Mantenimiento involucra acciones en Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Correctivo, Canales de Comunicación, repuestos, manuales, herramientas, entre otros; seguimiento del desempeño entre otros.

División Interna de la Gerencia Refinería de Barrancabermeja:

La Gerencia Refinería Barrancabermeja de Ecopetrol S.A se subdivide en dos gerencias, una Técnica y otra de Producción.

La Gerencia de Producción se subdivide en 11 departamentos operativos y 1 departamento de Mantenimiento quien brinda soporte a los activos de los departamentos operativos.

Los equipos a los cuales se les realiza mantenimiento están agrupados en las especialidades: Eléctrica (motores, redes, casillas, etc), Electrónica (sistemas de control, DCS, comunicaciones, etc), Estático (intercambiadores de calor, torres de destilación, tanques, vasijas, estructuras, entre otras) **y la especialidad de Equipo Rotativo** que involucra los sistemas de bombeo, sistemas de compresión, agitadores, ventiladores, entre otros.

Históricamente el equipo rotativo es el que mayor problema ha tenido y ha causado impacto en días de parada no programada en refinería, lo cual eleva costos de producción y pone en riesgo la entrega de productos a los clientes finales.

Las causas de los fallos pueden ser varias entre las cuales están problemas de operación, fallas de diseño, falla de estrategia de mantenimiento, y procedimientos inadecuados de mantenimiento que a su vez se pueden ser causados por desconocimiento por parte de los ejecutores, por errores humanos, por el uso de partes subestándar, entre otros.

La realidad es que actualmente no se tienen estandarizados los procedimientos y aunque hay bastante conocimiento este se ha venido transfiriendo por el entrenamiento hombre a hombre. Algunos equipos tienen mejor asegurado su reparación pero no es una realidad a nivel general.

El proceso de estandarización ha sido complejo por el tamaño de la refinería la cantidad de equipo rotativo mas de 2000 bombas y mas de 150 compresores los cuales varían en tamaños, fabricantes, tipo de repuestos, etc. La cantidad de personal asignado a equipo rotativo supera los 100 funcionarios repartidos por toda refinería, además del cambio continuo de equipos por reposición los cuales llegan con diseños nuevos y son instalados por la gerencia técnica a través de contratistas.

1. TITULO

Formulación del Sistema de Calidad para el mantenimiento de equipo rotativo de la Gerencia Refinería Barrancabermeja – Ecopetrol S.A.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. IDENTIFICACION

Problema: El proceso de mantenimiento de equipo rotativo no está estandarizado lo cual pone en riesgo la confiabilidad de los equipos y así mismo hace más difícil medir la efectividad del mantenimiento.

2.2. TITULO

Formulación del Sistema de Calidad para el mantenimiento de equipo rotativo de la Gerencia Refinería Barrancabermeja – Ecopetrol S.A.

2.3. PLANTEAMIENTO

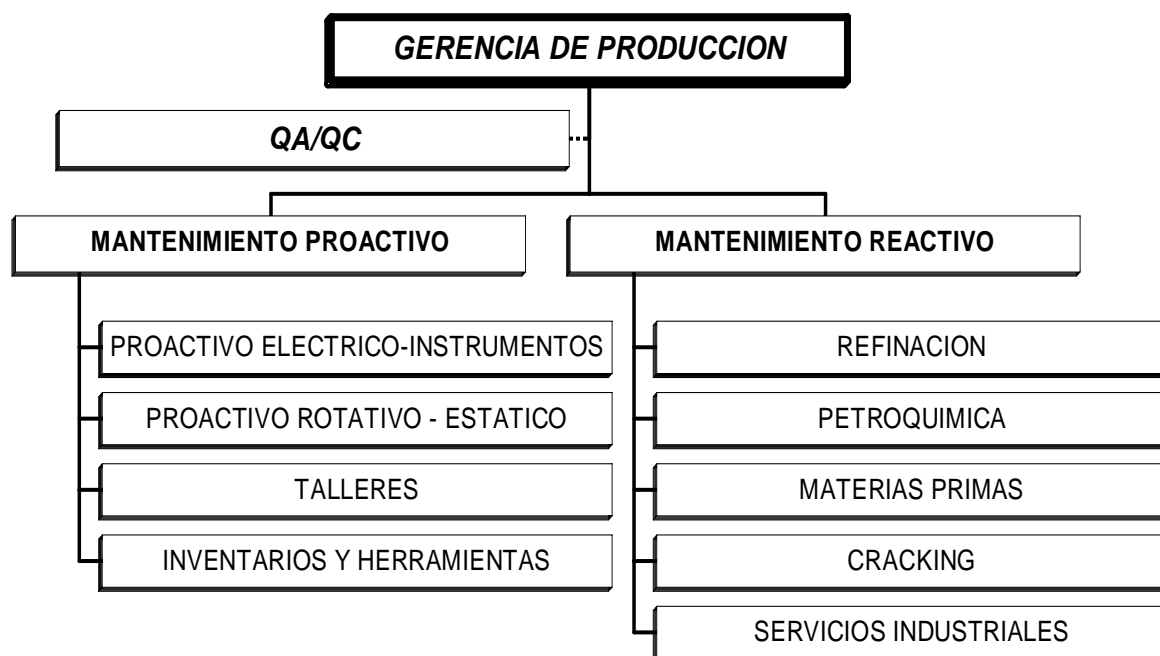
El Departamento de mantenimiento es una de las áreas que depende directamente de la Gerencia de Producción.

Es un equipo humano comprometido con la ejecución y calidad del 100% de las acciones de mantenimiento proactivos y reactivos de todos los equipos de la refinería, se encarga de ejecutar actividades de mantenimiento día a día en los diferentes frentes, bajo su control y la ejecución de algunos programas de mantenimiento proactivo, esto con el fin de mejorar la disponibilidad de los equipos de la refinería para garantizar el cumplimiento de los compromisos de producción acordados por la GRB con la Vicepresidencia de Suministro y Mercadeo (VSM).

A este departamento se encuentra adscrito al departamento de mantenimiento Proactivo, el cual tiene como función principal, recibir los equipos rotativos en falla en la planta o punto donde sucede el daño, ellos deben repararlos en

coordinación con el área de talleres quienes suministran las herramientas e instalaciones para garantizar la efectividad de las labores propias del mantenimiento para su instalación y puesta en funcionamiento, todo de acuerdo con el plan de trabajo suministrado por PLP y acordado con los procesos de Refinación , Cracking, Materias Primas, Petroquímica y Servicios Industriales.

Grafico 1. ORGANIGRAMA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO



Fuente. Estructura marco estratégico del Ecopetrol S.A.

2.3.1 EL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

2.3.1.1 Antecedentes

En la GRB existen alrededor de 3200 equipos de bombeo que corresponden aproximadamente al 75% del equipo rotativo instalado de los cuales en el departamento de se reparan alrededor del 30% al año. Dado la gran cantidad de estos equipos y el impacto que tienen en el cumplimiento de los diferentes

indicadores gerenciales relacionados con la confiabilidad de las plantas y con el cumplimiento del plan de refinación acordado con la VSM, se consideró como una actividad importante para impactar estos indicadores, el emprender un plan de aseguramiento y gestión de la calidad en el proceso de reparación de sistema de bombeo en el departamento de mantenimiento.

2.3.1.2 Objeto y Alcance del Sistema

Los objetivos principales del sistema son el afianzar la confiabilidad en la prestación del servicio de mantenimiento de Bombas centrífugas de tal forma que satisfaga las necesidades de los clientes finales (procesos de Refinación, Cracking, Materias Primas, Petroquímica y Servicios Industriales) y el de aumentar su satisfacción a través del cumplimiento sistemático del programa de mantenimiento acordado con el Departamento de Planeación de la Producción (PPL).

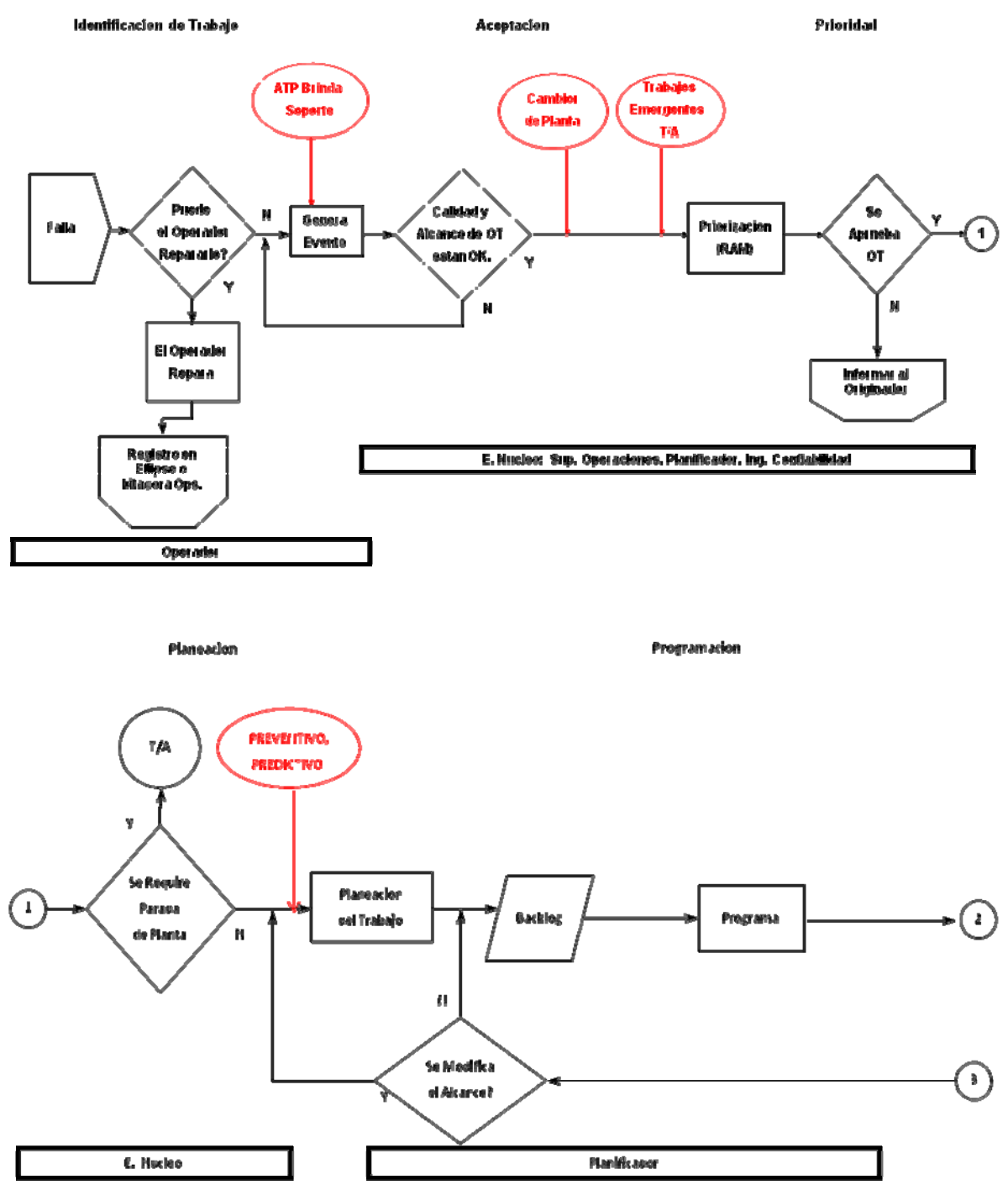
El sistema de gestión de la calidad documentado en este Manual tiene una cobertura para el servicio de reparación de sistemas de bombeo prestado por el DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO en la refinería de la Gerencia Refinería Barrancabermeja y cumple con los requisitos del modelo de gestión de la calidad NTC-ISO 9001:2000.

2.3.1.2.1 Exclusiones

El Sistema de Gestión de la calidad de la GRB no cubre los siguientes requisitos de ISO 9001:2000:

Requisito 7.3 “DISEÑO Y DESARROLLO” por cuanto las reparaciones que se ejecutan sobre las bombas centrífugas se basan en los estándares dados por los fabricantes de los equipos objeto del servicio.

Grafico 2. PROCESO DEL PS&O



Los indicadores que le apuntan a los objetivos se observan en la tabla 1 que son los indicadores que actualmente son evaluados en Mantenimiento.

Los indicadores serán revisados semanalmente en la reunión sistemática en las diferentes coordinaciones del departamento en donde se contara con la participación de los supervisores, el Equipo de Apoyo Técnico, los Planeadores, el Facilitador de la calidad y personal convencional.

Estos indicadores son reportados semanalmente a los Jefe de las respectivas Coordinaciones de Mantenimiento por la Gerencia de Producción

Tabla 1. Indicadores de Mantenimiento

INDICADOR	CARGO	META	FRECUENCIA
1. Equipos en Backlog	Facilitador de la calidad	6 Equipos	Semanal
2. No. de Equipos reparados por semana	Facilitador de la calidad	17 Mínimo	Semanal
3. Porcentaje de Cumplimiento Del programa semanal	Facilitador de la calidad	90%	Semanal
4. Índice de Frecuencia	Profesional de HSEQ	8 Máximo	Mensual
5. Tasa de Falla	Facilitador de Calidad	4 Equipos	Semanal

Fuente. Los Autores

2.3.3 NUESTRO NEGOCIO

Garantizamos la disponibilidad de los equipos eléctricos mecánicos instrumentos y rotativos de ECOPETROL cumpliendo con los compromisos de producción de las plantas de la refinería, ejecutando actividades de mantenimiento día a día en los diferentes frentes de campo y taller, y la realización de programas de mantenimiento preventivo, con criterios de calidad, oportunidad y responsabilidad social y ambiental; contando con un equipo humano calificado y comprometido.

2.3.4 NUESTRO RETO

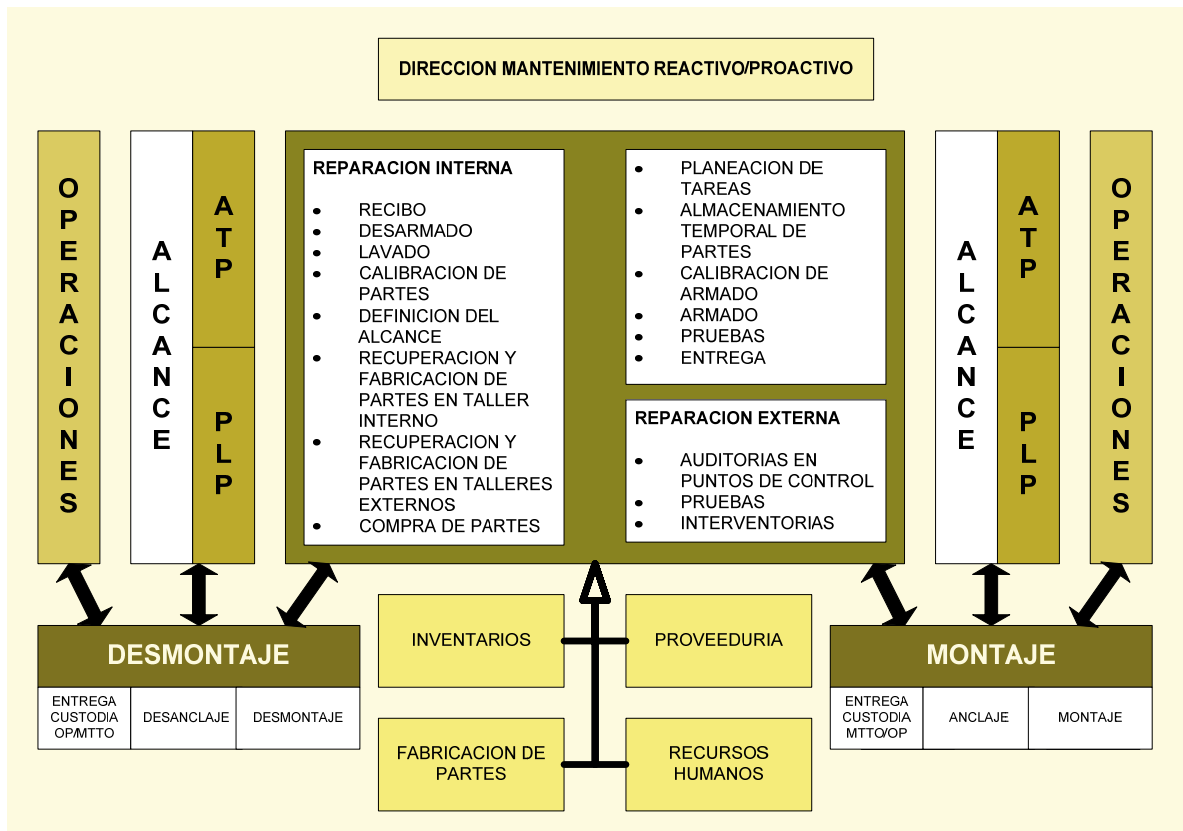
Lograr que el departamento de mantenimiento de la GCB este a la altura de los mejores en el ámbito Nacional e Internacional; Garantizando la confiabilidad del equipo Mecánico, Eléctrico, Instrumentos y Rotativo de la GCB, a través del trabajo en equipo y asegurando principalmente la capacidad y compromiso de su equipo humano.

2.4 SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD (SGC)

2.4.1. GENERALIDADES

Nuestras actividades se han agrupado bajo el siguiente esquema de proceso:
niveles:

Figura 1. Diagrama de Proceso Sistema de Bombeo



Los procesos de Refinación, Cracking, Petroquímica, Materias primas y Servicios Industriales (representados bajo el título de operaciones) le generan a través de los ingenieros de Apoyo técnico de la producción las necesidades de reparación de bombas centrífugas, al Proceso de Planeación del Mantenimiento (PPL); este revisa las necesidades y concierta las prioridades y fechas y a partir de allí define y entrega a la Coordinación de Mantenimiento proactivo y reactivo un plan de trabajo semanal para la reparación de equipos, estos deben cumplir con la Planeación establecida por PPL.

En el proceso de Planeación del Mantenimiento a su vez se elabora un plan de trabajo para el Proceso de desmontaje, reparación y montaje del sistema en las diferentes plantas, cuya ejecución está a carga del Dpto. de Mantenimiento

proactivo, quien es el que le recibe los equipos en falla y repara respectivamente en conjunto con la coordinación de mantenimiento reactivo. Este proceso debe cumplir con la planeación establecida por PLP.

El proceso de reparación de Sistemas de Bombeo, para cumplir con el plan semanal cuenta a su vez con un proceso administrativo liderado por el jefe de la coordinación de talleres y los líderes de las respectivas coordinaciones de mantenimiento Proactivo, dependiendo del área de donde provenga las o el equipo. La reparación cuenta con unos procesos de soporte como: Gestión de recursos, proveeduría, Inventarios y recuperación de partes. Además se ejecuta el trabajo subcontratado, en donde se generan los mismos subprocesos del interno y donde el departamento de mantenimiento define una interventoría en la cual se auditan todas las actividades y donde se da una asesoría técnica del mismo.

El proceso de Inventarios y el de Gestión de recursos que comprende los subprocesos de Gestión de Recursos Humanos y presupuesto son procesos de empresa y forman parte del Sistema de Gestión de la calidad de la GCB, por tanto su caracterización y control están definidos dentro del Manual de Calidad de la GCB.

3. ALCANCE - LIMITACIONES

La presente monografía es aplicable al Departamento de Mantenimiento de la Gerencia Refinería de Barrancabermeja y define el sistema de gestión de calidad para el mantenimiento de equipo rotativo.

4. JUSTIFICACIÓN

El Departamento de Mantenimiento de la Gerencia Refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A., al alinear sus objetivos con la Gerencia, Vicepresidencia de Ecopetrol S.A, es principalmente en convertirse en una empresa de clase mundo y con los mayores estándares; requiere desarrollar y estandarizar todos sus procedimientos dentro de un sistema de gestión de calidad que le permita controlar la efectividad del proceso y maximizar sus activos.

Actualmente el porcentaje de equipo rotativo confiable de la GRB se encuentra aproximadamente en el 77% en el año 2008, y para llegar al nivel de las empresas clase mundo (>95%) requiere tomar acciones que permitan asegurar la mayor disponibilidad de los equipos que se reparan, mayores tiempos entre fallas y por supuesto eliminar los reprocesos de mantenimiento.

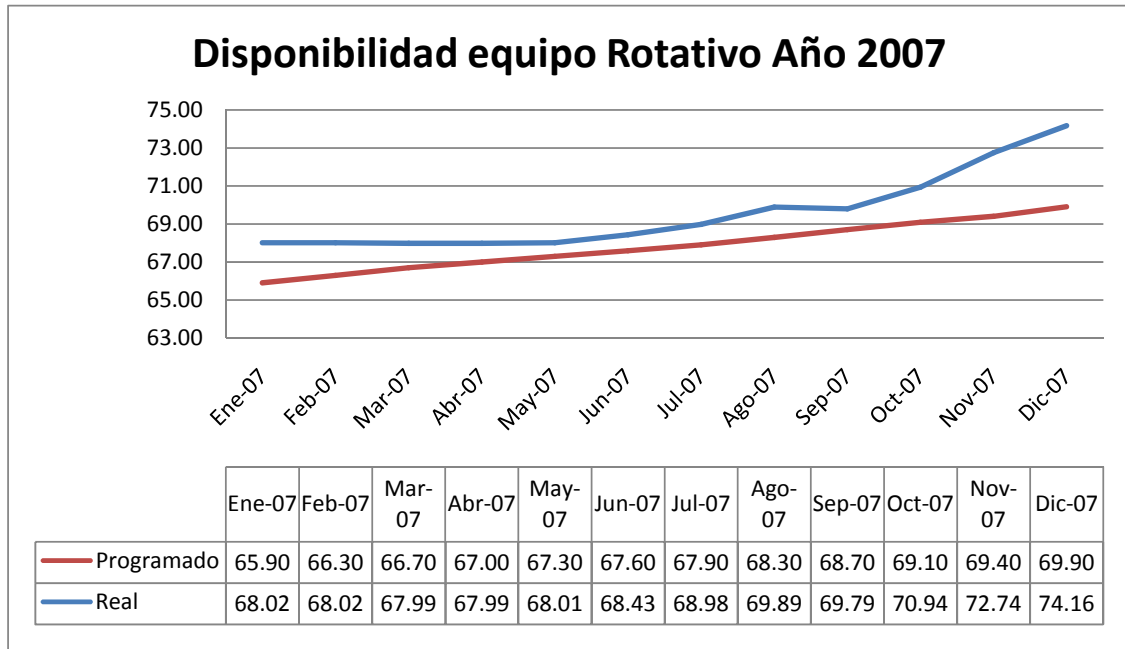
El conocimiento existe en el personal, pero bastante de este se ha perdido con la jubilación de personal clave, la pérdida de manuales y por la existencia de paradigmas de mantenimiento que han perdurado y que ya no son aplicables.

INDICE DE DISPONIBILIDAD DE EQUIPO ROTATIVO CONFIABLE EN LA GRB EN LOS AÑOS 2007, 2008 Y 2009

Para el año 2007.

	ENE 2007	FEB 2007	MAR 2007	ABR 2007	MAY 2007	JUN 2007	JUL 2007	AGO 2007	SEP 2007	OCT 2007	NOV 2007	DIC 2007
Real	68.02	68.02	67.99	67.99	68.01	68.43	68.98	69.89	69.79	70.94	72.74	74.16
Programa (Ajustado)	65.90	66.30	66.70	67.00	67.30	67.60	67.90	68.30	68.70	69.10	69.40	69.90

Grafico N 3. Disponibilidad Equipo rotativo año 2007



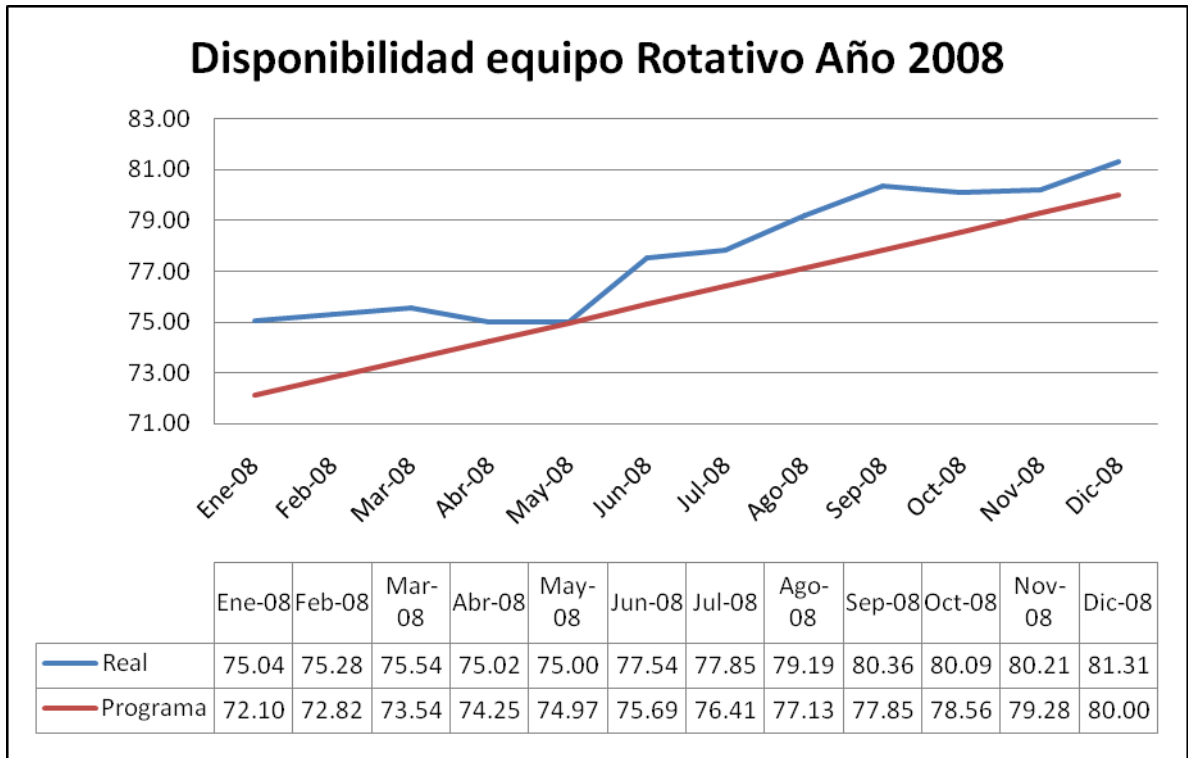
Fuente. Gestión Documental RIS – Ecopetrol S.A.

El promedio de disponibilidad mecánica de equipo rotativo para el año 2007 estaba en 69.58%.

Para el año 2008.

	ENE 2008	FEB 2008	MAR 2008	ABR 2008	MAY 2008	JUN 2008	JUL 2008	AGO 2008	SEP 2008	OCT 2008	NOV 2008	DIC 2008
Real	75.04	75.28	75.54	75.02	75.00	77.54	77.85	79.19	80.36	80.09	80.21	81.31
Programa (Ajustado)	72.10	72.82	73.54	74.25	74.97	75.69	76.41	77.13	77.85	78.56	79.28	80.00

Grafico N 4. Disponibilidad Equipo rotativo año 2008



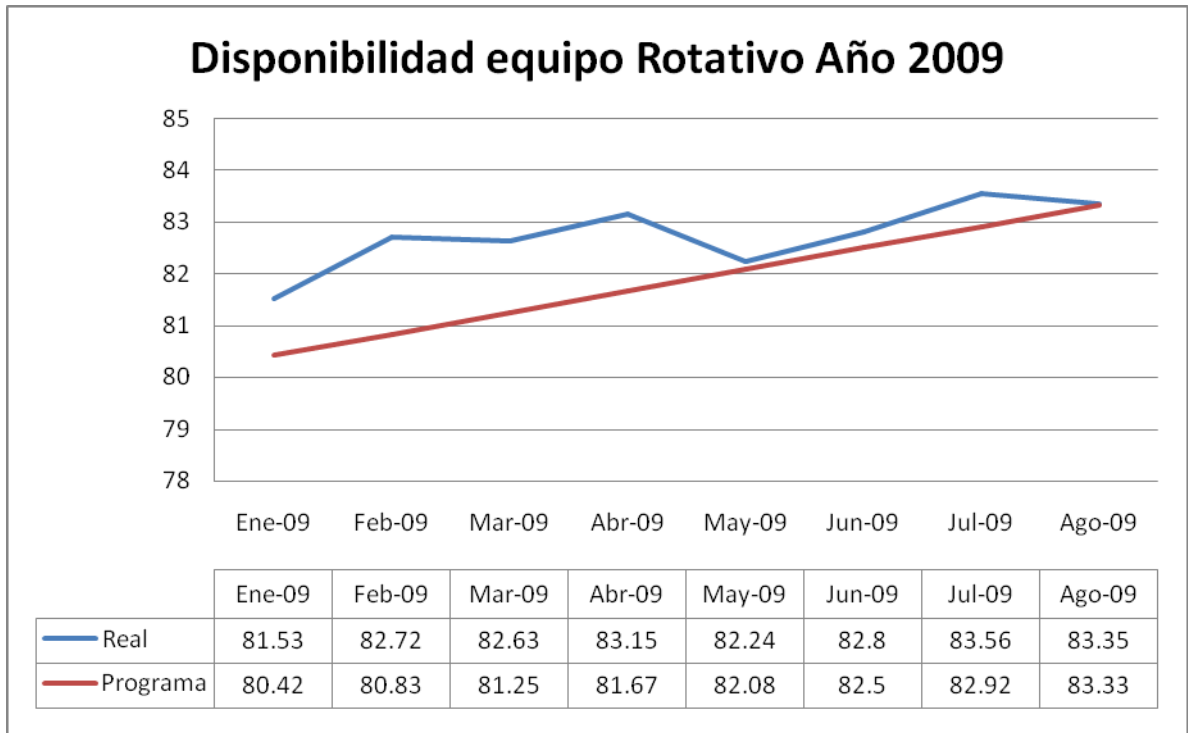
Fuente. Gestión Documental RIS – Ecopetrol S.A.

El promedio de disponibilidad mecánica de equipo rotativo para el año 2008 estaba en 77.70%.

Para el año 2009.

	ENE 2009	FEB 2009	MAR 2009	ABR 2009	MAY 2009	JUN 2009	JUL 2009	AGO 2009
Real	81.53	82.72	82.63	83.15	82.24	82.80	83.56	83.35
Programa (Ajustado)	80.42	80.83	81.25	81.67	82.08	82.50	82.92	83.33

Grafico N 5. Disponibilidad Equipo rotativo año 2009



Fuente. Gestión Documental RIS – Ecopetrol S.A.

El promedio de disponibilidad mecánica de equipo rotativo hasta el mes de julio del año 2009, esta en 82.75%.

Hay bastantes oportunidades pero es claro que el inicio es la estandarización del proceso.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer un sistema de gestión de calidad en la reparación de equipo rotativo que sea la base para que los mantenimientos sean efectivos y la disponibilidad de equipo rotativo confiable de la Gerencia Refinería de Barrancabermeja aumente.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir el listado de actividades de mantenimiento que se realizan al equipo rotativo y agrupar de acuerdo a su naturaleza para proceder a estandarizar. (ejemplo: mantenimientos preventivos son diferentes a los mantenimientos correctivos, o los mantenimientos correctivos de bombas son diferentes a los mantenimientos correctivos de compresores).
- Revisar el proceso actual de mantenimiento de equipo rotativo y establecer las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.
- Revisar las experiencias históricas en procesos de gestión de calidad que se hayan adelantado en la Gerencia Refinería Barrancabermeja.
- Definir el ciclo del proceso de gestión de calidad.
- Establecer la metodología de implementación del sistema de calidad.
- Establecer los puntos de verificación dentro del proceso.
- Establecer la metodología para controlar el proceso y medición de la efectividad del mismo.

- Establecer el ciclo P, H, V, C, al proceso de implementación del sistema de calidad.
- Definir el sistema general del proceso de reparación y establecer claramente los puntos dentro del proceso en los cuales hay interacción con otras dependencias.
- Estandarizar los protocolos y formatos a utilizar dentro del proceso.

6. LINEAMIENTO ESTRATEGICOS DE LA GESTION DE CALIDAD

6.1 MARCO CONTEXTUAL

6.1.1 ANTECEDENTES

Dentro del objetivo de convertirse en una refinería clase mundo la Gerencia Refinería de Barrancabermeja estableció un contrato con Shell Global Solution para realizar un Benchmarking con el fin de optimizar los procesos operativos y de mantenimiento, para lo cual Shell desplazo expertos hacia la refinería para realizar acompañamiento y poder determinar las oportunidades de mejora.

Dentro de lo aprendido Shell compartió sus políticas de mantenimiento entre las cuales se evidencia que sin ser fabricantes de equipos tienen sus propios estándares, bajo los cuales se trabaja y que marcan el lineamiento para los procesos de mantenimiento.

La refinería es una institución grande y con números activos y personal a cargo, se tienen estándares y directrices a nivel gerencial que hacen parte de la estrategia corporativa, pero al nivel interno de sus dependencias como el caso de mantenimiento todavía hay oportunidades de este tipo.

6.1.2 ESTADO ACTUAL DEL PROCESO DE REPARACIÓN DE EQUIPO ROTATIVO DE LA GRB

Se tienen buenas prácticas transmitidas por los numerosos fabricantes y además existen normas como las establecidas por API (Instituto Americano del petróleo) bajo las cuales se rigen la mayoría de sus procesos, pero lo cierto es que aun así es necesario estandarizar los procesos al interior que se adopten al medio.

Hay prácticas de calidad asociadas a un sistema anterior pero debido a reestructuración es necesario actualizar y complementar dichas prácticas.

6.2 MARCO TEORICO

Algunos de los fundamentos teóricos que servirán de guía para la elaboración de la presente monografía son los siguientes:

6.2.1 BASES PARA ESTABLECER EL SISTEMA DE GESTIÓN.

- **Fundamentos de un sistema de gestión:** es necesario establecerlos claramente porque sobre estos es que se construirá todo el objetivo principal de la monografía.
- **Modelos nacionales e internacionales aplicados al sistema de gestión:** es necesario establecer puntos de comparación de este tipo con modelos desarrollados y exitosos que puedan ser adaptados al requerido por la Gerencia Refinería de Barrancabermeja.
- **Tendencias mundiales de la gestión:** debe enmarcar todo el desarrollo del sistema de gestión y debe ser un punto importante durante el proceso de verificación y control.
- **Normalización internacional.**
- **Mantenimiento estratégico:** enfocado en el sistema de gestión de activos, base para el sistema de gestión de mantenimiento.
- **Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad:** son factores claves a los cuales apunta la efectividad del sistema de gestión de mantenimiento.

- **TPM (Mantenimiento Productivo Total):** Es una táctica de mantenimiento de última tendencia que permite asegurar mejor calidad de mantenimiento. El TPM se está implementando en refinería de Barrancabermeja, por lo cual debe estar dentro del sistema de gestión.

6.2.2 DURANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN.

- **Metodología para la implementación del sistema:** es importante definir la metodología una vez se defina el sistema de gestión, y así mismo definir los puntos de control para verificar que la implementación se hace de acuerdo a lo definido.

6.3 MARCO CONCEPTUAL

A continuación se presentan las definiciones de los conceptos más utilizados en la presente monografía, con el objeto de facilitar la lectura y comprensión al lector:

- Ecopetrol S.A: Empresa Colombia de Petróleos S.A.
- VRP: Vicepresidencia
- GRB: Gerencia Refinería de Barrancabermeja
- Gestión de Activos: Estrategia de mantenimiento y cuya metodología es basada en costos e indicadores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad para garantizar que se generen más ingresos con menos gastos.

- Confiabilidad: Se puede definir como la probabilidad en que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.
- Mantenimiento Proactivo: es una técnica enfocada en la identificación y corrección de las causas que originan las fallas en equipos, componentes e instalaciones industriales, esta técnica implementa soluciones que atacan la causa de los problemas no los efectos.
- Mantenimiento Preventivo: es una actividad programada de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido. El propósito es prever averías o desperfectos en su estado inicial y corregirlas para mantener la instalación en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos.
- El mantenimiento preventivo permite detectar fallos repetitivos, disminuir los puntos muertos por paradas, aumentar la vida útil de equipos, disminuir costes de reparaciones, detectar puntos débiles en la instalación entre una larga lista de ventajas.
- Bomba centrífuga: Estas bombas se basan en la fuerza centrífuga, para impulsar el agua; constan de sus partes esenciales, de paletas curvas unidas a un eje que gira rápidamente dentro de una envoltura cerrada que lleva unido en el centro, el tubo de entrada del agua y en su periferia, el tubo de salida.
- Mecánico: Se refiere principalmente para denominar a todos los profesionales que se ocupan de la construcción de equipos industriales y maquinarias, así como de su montaje y de su mantenimiento cuando las máquinas están en servicio.

- Máquina herramienta: Es un tipo de máquina que se utiliza para dar forma a materiales sólidos, principalmente metales. Su característica principal es su falta de movilidad, ya que suelen ser máquinas estacionarias. El modelado de la pieza se realiza por la eliminación de una parte del material, que se puede realizar por arranque de viruta, estampado, corte o electroerosión.
- Sello mecánico: El sello mecánico está destinado a sustituir cada vez en mayor grado, a la junta o empaquetadura tradicional en ejes rotativos. Esto es debido principalmente a una elevada seguridad de servicio, bajo o nulo mantenimiento, pérdidas mínimas y larga duración.

6.4 MARCO LEGAL

Se presenta la normatividad externa e interna consultada para el desarrollo de la monografía:

Normatividad Interna:

Reglamento Interno de trabajo bajo el cual debe estar enmarcado el sistema de gestión de calidad.

Normatividad Externa:

Es una Sociedad de Economía Mixta, de carácter comercial, organizada bajo la forma de sociedad anónima, del orden nacional, en donde el 90% es propiedad del estado Colombiano y el 10% es propiedad de particulares, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, de conformidad con lo establecido en la Ley 1118 de 2006, regida por los Estatutos Sociales que se encuentran contenidos de manera

integral en la Escritura Pública No. 5314 del 14 de diciembre de 2007, otorgada en la Notaría Segunda del Círculo Notarial de Bogotá D.C.

7. METODOLOGIA

7.1 REVISION SISTEMATICA DEL TEMA – CONSULTA A EXPERTOS

- Revisión de los fundamentos teóricos de un sistema de gestión.
- Revisión de la normativa internacional.
- Revisión del estándar de reparación de equipo rotativo de empresas de primer nivel.

7.2 DIAGNÓSTICO AL PROCESO DE REPARACION DE EQUIPO ROTATIVO.

- Establecer un esquema a través del cual se realizara una auditoria de diagnostico, definir secuencia y personas involucradas.
- Clasificar la reparación de equipo rotativo de acuerdo a la naturaleza del mantenimiento, tipo de equipo, etc.
- Definir el pareto de equipo rotativo tanto por clase como por su impacto en la producción.
- Revisar indicadores de equipo rotativo y tendencias históricas para definir elementos que puedan facilitar la priorización de actividades.
- Establecer una matriz de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas al proceso de reparación de equipo rotativo de la GRB.
- De acuerdo al estudio del proceso, definir cuáles de los fundamentos de un sistema de gestión se están aplicando y cuales falta por establecer.

7.3 FORMULACION DEL SISTEMA DE GESTION DE REPARACION DE EQUIPO ROTATIVO DE LA GRB.

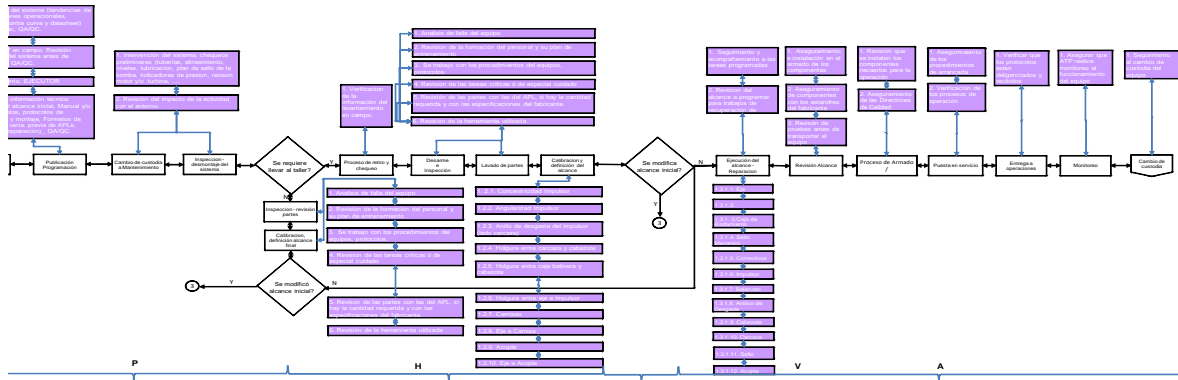
Una vez identificadas las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del proceso de reparación de equipo rotativo y basados en los fundamentos teóricos de un sistema de gestión y en la estandarización según normas internacionales se

formulara el sistema de gestión a aplicar para la reparación de equipo rotativo en la Gerencia Refinería de Barrancabermeja.

7.4 IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE GESTION DE REPARACION DE EQUIPO ROTATIVO DE LA GRB.

Se requiere establecer y estandarizar la metodología para implantar el sistema, para verificar su ejecución y así mismo definir la metodología para monitorear – controlar – ajustar el sistema a través de un ciclo de mejora continua. Figura 2.

FIGURA 2. Gestión de Calidad de Equipo Rotativo – Bombas.



Fuente. Los autores

7.4.1 REPARACIÓN DE BOMBA CENTRIFUGA

7.4.1.1 Componentes De Bomba Centrifuga

a) RODAMIENTOS.

Los rodamientos siempre deben ser inspeccionados (exceptuando cuando se ha determinado previamente que se van a reemplazar) cada vez que la bomba deba ser reparada. El chequeo debe consistir en un una suave rotación del eje con la mano y detectar cualquier tipo de aspereza, o a través de la toma de vibraciones antes de la detención del equipo. Los rodamientos deben ser reemplazados ante el hallazgo de cualquier rugosidad o discontinuidad en el giro del eje o cuando las mediciones de vibraciones realizadas con las técnicas apropiadas den indicios de presencia de daños o inicio de los mismos. También se deben cambiar los rodamientos cuando se ha determinado con certeza que su tiempo de servicio es superior a 3 años o cuando han estado sin operar sin condiciones de preservación especiales por más de 6 meses.

b) ANILLOS DE DESGASTE

El diámetro de los anillos de desgaste no deberá nunca variar más allá del 3% de las dimensiones originales sin la aprobación de ingeniería correspondiente. Cambiar el diámetro de los anillos de desgaste así sea en pequeñas dimensiones puede incrementar ampliamente el empuje axial de la bomba y disminuir la vida útil de los rodamientos.

c) CARCAZA Y CABEZOTE

La carcaza y el cabezote de la bomba deben ser inspeccionados visualmente para detectar rastros de corrosión y/o erosión excesiva. Todas las reparaciones en los

cabezotes deben ser debidamente documentadas en los medios adecuados. También es necesario documentar los casos donde no se detecten rasgos significativos de corrosión o erosión, donde se evidencie que el componente fue Inspeccionado y Aceptado.

7.4.1.2 Control De Cambios

Todos los cambios en una bomba que no sean simplemente un reemplazo debe ser acompañado por el respectivo proceso de control de cambios y la aprobación de ECOPETROL S.A. “Un reemplazo” se considera cuando se cambia una pieza de la maquinaria por otra de idéntica manufactura, dimensiones y materiales.

Además, cualquier cambio en la bomba que requiera revisión de procedimientos de operación, mantenimiento o P&ID's debe cumplir con los requerimientos del proceso de control de cambios. Un ejemplo de cambios que tiene que cumplir estos requerimientos es cuando se requiere un impulsor con un diámetro mayor o la instalación de un nuevo sistema de sellado mecánico.

7.5 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD PARA LA REPARACION DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS

7.5.1 CHEQUEOS PRELIMINARES

Se realizará una visita de campo al sistema que va a ser intervenido a fin de obtener información que pueda contribuir a desarrollar de una forma más eficiente y eficaz el proceso de mantenimiento. Esta observación o chequeo debe incluir un reporte de si el sello ha fugado, si los rodamientos tienen ruido o no o presentan frecuencias de vibración que evidencien su daño o deterioro, evidencia de esfuerzos generados por las tuberías, estado del Base plate y otras observaciones importantes.

7.5.2 CHEQUEO EN CAMPO

Esta etapa del proceso incluye la recolección de información que posteriormente asegurará que el sistema en cuestión cumpla con los requerimientos mecánicos, hidráulicos, metalúrgicos y de construcción requeridos por ECOPETROL S.A. Durante este proceso, se deben seguir los procedimientos adecuados para evitar daños a componentes que pueden ser reutilizados.

7.6 PROCESO DE DESARME

Esta etapa del proceso incluye la recolección de información que posteriormente asegurará que el sistema en cuestión cumpla con los requerimientos mecánicos, hidráulicos, metalúrgicos y de construcción requeridos por ECOPETROL S.A. Durante este proceso, se deben seguir los procedimientos adecuados para evitar daños a componentes que pueden ser reutilizados. Inicialmente la siguiente lista de elementos debe ser chequeada y documentada para la verificación de la selección:

Tipo de bomba, tamaño de bomba, modelo de la bomba, tipo y tamaño de bridas de succión y descarga, rotación de la bomba, dimensiones básicas, condiciones actuales reales de operación, definición de los posibles modos de falla, recolección de evidencias para posteriores análisis de falla, necesidad de repuestos nuevos u otros componentes, desarrollo de planos, etc. Una vez desarmada y después de la inspección inicial los componentes son sometidos a un proceso de limpieza con productos químicos, Sand Blast, etc.

Todas las partes de la bomba deben ser cuidadosamente inspeccionadas durante el desensamble, el resultado de estas inspecciones debe ser consignado en la carpeta de reparación. Esta inspección deberá incluir la medición de los runouts, medición de las dimensiones críticas, e inspección visual de las partes con

desgaste o daño. Esta información será utilizada para documentar la condición como se encontró el equipo y para determinar el alcance total de los trabajos en el sistema.

Una vez la bomba es desarmada, consigne los siguientes runouts en la carpeta de reparación y anote los valores que se encuentran "OK" y los "No OK". Si alguna lectura no puede ser tomada o cuando algún tipo de medición no corresponda o no aplique por los diferentes tipos de bombas entonces se debe anotar en la carpeta de reparación como No Aplica (N/A)

a. CONCENTRICIDAD EXTERIOR DEL IMPULSOR (DIÁMETRO EXTERNO)

Este chequeo se hace con propósitos informativos únicamente. No existen referencias Normativas para este valor excepto para trabajos de maquinado.

b. ANGULARIDAD DEL IMPUSOR (CARA)

Permitido 0.050 mm (.020") TIR max.

c. ANILLO DE DESGASTE DEL IMPULSOR (LADO CARCAZA)
CONCENTRICIDAD LADO EXTERIOR.

Permitido 0.125 mm (.005") TIR max

d. HOLGURA ENTRE CARCAZA Y CABEZOTE

Concentricidad (Diámetro exterior)

Permisible 0.10 mm (.004") TIR max.

Angularidad (cara)

Permisible 0.10 mm (.004") TIR max.

e. HOLGURA ENTRE CAJA DE RODAMIENTOS Y CABEZOTE

Concentricidad (Diámetro exterior)

Permisible 0.10 mm (.004") TIR max.

Angularidad (cara)

Permisible 0.10 mm (.004") TIR max.

f. HOLGURA ENTRE EJE E IMPULSOR

Concentricidad (Diámetro exterior)

Permisible 0.075 mm (.003") TIR max.

g. CAMISAS

Concentricidad (Diámetro exterior)

Tabla 2. Holgura de las camisas con el eje

Diámetro del eje	Runout permisible
0 - 50 mm	0.05 mm (.002") TIR max
50 - 100 mm	0.075 mm (.003") TIR max
100 - 150 mm	0.10 mm (.004") TIR max

Fuente. Norma API 610

h. EJE A CAMISA

Concentricidad (Diámetro exterior)

Permisible 0.075 mm (.003") TIR max.

i. ACOUPLE

Concentricidad (Diámetro exterior)

Permisible 0.075 mm (.003") TIR max.

Angularidad (cara)

Permisible 0.075 mm (.003") TIR max.

j. EJE A ACOUPLE

Concentricidad (Diámetro exterior)

Permisible 0.075 mm (.003") TIR max.

Mida el juego axial final en el eje y consígnelo en la carpeta de reparación del equipo.

Permisible 0.025 – 0.075 mm (.001" - .003").

Después de que la bomba ha sido desarmada, se debe medir y registrar en la carpeta de reparación las siguientes dimensiones y calcule los ajustes y las holguras de estas dimensiones. Limpie las partes primero, para obtener buenas lecturas, realice cada medición en más de un lugar para obtener mayor precisión.

- Diámetro del impulsor
- Diámetro interior de anillo de desgaste de la carcaza.
- (Tomar en el campo, si la carcaza se va a dejar en planta)
- Diámetro exterior de anillo de desgaste del impulsor (Lado carcaza)
- Tolerancia entre anillos de desgaste lado carcaza.
- Diámetro del anillo de desgaste del cabezote.
- Diámetro del anillo de desgaste del impulsor lado cabezote.
- Tolerancia de los anillos lado cabezote.

- Diámetro interno del buje de Garganta.
- Holgura del buje de garganta.
- Tolerancia diametral del cabezote y la carcaza.
- Holgura del buje de Garganta
- Holgura diametral entre la carcaza y el cabezote.
- Diámetro de la guía entre el cabezote y la carcaza
- Ajuste de la guía entre el cabezote y la carcaza permisible 0 - 0.01 mm (000" - 004")
- Diámetro interno del impulsor.
- Diámetro del eje en el área del impulsor.
- Holgura entre eje e impulsor Permitido 0 - 0.075 mm (000" - .003") flojo
- Diámetro interno del acople.
- Diámetro del eje en el área del acople.
- Holgura entre el eje y el acople

Tabla 3. Holgura entre el eje y el acople

TAMAÑO DEL EJE	AJUSTE PERMISIBLE
0 - 50 mm	0.0125 mm apriete - 0.038 mm soltura
50 – 100 mm	0.0125 mm apriete - 0.063 mm soltura
100 - 150 mm	0.0125 mm apriete - 0.075 mm soltura
Sobre 150 mm	Consultar Departamento de ingeniería

Fuente. Norma API 610

- Diámetro interno de la camisa
- Diámetro del eje en el área de la camisa
- Ajuste entre el eje y la camisa.
- Permissible 0.025 – 0.075 mm (0.001" – 0.003") flojo

Las siguientes dimensiones y tolerancias normalmente no están listadas en la carpeta de reparación del equipo, pero deben ser chequeados en cada desensamble. Si alguna de estas se encuentra por fuera de especificación, debe documentarse en la carpeta de reparación del equipo.

- Diámetro de la caja de rodamientos en el lado cabezote.
- Asegure el adecuado espacio para el crecimiento axial del eje por temperatura en la caja de rodamientos. Para hacer esto, se debe medir la distancia desde el lado del impulsor hasta el rodamiento de empuje y desde el lado del impulsor hacia el rodamiento radial con los rodamientos montados en el eje. Luego se debe medir la distancia desde el hombro del rodamiento axial en la caja a la tapa que cubre el rodamiento radial. La diferencia entre la distancia de la caja y la distancia entre los rodamientos es el espacio disponible para el crecimiento térmico. Permisible 1.6 mm (1/16") mínimo.
- Verificar que la pista del rodamiento radial no sobresale dentro de la caja. Se debe medir la distancia desde el lado del impulsor del rodamiento axial hasta el lado acople del rodamiento radial. Luego comparar esto con la distancia desde el hombro de empuje de la caja de rodamientos hasta el inicio del orificio de alojamiento del rodamiento radial. La distancia del rodamiento debe ser igual o mayor que la distancia de la caja.
- Mida y registre en la carpeta de reparación el diámetro del eje en el área de alojamiento de los rodamientos y el diámetro de los agujeros de los rodamientos. Se debe chequear por bamboleo o adelgazamiento.

Consigne el nombre del fabricante y el número de los rodamientos que son retirados del equipo en la carpeta de reparación.

Mida y consigne en la carpeta de reparación las dimensiones de los empaques de las carcazas, el tipo y el material de los empaques.

7.7 PROCESO DE CALIBRACION INICIAL Y REPARACION

La Información debe ser documentada en el reporte estándar de inspección y desarmado de ECOPETROL S.A.

Los componentes a inspeccionar son las siguientes:

1) EJE

Se deben tomar y documentar los valores de run out sobre la longitud completa y todas las medidas de diámetro en los puntos críticos del eje. Todas las anomalías encontradas deberán ser analizadas en conjunto con el personal de soporte técnico de ECOPETROL S.A.

El eje debe ser retirado de la caja de rodamientos para realizar su inspección y la de los rodamientos.

Se debe revisar el eje para detectar cualquier tipo de torcedura tomando los runouts en el alojamiento del impulsor, camisa, rodamientos y acople. Consigne esto en la carpeta de reparación.

Se debe medir y registrar el diámetro del eje en el área del impulsor, camisa, rodamientos y acople, registre esto en la carpeta de reparación del equipo.

Verifique las tolerancias de montaje de rodamientos de acuerdo con las tablas ABEC-1 referidas en estas especificaciones.

Se debe asegurar que las pistas del rodamiento radial no sobresalen de la caja de rodamientos. Para hacer esto deberá medir la distancia desde los rodamientos de empuje lado impulsor hasta el lado acople del rodamiento radial. Se debe

comparar esto con la distancia desde el hombro de empuje de la caja de rodamientos hasta el inicio del alojamiento del rodamiento radial. La distancia entre los rodamientos debe ser mayor que la distancia medida en la caja.

Pula el eje utilizando papel de lija excepto en el área de rodamientos.

No es aceptable el bruñido de las áreas de alojamiento de los rodamientos para dar los ajustes recomendados.

El uso de trabas químicas no es aceptado.

2) AJUSTE, HOLGURA Y TOLERANCIAS.

Todas las tolerancias son totales o diametrales.

Runouts permisibles y ajustes críticos	(Rodamientos, Acople, Impulsor)
Cuando se ensambla en la bomba	0.075 mm (.003") TIR max.
Entre los centros o Bloques-V	0.05 mm (.002")
Runout zona de ajuste de rodamientos	0.0125 mm (.0005") TIR max.
Runout en los hombros de ajuste del Impulsor y los rodamientos	0.0125 mm (.0005") TIR max.

➤ Ajuste entre eje e impulsor

0.00 - 0.075 mm (.000" - .003") Flojo

➤ Holgura entre la camisa del sello y el buje garganta

0.76 - 1.52 mm (.030"- .060")

➤ Eje y Camisa

0.025 - 0.15 mm (.001" - .006")

➤ Holgura entre el anillo de laberinto y el eje

0.38 - 0.5 mm (.015" - .020")

➤ Tolerancia del buje tipo garganta

Ver tabla

➤ Ajuste entre el eje y el acople

Tabla 4. Tolerancia para bujes de garganta

DIAMETRO DEL EJE	AJUSTE
0 - 50 mm (0" 2")	.0005" - .0015" Flojo
50 - 100 mm(2" 4")	.001" - .0025" Flojo
100 - 150 mm (4" 6")	.0015" - .003" Flojo
Sobre 150 mm (6")	Consultar fabricante del acople

Fuente. Norma API 610

7.8 RODAMIENTOS

Los rodamientos de bolas normalmente se deben cambiar como parte de una reparación general a no ser que estén en buenas condiciones y hayan operado por un tiempo inferior a 1 año.

Durante el desensamble el eje se debe girar para determinar la condición de los Rodamientos.

El juego axial debe ser medido y registrado durante el desensamble y el ensamble del equipo.

Los rodamientos se deben reemplazar siempre que no exista registro de su tiempo de utilización.

Se deben utilizar exactamente los rodamientos especificados para el equipo por el fabricante, y las marcas aceptadas por ECOPETROL S.A

Compare la medida de los rodamientos nuevos con la tabla estándar de rodamientos ABEC-1. Reemplace los rodamientos fuera de tolerancia.

Los ajustes en el eje y en la casa de rodamientos deben ser siempre conforme con el estándar.

El aro exterior del rodamiento radial se debe poder mover axialmente para acomodarse al crecimiento térmico axial del eje. No se acepta ningún tipo de traba para sujetarlo. Rodamientos axiales de contacto angular deben ser instalados espalda con espalda deben instalarse directamente sobre el eje a no ser que el fabricante especifique otra cosa.

I. AJUSTA, HOLGURAS Y TOLERANCIAS

Movimiento radial máximo del eje.	0.075 mm (.003") max.
Juego Axial (Thrust) Flotante	0.05 - 0.10 mm (.002" - .004")
Ajuste entre el eje y el rodamiento	Por ABEC- 1 o apéndice
Holgura entre la caja y el rodamiento	Por apéndice

7.8.1 CAJA DE RODAMIENTO

Cheque la condición general de la caja de rodamientos.

Cuando se tenga un equipo que haya presentado fallas repetitivas en rodamientos o cuando se realicen trabajos de reconstrucción o recuperación de los alojamientos de los rodamientos, chequee la concentricidad de los alojamientos el uno contra otro.

Asegure el adecuado espacio para el crecimiento axial del eje por temperatura en la caja de rodamientos.

Reemplace o recupere mediante los métodos adecuados la caja de rodamientos cuando esta exceda tolerancias en los alojamientos de los rodamientos.

7.8.2 SELLOS MECÁNICOS

Estos sellos impiden el escape de aceite hacia el exterior y limitan el ingreso de contaminantes. Existen varios tipos siendo el más común el sello tipo laberinto en un material que no produzca chispa. La operación de este sello es complementada con la del deflector, el cual hace una barrera para evitar el ingreso de contaminantes.

La superficie interior de este sello hace restricción directamente contra la superficie del eje o en algunos casos contra un buje rotativo. Si no existe información específica sobre el laberinto se puede definir una holgura con el eje que oscile entre 0,20 mm y 0,30 mm

Los sellos de labio no son aceptables, si algún equipo que llega a reparación tiene sellos de labio estos deberán ser cambiados por sellos de laberinto simples. (No

se considera la instalación de otros tipos de sellos para cajas de rodamientos)
Toda caja de rodamientos deberá ser marcada en caso de no existir con una flecha indicando la apropiada rotación y el número del Tag del equipo.

Las cajas de rodamientos deben tener la marca permanente del nivel apropiado de aceite.

Si se utilizan enfriamiento en la bomba, se deben limpiar las cavidades de enfriamiento para asegurar el apropiado flujo.

Revisar los pasajes internos de aceite para detectar obstrucciones y hacer limpieza total, Se deben registrar todas las condiciones encontradas durante la reparación.

a. AJUSTES, HOLGURAS Y TOLERANCIAS.

Ajuste entre Caja de Rodamientos y Cabezote

0.00 - 0.1 mm (.000" - .004") Flojo

Ajuste entre caja de rodamientos y adaptador

0.025 - 0.05 mm (.001" - .002") flojo

Ajuste entre tapa de caja de rodamientos y caja.

0.025 - 0.1 mm (.001" - .004") flojo

- Concentricidad (I.D. o Vd.) de la caja de chumaceras al cabezote.

Chequeado desde el eje ensamblado en la caja.

0.10 mm (.004") TIR max.

- Angularidad (Cara) del alojamiento de los rodamientos con la guía del cabezote

Chequeado con el eje ensamblado en la caja de rodamientos.

0.10 mm (.004") TIR max.

- Diámetros internos de los rodamientos.

Concentricidad entre las áreas de alojamiento de los rodamientos.

0.0125 mm (.0005") TIR max.

- Concentricidad del agujero de alojamiento de los rodamientos de empuje

0.125 (.0005") TIR max.

7.9 IMPULSOR

Revise la condición general del impulsor. Revise grietas, obstrucciones en las cavidades de los alabes, erosión / corrosión, cuñero defectuosos, etc.

Limpie el impulsor para remover oxido, depósitos, esto se debe hacer antes del balanceo.

Chequee el Runout del impulsor en el anillo de desgaste, en el diámetro exterior del impulsor y en la cara del impulsor cerca de la zona de los alabes.

Mida y registre el diámetro externo del impulsor, el diámetro del agujero del impulsor y los diámetros de los anillos de desgaste. Si los anillos de desgaste son reemplazados, mida el diámetro de ajuste del impulsor y los anillos. Mida cada dimensión en más de un lugar para chequear ovalamiento o adelgazamiento. Cuando se midan y se registran los ajustes de los anillos de desgaste, use el

promedio de la medida mas larga y mas corta diametralmente para cada componente. Deben tomarse 3 medidas cada 120° para obtener una lectura completa de toda la circunferencia.

Mantenga las medidas originales del fabricante en el impulsor y en los anillos de desgaste y en los ajustes entre ellos.

Mantenga siempre la medida original del diámetro interno del impulsor.

Reemplace el impulsor y los anillos de desgaste por el material y el tamaño adecuado, siempre debe remitirse al manual del fabricante y al data sheet de la bomba si requiere información del tamaño y el material del impulsor.

En caso de requerirse ordenar un impulsor nuevo, siempre se deberá pedir el impulsor de tamaño máximo y en caso de que se requiera recortar, debe hacerse en sitio.

El maquinado final del impulsor deberá realizarse sobre un mandril o sobre el mismo eje del equipo.

Balancee el impulsor después de todos los maquinados y después de que la instalación de los anillos este completa.

I. Ajustes, holguras y Tolerancias

Ajuste entre el impulsor y los anillos de desgaste

0.025 - 0.10 mm (.001" - .004") Apriete

Holgura entre eje e impulsor.

0.00 - 0.075 mm (.000" - .003") Deslizante

Runout del impulsor en el área de ajuste de los anillos

0.05 mm (.002") TIR max

Descentrado del impulsor en el área de ajuste de anillos

0.10 mm (.004") max

Angularidad del impulsor (Cara)

0.5 mm (.020") TIR max.

Este se mide cuando el eje este ensamblado en la bomba y tan cerca como se pueda del diámetro exterior del impulsor, ignore las marcas de balanceo y otras irregularidades.

Runout en el diámetro exterior del impulsor instalado en la bomba.

0.125 (.005") TIR max.

7.9.1 BALANCEO

Todos los impulsores deben ser balanceados sin importar velocidad de operación, material etc.

Los impulsores se deben balancear montados en un mandril o sobre su propio eje. Los impulsores deben balancearse dinámicamente al grado G1.0 de la especificación 1940 (4W/N) o 7gr-mm (0.01 oz-pulg) la que sea mayor.

7.9.2 ANILLOS DE DESGASTE

Siempre se deben mantener los anillos de desgaste en las dimensiones originales. Reemplace los anillos de desgaste que se encuentren corroído o erosionados.

La información de la inspección y calibración debe documentarse en la carpeta de reparación del equipo.

Los diámetros de los anillos de desgaste fabricados para el impulsor no deben ser cambiados en más de un 3% de la dimensión del fabricante. Si esto se excede reemplace los anillos y regrese al estándar.

Reemplace los anillos con el material recomendado por el fabricante o por estas especificaciones.

En bombas de baja temperatura (Menos de 200°C, instale anillos de desgaste con ajuste de interferencia)

En bombas de alta temperatura (más de 200°C utilice tornillos prisioneros para asegurar los anillos al impulsor o a la carcaza)

NOTA: Los materiales de los tornillos se deben seleccionar con los mismos criterios que se seleccionan los otros materiales del equipo.

Cuando se fabriquen anillos para ser instalados en impulsores, el maquinado final de los anillos se debe realizar con los anillos montados en el impulsor y este a su vez en un mandril o en su propio eje.

Para el registro del ajuste dimensional de los anillos de desgaste, utilice el promedio de la medida más grande y la más pequeña medidas en el diámetro total. Se deben tomar 3 medidas cada 120° para cubrir toda la circunferencia.

I. Ajuste, holguras y tolerancias

Anillo de desgaste al impulsor lado cabezote o carcaza

0.025 - 0.075 mm (.001" - .003") Ajuste

Runout de los anillos de desgaste.

Cuando el impulsor es ensamblado en la bomba 0.125 mm (.005") TIR max.

Concentricidad del anillo de desgaste 0.01 mm (.004") max.

Estas tolerancias aplican para el lado que se ajusta en el anillo, por ejemplo, en los anillos del impulsor del lado interior del anillo y en la carcasa como en el cabezote del lado exterior del anillo.

7.10 CABEZOTE

Revise la condición general del cabezote.

Cuando se reparen los cabezotes, se debe devolver a las condiciones originales del fabricante. Cuando se suelde, utilice procedimientos adecuados de soldadura para equipos presurizados.

Reemplace o repare un cabezote corroído o erosionado. Esto es mandatorio si es una bomba que maneja hidrocarburo y la presión de integridad no es la adecuada. Investigue un posible cambio de material.

Mida y registre todos los ajustes, dimensiones y runouts. Mida cada dimensión en más de un lugar para chequear excentricidad o adelgazamiento. Cuando se mida y se registre el ajuste de los anillos, use el promedio de los más grandes y pequeños diámetros para cada componente. Se deben realizar 3 mediciones cada 120° para cubrir todo el perímetro de la circunferencia.

Remueva tapones, niples y líneas de los sello o de las cajas de empaques.

Limpie todos los orificios de enfriamiento y los accesorios asociados como tubería, niples, tapones, separadores etc.

I. Ajuste, holguras y tolerancias

Ajuste del Buje de garganta al cabezote
0.025 - 0.075 mm (.001" - .003") Apriete

Holgura del buje garganta Ver Tabla

Soporte de caja de rodamiento al cabezote
0.00 - 0.10 mm (.000" - .004") Holgura

Ajuste entre el cabezote y la carcaza
0.00 - 0.10 mm (.000" - .004") Holgura

Ajuste del anillo de desgaste y el cabezote
0.025 - 0.075 mm (.001" - .003") Ajuste de apriete

Excentricidad del anillo de desgaste
0.10 mm (.004") max

Concentricidad (Diámetro Interno o Externo) del cabezote con la caja de rodamientos

Cuando es medido desde el eje ensamblado en la bomba
0.10 mm (.004") TIR max.

Angularidad (Cara) en la superficie del empaque en el cabezote

Medido con el eje ensamblado en la bomba

0.10 mm (.004") TIR max.

Concentricidad (Diámetro Interno o Externo) de la caja de empaques en el área de Gland Pilot.

Medido con el eje ensamblado en la bomba

0.125 mm (.005") TIR max.

Angularidad (Cara) de la caja de empaques

Medido con el eje ensamblado en la bomba

0.125 mm (.005") TIR max.

Concentricidad del cabezote en el área de ajuste de la caja de rodamientos.

Área de ajuste del cabezote con la caja de rodamientos

0.05 mm (.002") TIR max.

Runout en el área de alojamiento del anillo de desgaste del cabezote

0.05 mm (.002") TIR max.

Runout en el área de alojamiento del buje de garganta en el cabezote.

0.05 m (.002") TIR max.

7.11 CARCAZA

Se debe revisar la condición General de la carcaza, las bridas, las bridas, la voluta, los difusores contra erosión, corrosión severa o pitting. Revise también la tubería y los nipples asociados, los pedestales y la base sobre los que se apoyan.

Mida y registre el diámetro del anillo de desgaste alojado en la carcaza y el diámetro de la guía de la carcaza respecto al cabezote. Mida cada dimensión, en más de un lugar para obtener mejores datos. Cuando mida y registre los diámetros de los anillos y guías, utilice el promedio de la medida mas corta y mas larga obtenida en cada área o componente. Tres mediciones cada 120° serán suficientes.

Cuando haga un cambio o una reparación, regrese las medidas y las holguras a los recomendados por el OEM. Si la carcaza es en un acero aleado, puede requerirse un tratamiento térmico especial. Utilice los procedimientos de soldadura adecuados para equipos sometidos a presión.

Cuando reemplace la carcaza utilice los materiales adecuados.

Revise que el ancho del empaque del cuerpo sea el adecuado.

Mida y registre el tamaño del empaque, el tipo, el ancho y el material.

Limpie toda la tubería asociada, los accesorios como nipples, conexiones y válvulas.

I. Ajuste, holgura y tolerancia

Ajuste del alojamiento del anillo de desgaste en la carcaza
0.025 - 0.075 mm (.001" - .003") Apriete

Ajuste entre la carcaza y el cabezote

0.00 - 0.10 mm (.000"- .004") Flojo

Concentricidad del alojamiento del anillo de desgaste de la carcaza con la guía entre la caja y el cabezote.

0.05 mm (.002") TIR max.

Excentricidad del alojamiento del anillo de desgaste del cabezote

0.01 mm (.004") max.

Perpendicularidad de la superficie del alojamiento del empaque con la guía.

0.25 (.001") TIR max.

7.12 SELLOS MECANICO

Siempre utilice el plano del sello mecánico durante el armado y el desarmado del sello.

Verifique la condición general del sello, de sus partes y accesorios para determinar probables causas de fallas, especialmente si la razón que motiva la reparación es escape por sello. Documente los resultados de la inspección, los comentarios y las recomendaciones en la carpeta de reparación del equipo.

En los equipos que vayan al taller para reparaciones generales se debe siempre inspeccionar y reparar el sello mecánico.

En bombas con repetitivas fallas por sello mecánico, se debe chequear la concentricidad del agujero y de la guía de la caja de empaques diámetro interno y externo y la angularidad y cara de la misma.

Mida y registre el diámetro interno el diámetro interno de la camisa en el área de alojamiento de la camisa en el eje, si la holgura no se encuentra entre la tolerancia, determine cual es la parte que esta por fuera de especificaciones y corríjala.

Normalmente el diámetro del eje debe estar entre + 0.00 - 0.05 mm (.000"-.002") por encima del diámetro nominal y la camisa debe tener un diámetro nominal + 0.025 - 0.125 mm (.001" - .005").

Chequee las dimensiones de todas las partes nuevas de los sellos contra el plano del sello anterior para verificar que el sello que se va a instalar es el apropiado. Discuta con el supervisor si usted sospecha de un cambio de material o si requiere algún tipo de modificación.

Documente en la carpeta de reparación el fabricante del sello, tipo y número de dibujo del sello que va a ser instalado.

Siempre que se intervenga el sello mecánico debe cambiarse elementos de sellado secundarios "o-rings o grafoils", resorteria y tornilleria de los collarines.

Siempre se deben lapear las caras de sellado a no ser que se hayan encontrado fracturado o con ralladuras profundas.

I. Ajuste, holguras y tolerancia

Todas las holguras y tolerancias son totales o diametrales

Camisa-a-Eje

0.025 - 0.075 mm (.001" - .003") Flojo

Tabla 5. Run out permisible para camisas de sello

Camisa Diámetro Externo	Runout permisible
0 - 50 mm (0 - 2")	0.05 mm (.002")
50 - 100 mm (2"-4")	0.075 mm (.003")
Over 100 mm (4")	0.10 mm (.004")

Fuente. Norma API 610

Bombas con sello mecánico.

Holgura del buje de garganta del sello (Blowout)

0.75 - 1.5 mm (.030" - .060")

Runout diámetro interno o externo de la guía de la caja de sellado

Medido con el eje ensamblado en la bomba

0.125 mm (.005") TIR max.

Runout de la cara de la caja de sellado

Medido con el eje ensamblado en la bomba

0.125 mm (.005") TIR max.

Tolerancia dimensional diámetro externo de la camisa

(Desviación permisible desde el diámetro Standard)

+ 0.025 - 0.075 mm (.001 - .003")

Tolerancia entre el pumping ring y la camisa de la caja de empaque

0.75 - 1.0 mm (.030" - .040")

7.13 ACOPLE

Revise la condición General del acople.

Revise y registre la concentricidad del Hub del acople (Diámetro interno y externo) y la angularidad de la cara.

La posición del hub del acople en el eje debe ser claramente documentada antes de removerlo o siempre se debe dejar a tope con el final del eje.

Para quitar el acople se deben utilizar extractores mecánicos o hidráulicos nunca golpee las manzanas del acople ya sean puestas o por fuera del eje.

Acoples que puedan representar un problema para futuras remociones en campo Deben tener taladros para poner tornillos de extracción en lugares apropiados para estos.

Reemplace cualquier manzana de acople que se encuentre corroída o golpeada.

Las trabas químicas no son aceptadas para ajustar acoples a los ejes.

Los ajustes de las manzanas en los ejes pueden ser de dos tipos flojos o de apriete.

Los acoples con apriete serán hasta de 0.0125 mm (.0005") metal - metal. Los ajustes flojos deben estar en concordancia con la tabla adjunta Si el ajuste es flojo se deben utilizar prisioneros teniendo en cuenta lo siguiente:

La manzana del acople se debe fijar al eje con la ayuda de por lo meno un tornillo prisionero localizado en el cuñero de la manzana. Si el tornillo llena menos de 2/3 del agujero, entonces se deberá hacer otro agujero para otro tornillo a 180° para evitar afectación en el balanceo del equipo.

I. Ajustes, holguras y tolerancias

Acople- Eje Ajuste (Flojo):

Tabla 6. Ajuste eje – acople

Diámetro del eje	Ajuste
0" - 2"	0.013 - 0.04 mm (.0005" - .0015") Flojo
2" - 4"	0.025 - 0.06 mm (.001" - .0025") Flojo
4" - 6"	0.038 - 0.075 mm (.0015" - .003") Flojo
Over 6"	Consulte a Ingeniería

Fuente. Norma API 610

Runout de la cara del acople

0.075 mm (.003") TIR max.

Runout del diámetro externo del acople

0.75 (.003") TIR max

8. PROCESO DE REVISIÓN DE ALCANCE

Cuando la inspección sea concluida y el reporte de inspección este terminado, se aprueba el alcance final del trabajo a realizar.

8.1 CONSTRUCCION DE LOS INTERNOS DE LA BOMBA

Si se determina la necesidad de construcción de algún componente interno del equipo se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- Debe ser concertado con el personal de soporte técnico de ECOPETROL S.A. en caso de que no hubiese sido incluido en el alcance inicial del trabajo.
- El procedimiento de reparación y/o reconstrucción debe ser aprobado por ECOPETROL S.A.

Los materiales utilizados deben ser certificados.

Las dimensiones deben corresponder a las del fabricante original del equipo.

En todo caso la fabricación, la instalación, ajustes, holguras, dimensiones, tratamientos, se harán de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y/o a los estándares técnicos.

En caso de trabajos de reconstrucción o reparación sobre carcasa y/o cajas de rodamientos, deberán ser probados hidrostáticamente para confirmar la estanqueidad.

9. ARMADO

Se debe completar la información anterior y posterior al ensamble del equipo en los formatos entregados por ECOPETROL S.A.

A no ser que se especifique lo contrario en el alcance inicial, una vez se haya terminado el proceso de ensamble del equipo, el contratista debe pintar exteriormente con pintura esmalte sintético los equipos referenciados; para lo cual se debe utilizar la pintura de esmalte sintético color verde maquina referencia 12116 de Pintuco o similar, para la aplicación se deben seguir los siguientes requerimientos:

La superficie que se va a pintar debe estar seca y libre de polvo, grasa y pintura deteriorada. Las grietas y otros defectos que puedan dañar el acabado se resanan previamente. A los metales se les aplica Anticorrosivo Pintuco.

Las pinturas deterioradas se eliminan con rasqueta o cepillo de alambre o con removedor.

Las pinturas brillantes en buen estado se lijan suavemente en seco; si son mates o semibrillantes, se limpian bien.

Durante el re ensamble, se deben medir y registrar todos los datos solicitados en los protocolos suministrados por ECOPETROL S.A. Se deberán corregir todos los parámetros que no cumplan con los requerimientos de los estándares.

Tabla 7. Holguras y tolerancias para chequeo en la reparación

VERIFIQUE CON INDICADOR	CONCENTRICIDAD (Diámetro interno ó Diámetro Externo)	ANGULARIDAD (Cara)
Runout del impulsor *	Sin limite definido	.020" TIR. Max.
Runout anillo de desgaste del impulsor *	.005" TIR Max.	N/A
Runout de la guía entre el cabezote y la voluta*	.004" TIR Max.	.004" TIR Max
Runout en la guía de la caja de rodamientos y el cabezote *	.004" TIR Max.	.004" TIR Max
Runout del eje en el área del impulsor *	.003" TIR Max.	N/A
Runout de la camisa: 0" - 2" Dia. 2" - 4" Dia. 4" - 6" Dia.	.002" TIR Max. .003" TIR Max. .004" TIR Max.	N/A N/A N/A
Runout del eje en el área de la camisa *	.003" TIR Max	N/A
Runout del acople *	.003" TIR Max.	.003" TIR Max
Runout del eje en el área del acople *	.003" TIR Max.	N/A
Juego Axial *	.002" - .004	
VERIFICACION DIMENCIONAL	TOLERANCIAS	
Holgura del anillo de desgaste de la carcaza	Ver tabla	
Holgura del anillo de desgaste del cabezote	Ver tabla	
Holgura del buje de Garganta	Ver tabla	
Ajuste de la carcaza al	.000" .004" Flojo	

VERIFIQUE CON INDICADOR	CONCENTRICIDAD (Diámetro interno ó Diámetro Externo)	ANGULARIDAD (Cara)
Cabezote		
Ajuste de la caja de rodamientos al cabezote	.000" .004" Flojo	
Ajuste del eje al Impulsor	.000" .003" Flojo	
Ajuste del acople: Con ajuste de apriete: Con ajuste flojo: 0" - 2" Dia. 2" - 4" Dia. 4" - 6" Dia.	.0005" apriete metal-metal .0005" - .004" Flojo .001" -.004" Flojo .0015" -.003" Flojo	
Ajuste de la camisa	.001" -.006" Flojo	
Holgura del buje de garganta del eje	.030" -.060"	
Orificio de la caja de Rodamientos	Ver tabla en el apéndice	
Diámetro del eje en los alojamientos de los rodamientos	Ver tabla en el apéndice	

Fuente. Norma API 610

- Chequeos realizados desde el eje montado en a caja de rodamientos

NOTA. Todas las holguras están dadas en forma total o diametral en pulgadas.

DESEMSAMBLE Y REEMSAMBLE

Tabla 8. Holguras y tolerancias no consignables en la carpeta de reparación

CHEQUEO DE TOLERANCIAS DE MANTENIMIENTO NO ENCONTRADAS EN LA CARPETA DE REPARACION	
EJE	
Chequeo de levantamiento:	
Rodamiento Radial	.003" Max.
Rodamiento Axial	.003" Max.
Holgura del eje-a- Empaque	.020" - .032"
Holgura del eje-a-Anillo de linterna	.015" - .020"
ANILLO DE DESGASTE	
Ajuste del anillo de desgaste al impulsor, Cabezote o Carcaza	.001" - .003" Apriete
Runout de los anillos del impulsor	.005" TIR Max.
CABEZOTE (CAJA DE EMPAQUES) (COVER)	
Ajuste de Buje de Garganta - a - Cabezote	.001" - .003" Apriete
Runout de la cara de la caja de empaques (Ang.) *	.005" TIR Max.
Stuffing Box ID or OD Runout del diámetro interno y externo de la caja de empaque. *	.005" TIR Max.
Ajuste de anillo linterna - a - caja de empaques	.005" - .010" Flojo
CARCAZA (VOLUTA)	
Profundidad de la ranura del empaque de la carcaza: **	
Empaque de .125"	.090" - .100"
Empaque de .175"	.125" - .135"
Empaque de .250"	.180" - .200"
NOTA. Todas las tolerancias son totales o diametrales, en pulgadas	

Fuente. Norma API 610

✓ **HOLGURAS DE ANILLOS DE DESGASTE**

DE FUNDICION DE ACERO, BRONCE Y 11-13% CROMO

Tabla 9. Holguras de anillos de desgaste

DIAMETRO DEL ELEMENTO ROTATIVO	HOLGURAS POR DEBAJO DE 500°F	RENUOVE EL ANILLO SI LA TOLERANCIA EXCEDE	TOLERANCIAS POR ENCIMA DE 500°F	RENUOVE EL ANILLO SI LA TOLERANCIA EXCEDE
Debajo de 2.5	.011 - .013	.018	.016 - .018	.025
2.5 - 2.999	.012 - .014	.020	.017- .019	.027
3.0 - 3.499	.014 - .016	.022	.019 - .021	.029
3.5 - 3.999	.016 - .018	.025	.021 - .023	.032
4.0 - 4.499	.017 - .019	.027	.022 - .024	.034
4.5 - 4.999	.017 - .020	.028	.022 - .025	.035
5.0 - 5.999	.018 - .021	.029	.023 - .026	.036
6.0 - 6.999	.019 - .022	.031	.024 - .027	.038
7.0 - 7.999	.020 - .023	.032	.025 - .028	.039
8.0 - 8.499	.021 - .024	.034	.026 - .029	.041
8.5 - 8.999	.021 - .025	.035	.026 - .030	.042
9.0 - 9.999	.022 - .026	.036	.027 - .031	.043
10.0 - 10.999	.023 - .027	.038	.028 - .032	.045
11.0 - 11.499	.024 - .028	.039	.029 - .033	.046
11.5 - 11.999	.024 - .029	.041	.029 - .034	.048
12.0 - 12.999	.025 - .030	.042	.030 - .035	.049
13.0 - 13.999	.027 - .032	.045	.032 - .037	.052
14.0 - 14.999	.028 - .033	.046	.033 - .038	.053
15.0 - 15.999	.029 - .034	.048	.034 - .039	.055
16.0 - 16.999	.030 - .035	.049	.035 - .040	.056

Fuente. Norma API 610

NOTAS.

1. Todas las dimensiones en pulgadas.
2. Todas las tolerancias son totales o diametrales.
3. Para materiales con alta tendencia a generar rebabas (por ejemplo: 18 – 8 y 316 acero inoxidable), añade 0.005”.

TOLERANCIAS DEBUJES DE GARGANTA

Tabla 10. Holguras de buje de garganta

DIAMETRO DEL EJE	TOLERANCIAS POR DEBAJO DE 500°F	CAMBIAR SI LA HOLGURA EXCEDE	TOLERANCIAS POR ENCIMA DE 500 °F	CAMBIAR SI LA HOLGURA EXCEDE
Under 1.000	.010 - .012	.017	.015 - .017	.024
1.000 - 1.499	.012 - .014	.020	.017 - .019	.027
1.500 - 1.999	.014 - .016	.022	.019 - .021	.029
2.000 - 2.499	.017 - .019	.027	.022 - .024	.034
2.500 - 2.999	.019 - .021	.029	.024 - .025	.035
3.000 - 3.499	.022 - .025	.035	.027 - .030	.042
3.500 - 4.000	.025 - .029	.041	.030 - .034	.048

Fuente. Norma API 610

NOTAS.

1. Todas las dimensiones en pulgadas.
2. Todas las tolerancias son totales o diametrales.
3. Para materiales con alta tendencia a generar rebabas (Por ejemplo (Acero inoxidable 316), añadir 0.005”
4. Existen algunas excepciones donde las tolerancias dadas arriba son excesivas. Esto ocurre cuando el flujo debe ser limitado por control del producto y se deba

mantener una presión positiva para prevenir una falla en el sello. Esto es una aplicación corriente en equipos que ruedan sobre bujes como las bombas verticales.

DIMENSIONES DE LOS EJES PARA RODAMIENTOS DE ACUERDO AABEC 1

(Todas las dimensiones en pulgadas)

Tabla 11. Dimensiones de los ejes para los rodamientos

NUMERO DE ORIFICIO DEL RODAMIENTO	DIAMETRO INTERNO DEL RODAMIENTO		DIAMETRO DEL EJE		AJUSTE
	MAX	MIN	MAX	MIN	
0	.3937	.3934	.3939	.3936	
1	.4724	.4721	.4726	.4723	.0001 Flojo
2	.5906	.5903	.5908	.5905	A
3	.6693	.6690	.6695	.6692	.0005 Apriete
4	.7874	.7870	.7879	.7875	.0001 Apriete
5	.9843	.9839	.9848	.9844	A
6	1.1811	1.1807	1.1816	1.1812	.0009 Apriete
7	1.3780	1.3775	1.3785	1.3781	
8	1.5748	1.5743	1.5753	1.5749	.0001 Apriete
9	1.7717	1.7712	1.7722	1.7718	A
10	1.9685	1.9680	1.9690	1.9686	.0010 Apriete
11	2.1654	2.1648	2.1660	2.1655	
12	2.3622	2.3616	2.3628	2.3623	.0001 Apriete
13	2.5591	2.5585	2.5597	2.5592	A
14	2.7559	2.7553	2.7565	2.7560	.0012 Apriete
15	2.9528	2.9522	2.9534	2.9529	
16	3.1496	3.1490	3.1502	3.1497	
17	3.3465	3.3457	3.3472	3.3466	.0001 Apriete
18	3.5433	3.5425	3.5440	3.5434	A
19	3.7402	3.7394	3.7409	3.7403	.0015 Apriete
20	3.9370	3.9362	3.9377	3.9371	

NUMERO DE ORIFICIO DEL RODAMIENTO	DIAMETRO INTERNO DEL RODAMIENTO		DIAMETRO DEL EJE		AJUSTE
	MAX	MIN	MAX	MIN	
21	4.1339	4.1331	4.1346	1.1340	.0001 Apriete
22	4.3307	4.3299	4.3314	4.3308	A
24	4.7244	4.7236	4.7251	4.7245	.0015 Apriete
26	5.1181	5.1171	5.1189	5.1182	
28	5.5118	5.5108	5.5126	5.5119	.0001 Apriete
30	5.9055	5.9045	5.9063	5.9056	A
32	6.2992	6.2982	6.3000	6.2993	.0018 Apriete
34	6.6929	6.6919	6.6937	6.6930	
36	7.0866	7.0856	7.0874	7.0867	
38	7.4803	7.4791	7.4813	7.4805	
40	7.8740	7.8728	7.8750	7.8742	.0002 Apriete
42	8.2677	8.2665	8.2687	8.2679	A
44	8.6614	8.6602	8.6624	8.6616	.0022 Apriete
48	9.4488	9.4476	9.0561	9.0553	

Fuente. Norma API 610

TOLERANCIAS PARA CHEQUEOS ENCONTRADOS EN LA CARPETA DE REPARACION DE EQUIPO

Tabla 12. Tolerancias para chequeos encontrados en la carpeta de reparación del equipo

CHEQUEOS	CONCENTRICIDAD (Diámetro Interno ó Externo)	ANGULARIDAD (Cara)
Runout del impulsor	No definido	.020" TIR Max.
Runout del anillo de desgaste del impulsor	.005" TIR Max.	N/A
Runout de la guía del cabezote y la carcaza	.004" TIR Max.	.004" TIR Max.
Runout de la guía de la caja de	.004" TIR Max.	.004" TIR Max

rodamientos y el cabezote		
Runout del eje en el área del impulsor	.003" TIR Max.	N/A
Runout de la camisa:		
0" - 2" Dia	.002" TIR Max.	N/A
2" - 4" Dia	.003" TIR Max.	N/A
4" - 6" Dia	.004" TIR	N/A
Runout del eje en el área de la camisa	.003" TIR Max.	N/A
Runout del acople	.003" TIR Max.	.003" TIR
Runout del eje en el área del acople	.003" TIR Max.	
Juego Axial	.002" - .004"	
CHEQUEOS DIMENSIONALES	TOLERANCIAS	
Holgura del anillo de desgaste de la carcaza	Ver tabla	
Holgura del anillo de desgaste del cabezote	Ver tabla	
Holgura del buje de garganta	Ver tabla	
Ajuste entre el cabezote y la carcaza	.000" -.004" Flojo	
Ajuste entre caja de rodamientos y cabezote	.000" -.004" Flojo	
Ajuste entre el eje y el impulsor	.000" -.003" Flojo	
Ajuste del acople: Si es de apriete	.0005" Apriete metal-metal	
Si es ajuste flojo: 0" - 2" Dia	.0005" - .0015" Flojo	
Over 2" - 4" Dia.	.001" -.0025" Flojo	
Over 4" - 6" Dia.	.0015" -.003" Flojo	
Ajuste de la camisa	.001" -.006" Flojo	
Holgura entre el empaque y la caja de empaques	.005" -.015" Flojo	
Seal Throttle (Blowout)	.030" -.060"	
Bushing Clearance		
Bearing Housing Bore	Ver tabla	
Shaft Diameter at Bearing Fit	Ver tabla	

Fuente. Norma API 610

Chequeo con indicadores deben ser realizados con el eje montado en la caja de rodamientos

NOTA. Todas las tolerancias dadas son totales o diametrales en pulgadas.

Con base a todas estas recomendaciones para la reparación de las bombas industriales en la refinería de Barrancabermeja, en la aplicación de los procedimientos bajo los estándares de calidad, se toma como muestra una de plantas industriales de la GRB.

10. ANALISIS DE FALLAS Y COMPORTAMIENTO DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS DE LA REFINERIA DE BARRANCABERMEJA.

10.1 TENDECNIA DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS EN LA GRB, AÑO 2007

Cuadro 1. Tendencia de los equipos rotativos en la GRB año 2007

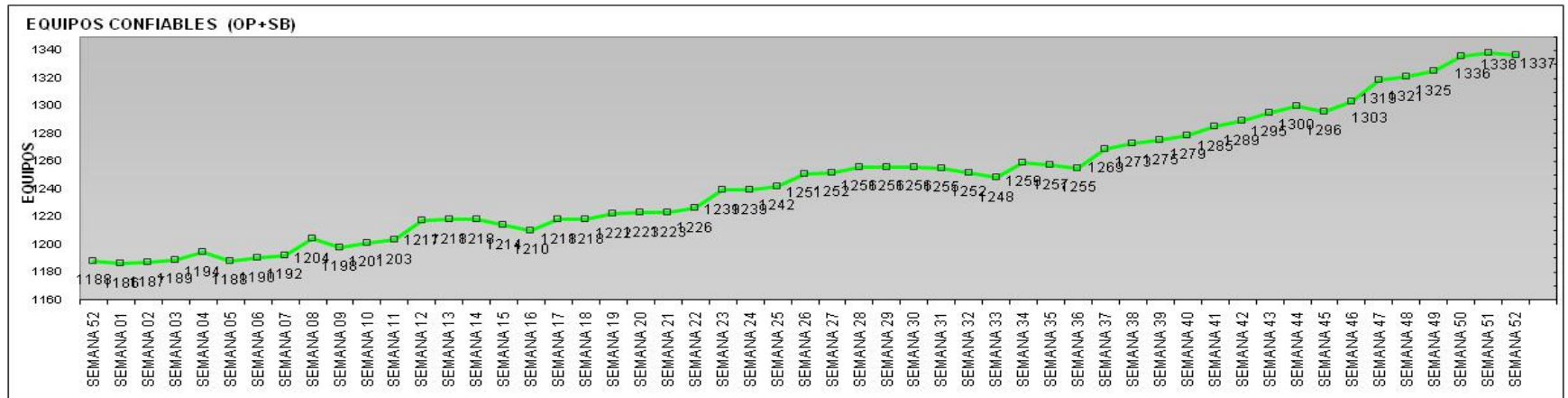
GCB	SEMANA 35	SEMANA 36	SEMANA 37	SEMANA 38	SEMANA 39	SEMANA 40	SEMANA 41	SEMANA 42	SEMANA 43	SEMANA 44	SEMANA 45	SEMANA 46	SEMANA 47	SEMANA 48	SEMANA 49	SEMANA 50	SEMANA 51	SEMANA 52
OP	780	767	779	784	787	800	805	808	812	819	818	832	842	845	846	856	856	856
SB	477	488	490	489	488	479	480	481	483	481	478	471	477	476	479	480	482	481
OP+SB	1257	1255	1269	1273	1275	1279	1285	1289	1295	1300	1296	1303	1319	1321	1325	1336	1338	1337
OF	89	86	79	76	77	80	80	78	74	71	68	60	58	52	50	48	47	51
SF	53	57	56	60	55	51	48	47	48	50	49	50	49	53	51	51	52	52
OF+SF	142	143	135	136	132	131	128	125	122	121	117	110	107	105	101	99	99	103
EF	6	8	5	5	5	5	5	6	7	6	6	5	3	3	4	5	5	5
MC	234	229	230	225	227	229	226	225	225	224	226	226	218	220	222	220	219	219
MT	186	190	186	186	187	182	182	182	181	178	176	175	173	171	168	160	159	156
MC+MT	420	419	416	411	414	411	408	407	406	403	400	401	391	391	390	380	378	375
	1825	1825	1825	1825	1826	1826	1826	1827	1830	1830	1819	1819	1820	1820	1820	1820	1820	1820
% CONFIABLES	68.9%	68.8%	69.5%	69.8%	69.8%	70.0%	70.4%	70.6%	70.8%	71.0%	71.2%	71.6%	72.5%	72.6%	72.8%	73.4%	73.5%	

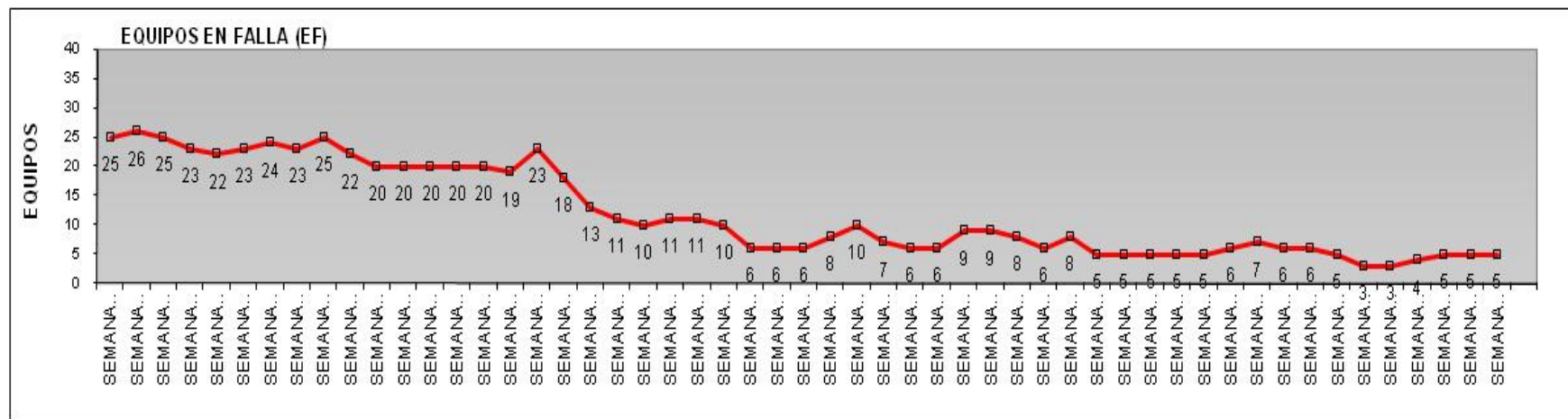
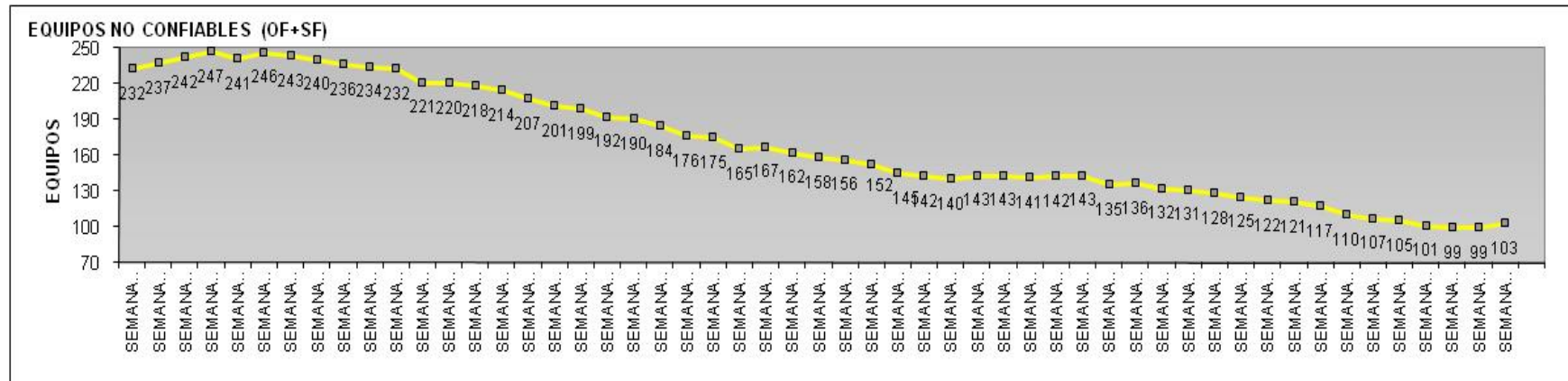
GCB	SEMANA 18	SEMANA 19	SEMANA 20	SEMANA 21	SEMANA 22	SEMANA 23	SEMANA 24	SEMANA 25	SEMANA 26	SEMANA 27	SEMANA 28	SEMANA 29	SEMANA 30	SEMANA 31	SEMANA 32	SEMANA 33	SEMANA 34
OP	748	752	754	752	757	767	767	767	776	775	779	774	773	773	771	771	780
SB	470	470	469	471	469	472	472	475	475	477	477	482	483	482	481	477	479
OP+SB	1218	1222	1223	1223	1226	1239	1239	1242	1251	1252	1256	1256	1256	1255	1252	1248	1259
OF	104	102	103	102	100	93	97	97	95	94	92	82	80	80	80	82	83
SF	88	88	81	74	75	72	70	65	63	62	60	63	62	60	63	61	58
OF+SF	192	190	184	176	175	165	167	162	158	156	152	145	142	140	143	143	141
EF	13	11	10	11	11	10	6	6	6	8	10	7	6	6	9	9	8
MC	243	243	247	250	249	247	246	245	238	235	231	232	232	234	234	238	233
MT	160	160	162	167	166	166	169	172	174	176	176	185	189	190	187	187	182
MC+MT	403	403	409	417	415	413	415	417	412	411	407	417	421	424	421	425	415
	1826	1826	1826	1827	1827	1827	1827	1827	1827	1827	1827	1825	1825	1825	1825	1825	1823
% CONFIABLES	66.7%	66.9%	67.0%	66.9%	67.1%	67.8%	67.8%	68.0%	68.5%	68.5%	68.8%	68.8%	68.8%	68.8%	68.6%	68.4%	69.1%

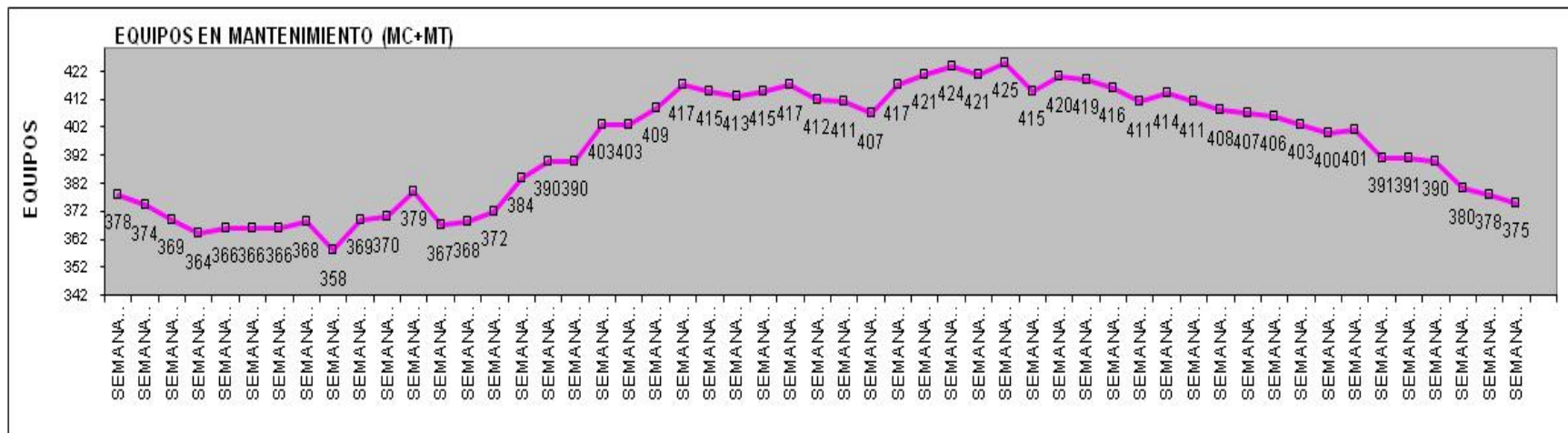
GCB	SEMANA 01	SEMANA 02	SEMANA 03	SEMANA 04	SEMANA 05	SEMANA 06	SEMANA 07	SEMANA 08	SEMANA 09	SEMANA 10	SEMANA 11	SEMANA 12	SEMANA 13	SEMANA 14	SEMANA 15	SEMANA 16	SEMANA 17
OP	700	715	717	722	719	715	718	729	722	723	725	740	735	739	739	739	742
SB	486	472	472	472	469	475	474	475	476	478	478	477	483	479	475	471	476
OP+SB	1186	1187	1189	1194	1188	1190	1192	1204	1198	1201	1203	1217	1218	1218	1214	1210	1218
OF	124	130	132	131	133	130	129	125	123	121	112	116	115	114	112	107	108
SF	113	112	115	110	113	113	111	111	111	111	109	104	103	100	95	94	91
OF+SF	237	242	247	241	246	243	240	236	234	232	221	220	218	214	207	201	199
EF	26	25	23	22	23	24	23	25	22	20	20	20	20	20	19	23	18
MC	236	230	228	228	227	227	232	230	238	237	238	225	228	233	238	232	236
MT	138	139	136	138	139	139	136	128	131	133	141	142	140	139	146	158	154
MC+MT	374	369	364	366	366	366	368	358	369	370	379	367	368	372	384	390	390
	1823	1823	1823	1823	1823	1823	1823	1823	1823	1823	1823	1824	1824	1824	1824	1824	1825
% CONFIABLES	65.1%	65.1%	65.2%	65.5%	65.2%	65.3%	65.4%	66.0%	65.7%	65.9%	66.0%	66.7%	66.8%	66.8%	66.6%	66.3%	66.7%

Fuente. Análisis de falla – Apoyo técnico a la producción - IRIS - ECOPETROL S.A.

Grafica 6. Diagrama de tendencia equipo rotativo año 2007







Fuente. Análisis de falla – Apoyo técnico a la producción - IRIS - ECOPELROL S.A.

10.2 TENDECIA DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS DE LA GRB AÑO 2008

Cuadro 2. Tendencia de los equipos rotativos de la GRB año 2008

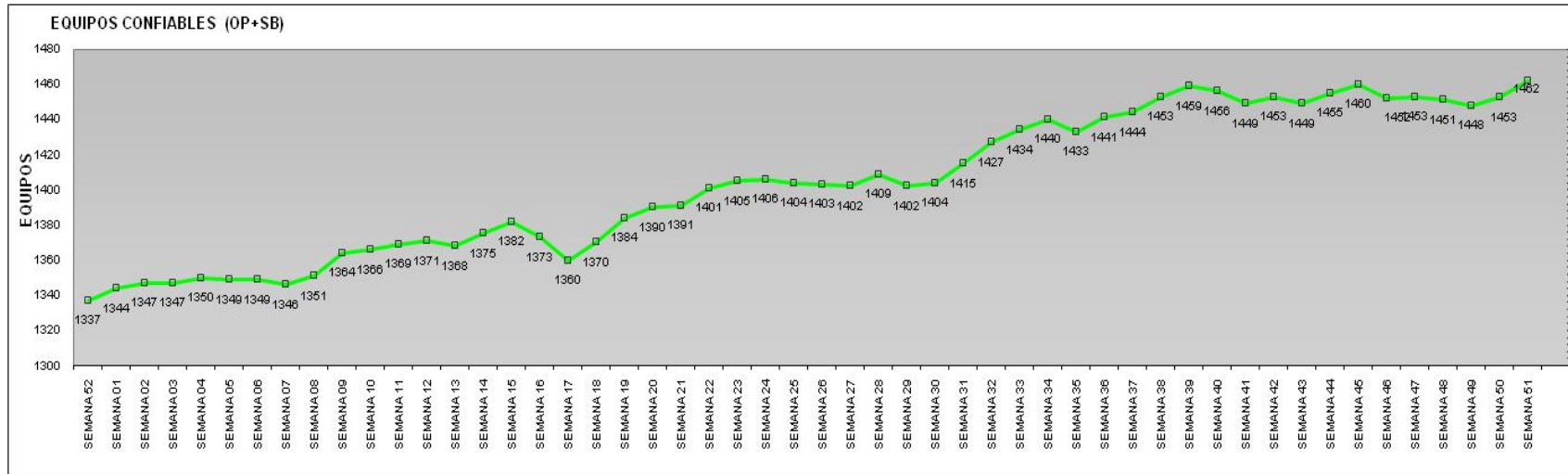
GCB	SEMANA 35	SEMANA 36	SEMANA 37	SEMANA 38	SEMANA 39	SEMANA 40	SEMANA 41	SEMANA 42	SEMANA 43	SEMANA 44	SEMANA 45	SEMANA 46	SEMANA 47	SEMANA 48	SEMANA 49	SEMANA 50	SEMANA 51
FUSIBLES	20	20	20	20	20	20	21	28	30	26	26	29	24	24	23	21	21
OP	871	877	866	882	885	883	878	884	879	885	890	888	890	890	893	900	
SB	562	564	578	571	574	573	571	569	570	570	570	564	563	561	558	560	562
OP+SB	1433	1441	1444	1453	1459	1456	1449	1453	1449	1455	1460	1452	1453	1451	1448	1453	1462
OF	44	43	38	34	32	31	36	36	35	33	32	33	32	35	41	41	42
SF	18	18	17	19	21	20	22	19	21	21	21	24	20	21	19	20	19
OF+SF	62	61	55	53	53	51	58	55	56	54	53	57	52	56	60	61	61
EF	5	6	6	5	5	6	6	6	6	5	3	5	7	6	7	8	8
MC	147	141	147	149	150	148	148	144	146	140	141	136	140	137	132	130	129
MT	169	167	164	156	149	154	154	156	157	160	159	166	166	168	171	166	158
MC+MT	316	308	311	305	299	302	302	300	303	300	300	302	306	305	303	296	287
	1816	1816	1816	1816	1816	1815	1815	1814	1814	1814	1816	1816	1818				
% CONFIABLES	78.91%	79.35%	79.52%	80.01%	80.34%	80.22%	79.83%	80.10%	79.88%	80.21%	80.40%	79.96%	79.92%				

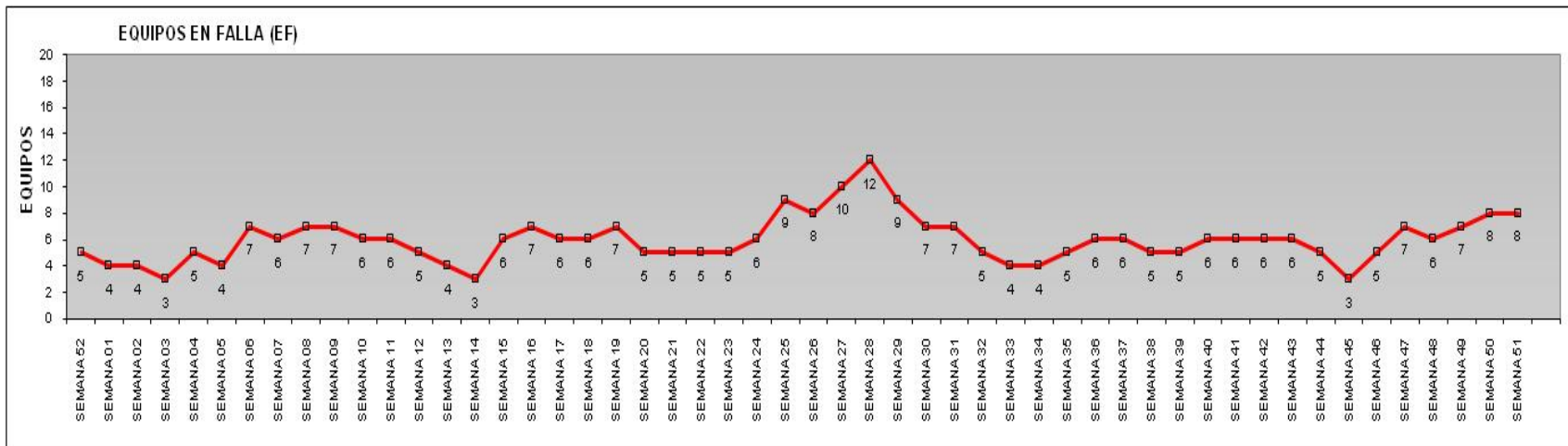
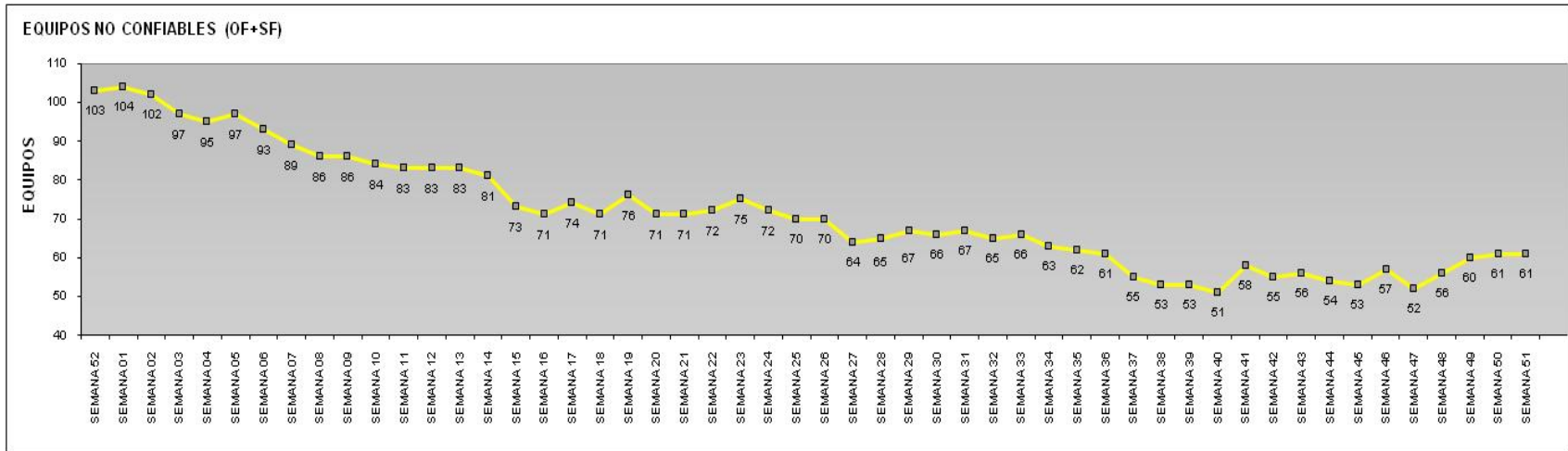
GCB	SEMANA 18	SEMANA 19	SEMANA 20	SEMANA 21	SEMANA 22	SEMANA 23	SEMANA 24	SEMANA 25	SEMANA 26	SEMANA 27	SEMANA 28	SEMANA 29	SEMANA 30	SEMANA 31	SEMANA 32	SEMANA 33	SEMANA 34
FUSIBLES	44	45	43	45	37	37	36	32	28	28	28	28	27	24	23	22	20
OP	818	831	838	844	844	856	854	851	848	852	854	854	857	867	870	873	878
SB	552	553	552	547	557	549	552	553	555	550	555	548	547	548	557	561	562
OP+SB	1370	1384	1390	1391	1401	1405	1406	1404	1403	1402	1409	1402	1404	1415	1427	1434	1440
OF	45	49	47	46	45	46	44	43	42	39	40	40	41	44	45	48	46
SF	26	27	24	25	27	29	28	27	28	25	25	27	25	23	20	18	17
OF+SF	71	76	71	71	72	75	72	70	70	64	65	67	66	67	65	66	63
EF	6	7	5	5	5	5	6	9	8	10	12	9	7	7	5	4	4
MC	180	175	176	174	161	160	161	161	162	167	161	168	165	159	154	155	151
MT	199	186	184	185	175	169	169	170	171	172	168	169	174	168	165	157	158
MC+MT	379	361	360	359	336	329	330	331	333	339	329	337	339	327	319	312	309
	1826	1828	1826	1826	1814	1814	1814	1814	1814	1815	1815	1815	1816	1816	1816	1816	1816

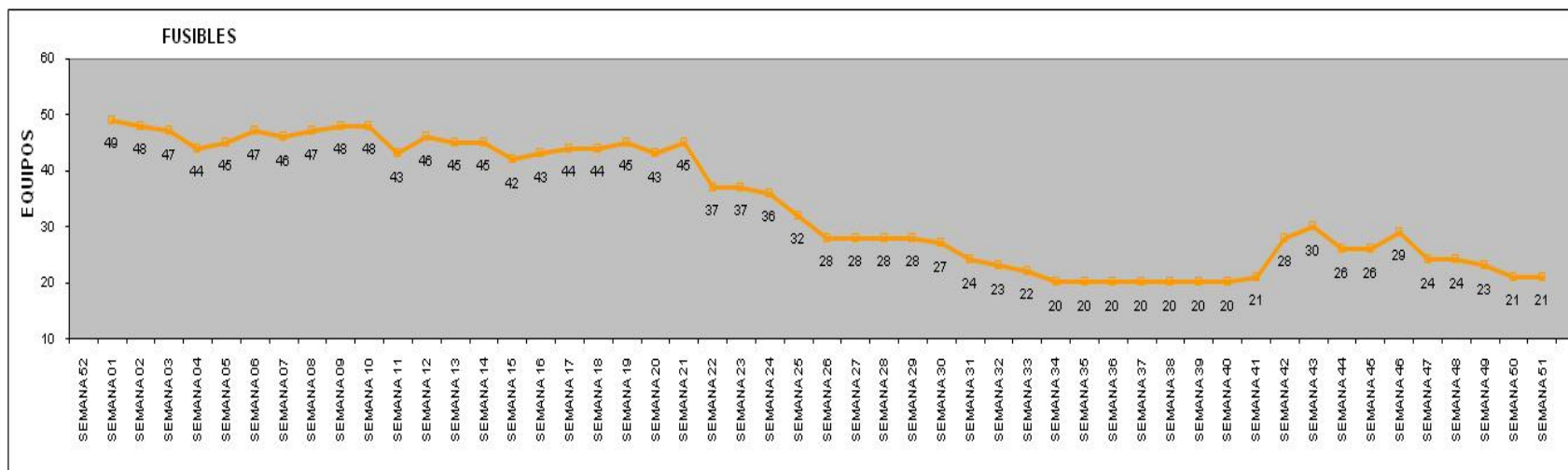
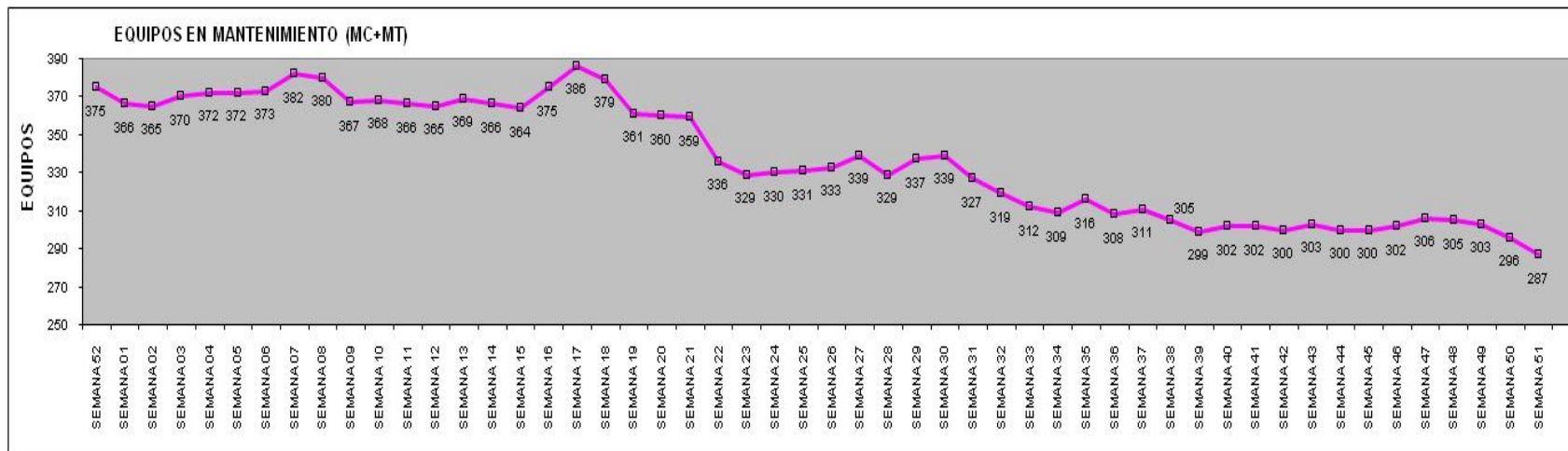
GCB	SEMANA 01	SEMANA 02	SEMANA 03	SEMANA 04	SEMANA 05	SEMANA 06	SEMANA 07	SEMANA 08	SEMANA 09	SEMANA 10	SEMANA 11	SEMANA 12	SEMANA 13	SEMANA 14	SEMANA 15	SEMANA 16	SEMANA 17
FUSIBLES	49	48	47	44	45	47	46	47	48	48	43	46	45	45	42	43	44
OP	862	823	812	814	812	815	811	819	824	827	807	808	813	821	825	818	810
SB	482	524	535	536	537	534	535	532	540	539	562	563	555	554	557	555	550
OP+SB	1344	1347	1347	1350	1349	1349	1346	1351	1364	1366	1369	1371	1368	1375	1382	1373	1360
OF	52	54	51	48	50	45	42	41	46	45	47	46	48	44	41	42	47
SF	52	48	46	47	47	48	47	45	40	39	36	37	35	37	32	29	27
OF+SF	104	102	97	95	97	93	89	86	86	84	83	83	83	81	73	71	74
EF	4	4	3	5	4	7	6	7	7	6	6	5	4	3	6	7	6
MC	216	207	210	209	207	207	214	209	199	197	196	193	193	186	186	183	182
MT	150	158	160	163	165	166	168	171	168	171	170	172	176	180	178	192	204
MC+MT	366	365	370	372	372	373	382	380	367	368	366	365	369	366	364	375	386
	1818	1818	1817	1822	1822	1822	1823	1824	1824	1824	1824	1824	1824	1825	1825	1826	1826
% CONFIABLES	73.9%	74.1%	74.1%	74.1%	74.0%	74.0%	73.8%	74.1%	74.8%	74.9%	75.1%	75.2%	75.0%	75.3%	75.7%	75.2%	74.5%

Fuente. Análisis de falla – Apoyo técnico a la producción - IRIS - ECOPETROL S.A.

GRAFICA N° 7 DIAGRAMA DE TENDENCIA EQUIPO ROTATIVO AÑO 2008







Fuente. Análisis de falla – Apoyo técnico a la producción - IRIS - ECOPETROL S.A.

10.3 TENDECIA DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS DE LA GRB AÑO 2009

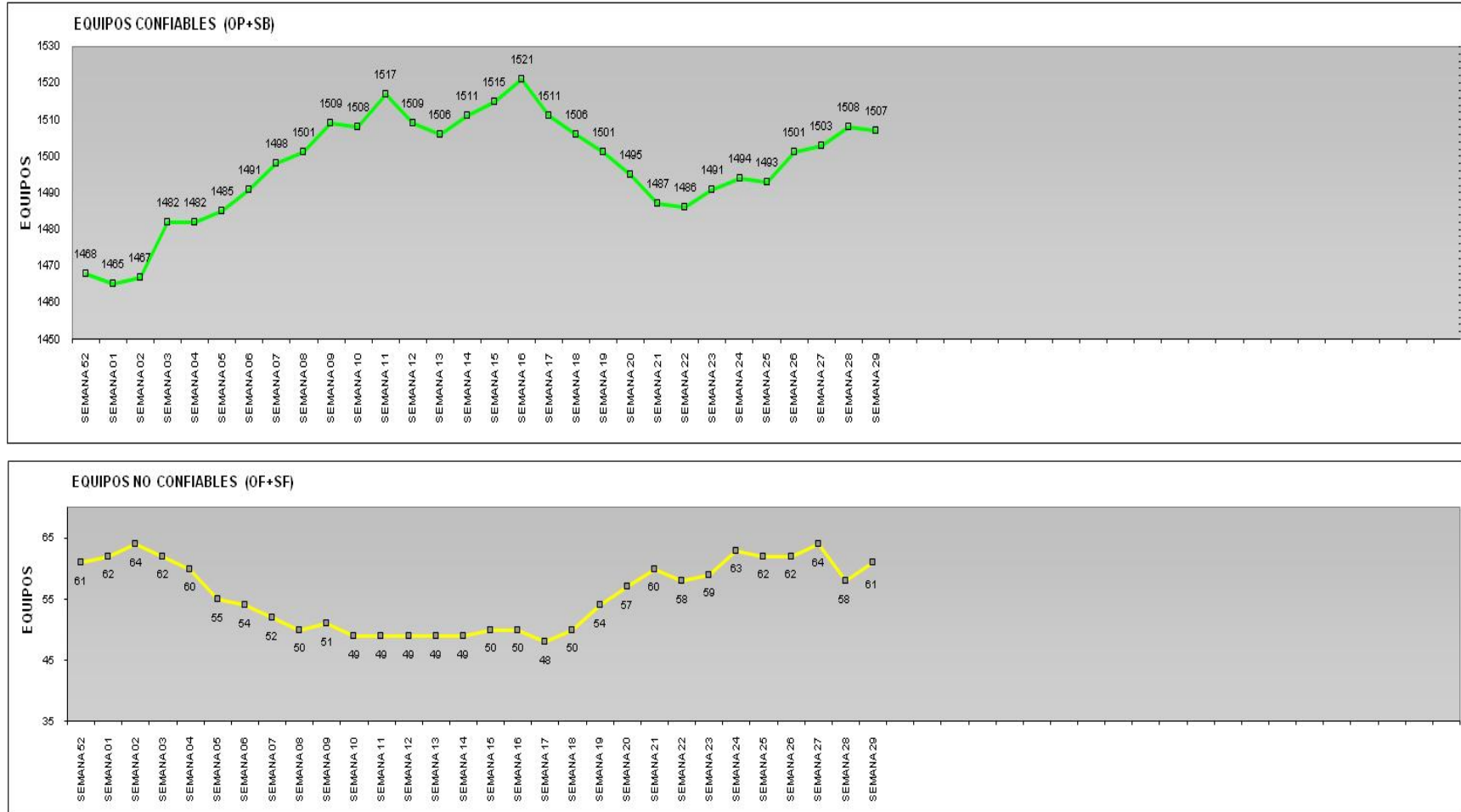
Cuadro 3. Tendencia de los equipo rotativos de la GRB año 2009

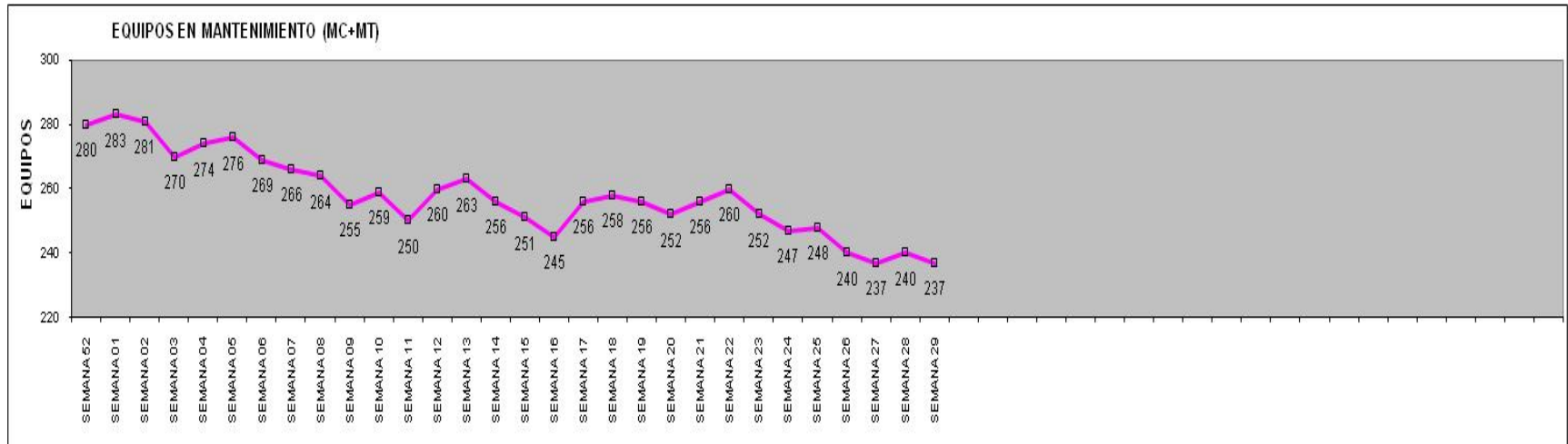
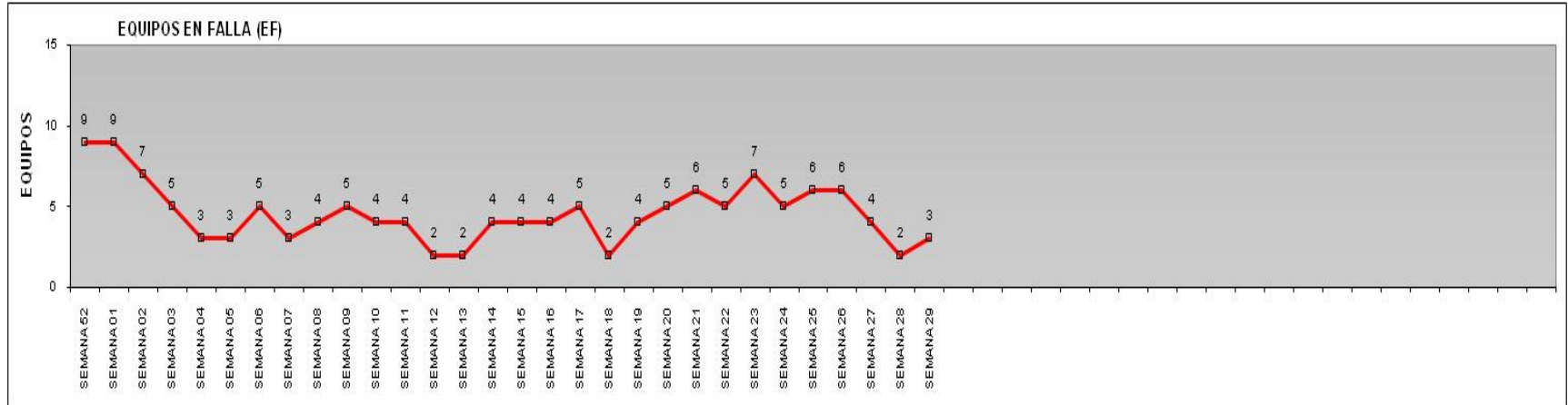
GCB	SEMANA 52	SEMANA 01	SEMANA 02	SEMANA 03	SEMANA 04	SEMANA 05	SEMANA 06	SEMANA 07	SEMANA 08	SEMANA 09	SEMANA 10	SEMANA 11	SEMANA 12	SEMANA 13	SEMANA 14	SEMANA 15
FUSIBLES	20	20	19	20	20	20	19	16	15	16	18	17	18	19	19	17
OP	912	912	913	912	914	914	921	936	940	945	939	946	948	950	951	955
SB	556	553	554	570	568	571	570	562	561	564	569	571	561	556	560	560
OP+SB	1468	1465	1467	1482	1482	1485	1491	1498	1501	1509	1508	1517	1509	1506	1511	1515
OF	42	42	42	38	37	35	34	34	33	34	33	33	32	31	31	31
SF	19	20	22	24	23	20	20	18	17	17	16	16	17	18	18	19
OF+SF	61	62	64	62	60	55	54	52	50	51	49	49	49	49	49	50
EF	9	9	7	5	3	3	5	3	4	5	4	4	2	2	4	4
MC	127	127	128	126	124	128	125	127	126	120	120	119	125	124	120	118
MT	153	156	153	144	150	148	144	139	138	135	139	131	135	139	136	133
MC+MT	280	283	281	270	274	276	269	266	264	255	259	250	260	263	256	251

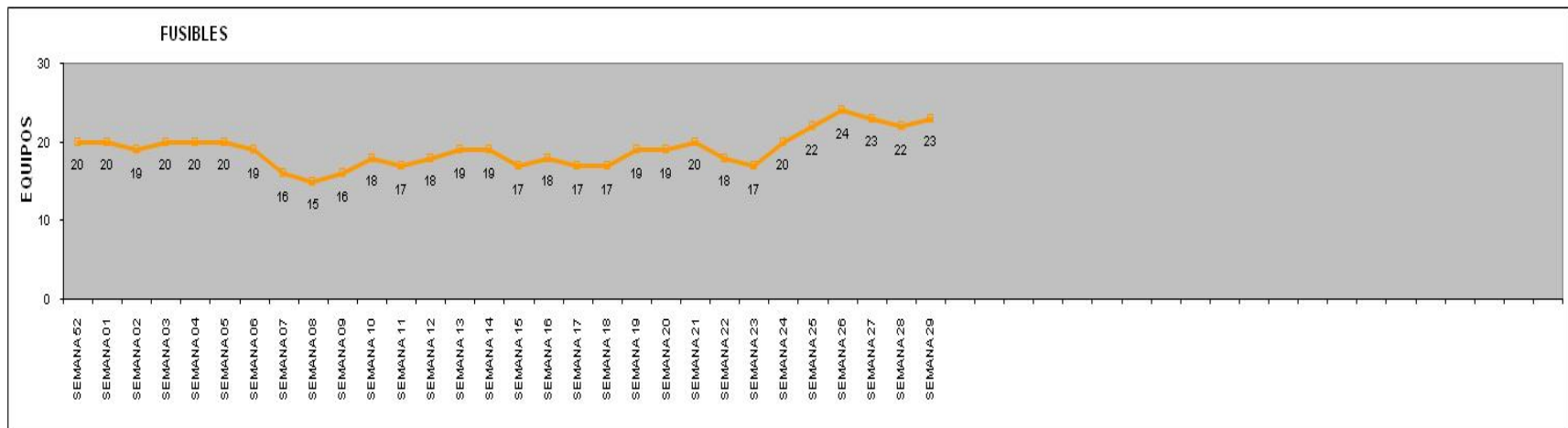
GCB	SEMANA 16	SEMANA 17	SEMANA 18	SEMANA 19	SEMANA 20	SEMANA 21	SEMANA 22	SEMANA 23	SEMANA 24	SEMANA 25	SEMANA 26	SEMANA 27	SEMANA 28	SEMANA 29	
FUSIBLES	18	17	17	19	19	19	20	18	17	20	22	24	23	22	23
OP	961	958	957	956	950	947	951	957	954	952	963	964	972	973	
SB	560	553	549	545	545	540	535	534	540	541	538	539	536	534	
OP+SB	1521	1511	1506	1501	1495	1487	1486	1491	1494	1493	1501	1503	1508	1507	
OF	31	30	30	34	35	37	35	36	37	37	37	38	34	33	
SF	19	18	20	20	22	23	23	23	26	25	25	26	24	28	
OF+SF	50	48	50	54	57	60	58	59	63	62	62	64	58	61	
EF	4	5	2	4	5	6	7	5	6	6	4	2	3		
MC	116	119	119	115	112	110	114	110	111	114	113	113	116	113	
MT	129	137	139	141	140	146	146	142	136	134	127	124	124	124	
MC+MT	245	256	258	256	252	256	260	252	247	248	240	237	240	237	

Fuente. Análisis de falla – Apoyo técnico a la producción - IRIS - ECOPETROL S.A.

Grafica 8. Diagrama de tendencia equipo rotativo año 2009







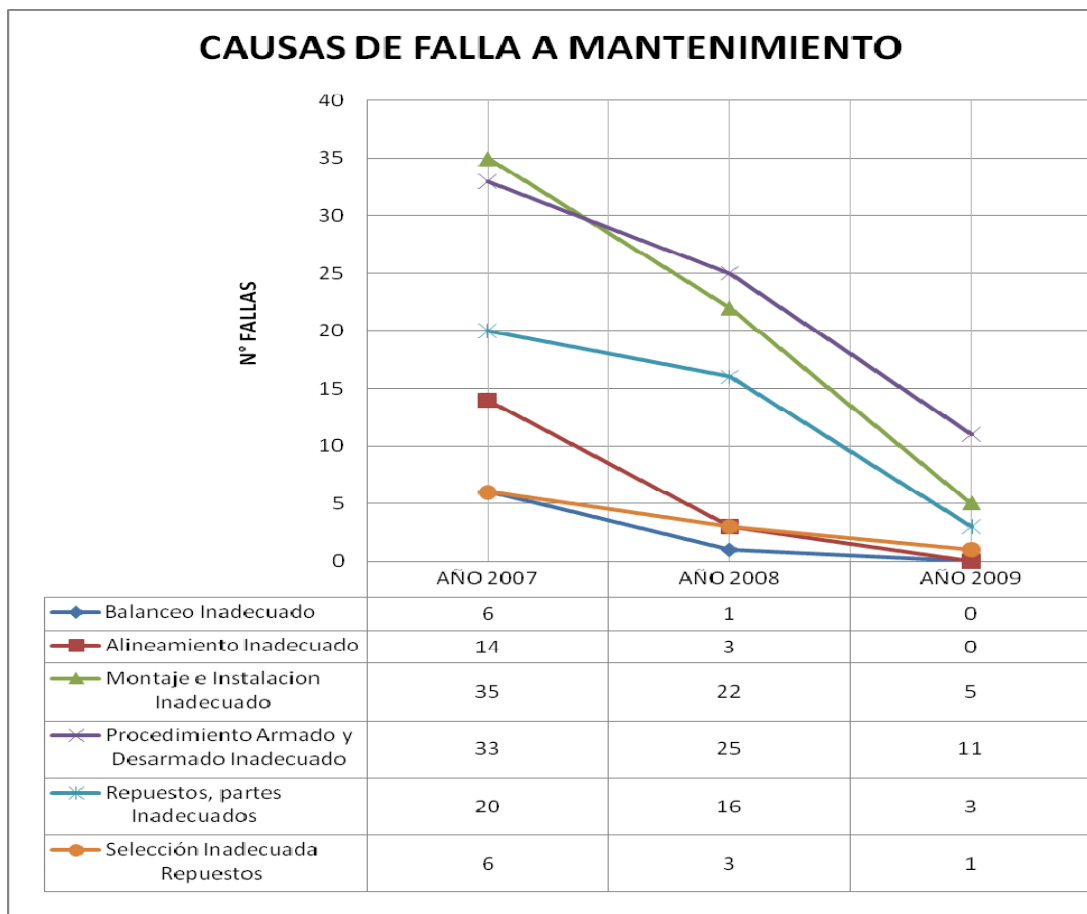
Fuente. Análisis de falla – Apoyo técnico a la producción - IRIS - ECOPETROL S.A.

11. FALLAS ATRIBUIBLES A MANTENIMIENTO (REPROCESOS), EN BOMBAS CENTRIFUGAS.

11.1 CAUSAS DE FALLAS

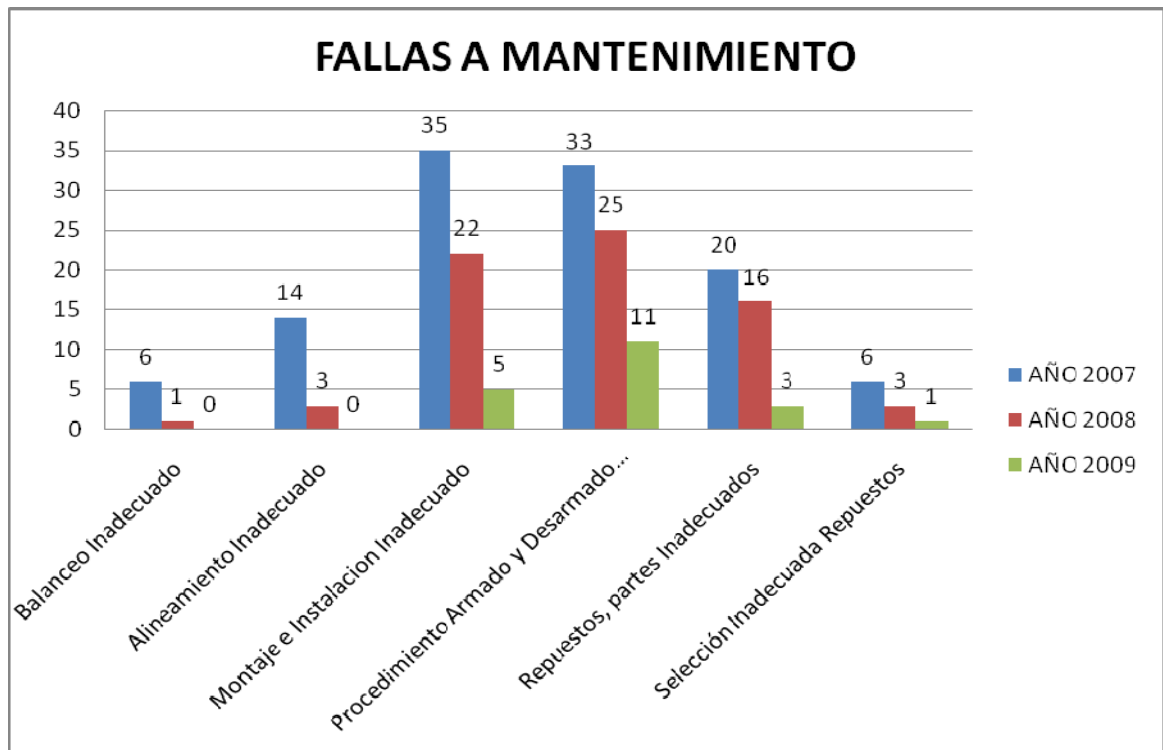
FALLA	AÑOS		
MODO DE FALLA	AÑO 2007	AÑO 2008	AÑO 2009
Balanceo Inadecuado	6	1	0
Alineamiento Inadecuado	14	3	0
Montaje e Instalación Inadecuado	35	22	5
Procedimiento Armado y Desarmado Inadecuado	33	25	11
Repuestos, partes Inadecuados	20	16	3
Selección Inadecuada Repuestos	6	3	1

Grafica 9. Causas de falla (reprocesos) en bombas centrifugas



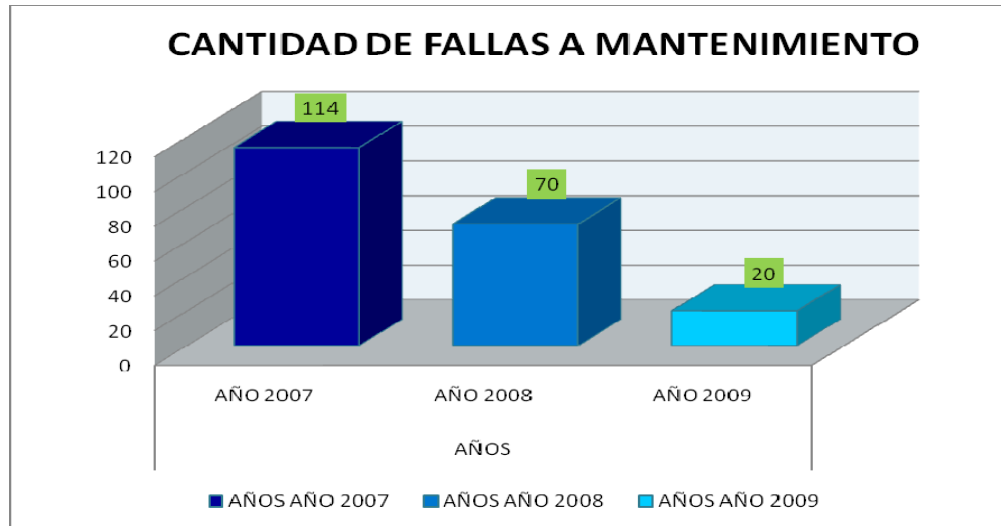
Fuente. Los Autores

Grafica 10. Cantidad de fallas a mantenimiento en bombas



11.2 TOTAL DE FALLAS EN LA GRB POR AÑO (2007, 2008, 2009)

Grafica 11. Cantidad de fallas en la GRB año (2007, 2008, 2009)



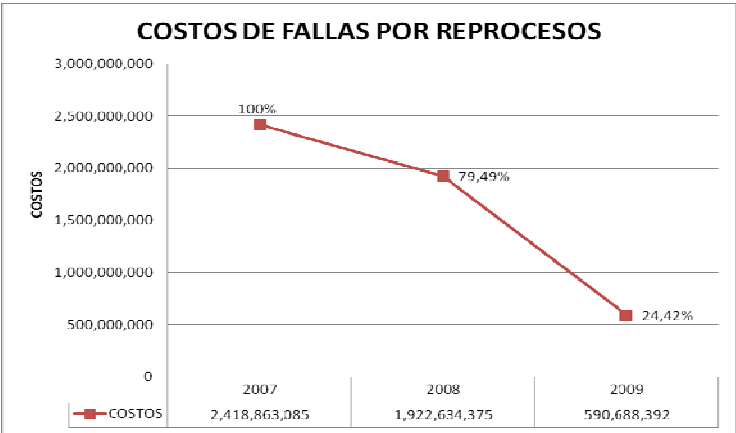
11.3 COSTOS POR REPROCESOS EN EQUIPOS DE BOMBEO (BOMBAS) ENTRE LOS AÑOS 2007, 2008, 2009.

Cuadro 4. Costos por fallas atribuibles a mantenimiento

FALLA	2007			2008			2009		
	Precio Unitario	Cantidad	Total Promedio	Precio Unitario	Cantidad	Total Promedio	Precio Unitario	Cantidad	Total Promedio
Balanceo Inadecuado	22,893,284	6	137,359,704	4,567,080	1	4,567,080	0	0	0
Alineamiento Inadecuado	11,203,234	14	156,845,276	13,007,807	3	39,023,421	0	0	0
Montaje e Instalación Inadecuado	22,941,133	35	802,939,655	26,480,210	22	582,564,620	39,310,244	5	196,551,220
Procedimiento Armado y Desarmado Inadecuado	20,938,056	33	690,955,848	37,880,320	25	947,008,000	28,575,609	11	314,331,699
Repuestos, partes Inadecuados	20,656,306	20	413,126,120	16,856,430	16	269,702,880	19,708,890	3	59,126,670
Selección Inadecuada Repuestos	36,272,747	6	217,636,482	26,589,458	3	79,768,374	20,678,803	1	20,678,803
COSTOS TOTALES			2,418,863,085			1,922,634,375			590,688,392
PORCENTAJE			100.00%			79.49%			24.42%

Fuente. Los Autores

Grafica 12. Costos por fallas atribuibles a mantenimiento

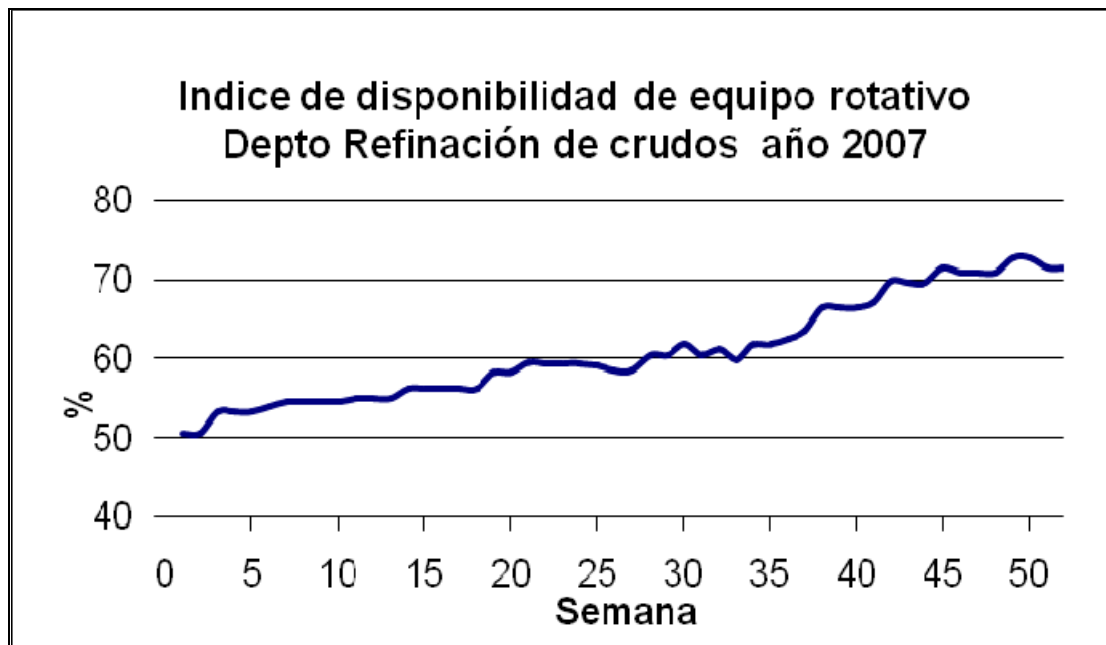


12. ANALISIS DE FALLAS Y COMPORTAMIENTO CONFIABLE DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS DE REFINACION DE CRUDOS

12.1 TENDENCIAS

AÑO 2007

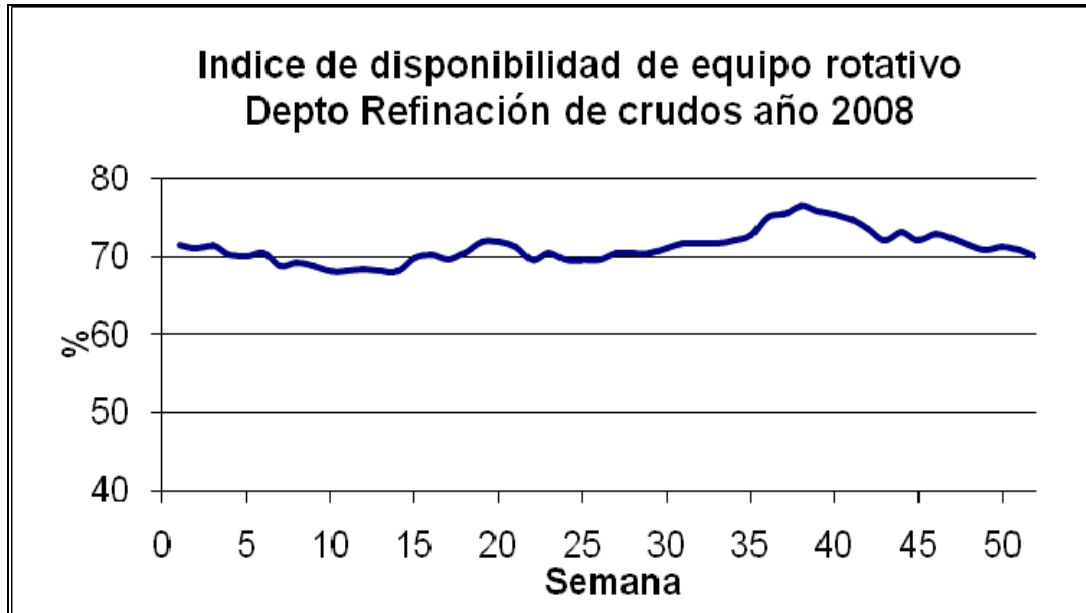
Grafica 13. Disponibilidad Equipo Rotativo año 2007



Fuente. Análisis de falla – Apoyo técnico a la producción - IRIS - ECOPEPETROL S.A.

AÑO 2008

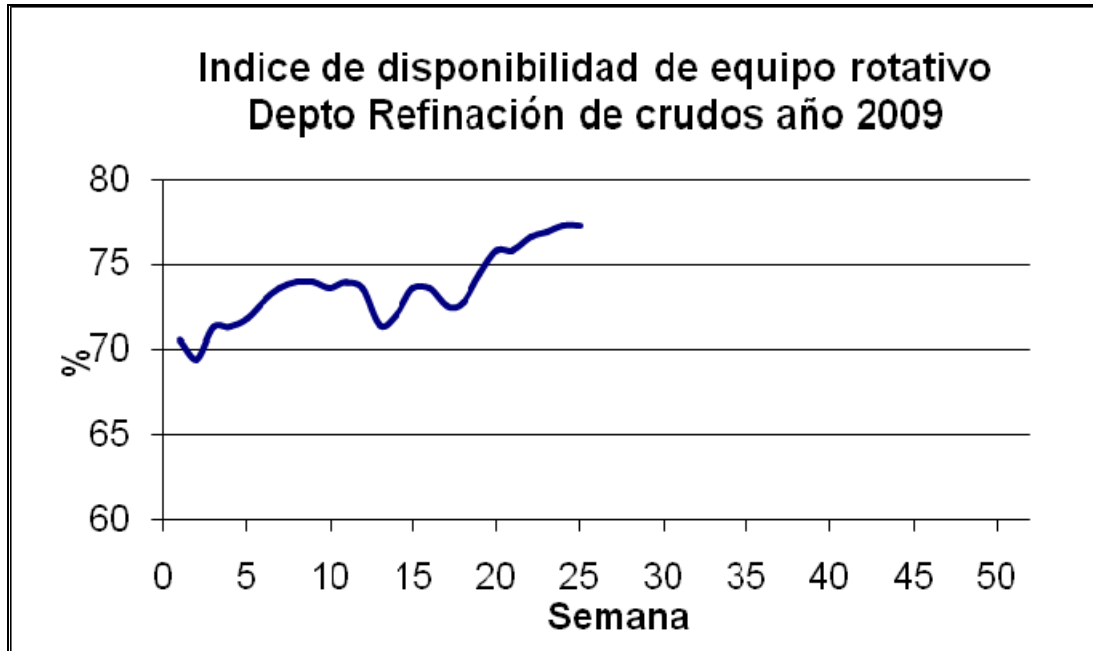
Grafica 14. Disponibilidad Equipo Rotativo año 2008



Fuente. Análisis de falla – Apoyo técnico a la producción - IRIS - ECOPETROL S.A.

AÑO 2009

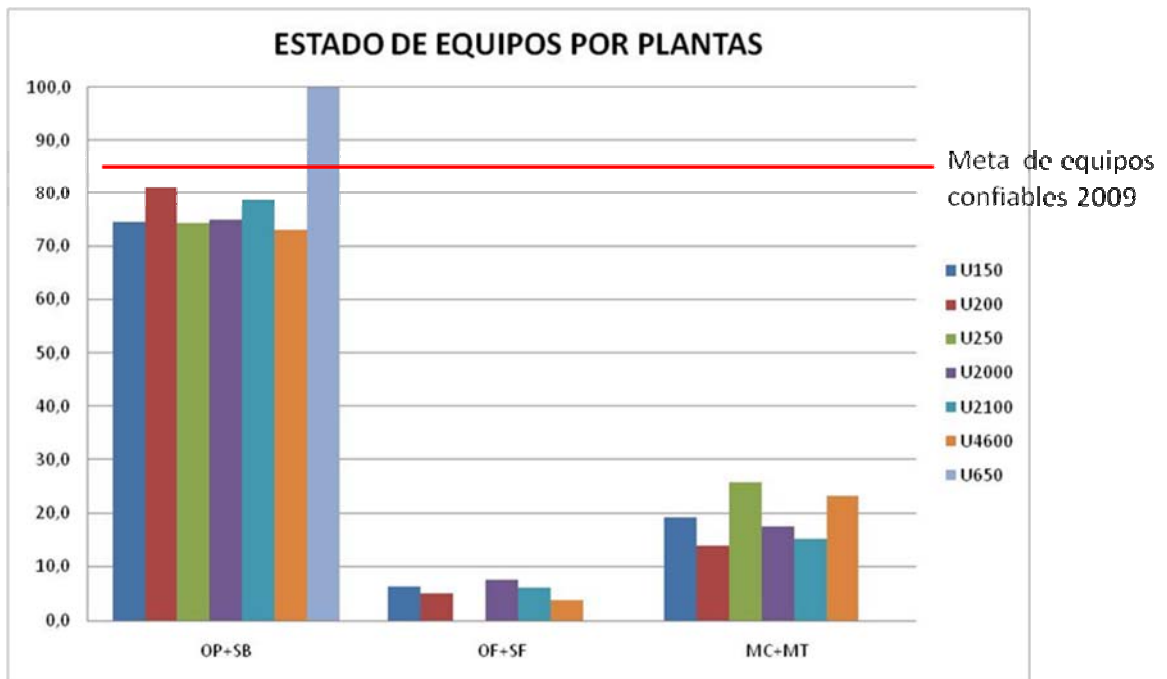
Grafica 15. Disponibilidad Equipo Rotativo año 2009



Fuente. Análisis de falla – Apoyo técnico a la producción - IRIS - ECOPETROL S.A.

12.2 ESTADO DE EQUIPO ROTATIVO POR PLANTAS DEL AREA DE REFINACION DE CRUDOS

Grafica 16. Estado de equipos en planta



Fuente. Los Autores

12.2.1 ANÁLISIS DE ESTADO DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS EN REFINACIÓN DE CRUDOS

- ▶ La unidad 250 presenta la menor confiabilidad de equipo rotativo asociado a las reparaciones de 5 sistemas de bombeo durante la parada de planta por la reparación de la T253.
- ▶ Las plantas con menor confiabilidad son la U2000 y la U4600, además presentan la mayor proporción de equipos en estado mantenimiento y no confiables.

- ▶ La planta en la que se han presentado la mayor cantidad de fallas es la U2000 con 5 fallas
- ▶ La planta con mayor proporción de quipos en mantenimiento es la U150 con 12 equipos
- ▶ La planta con mayor proporción de equipos no confiables es la U250 con 3 equipos

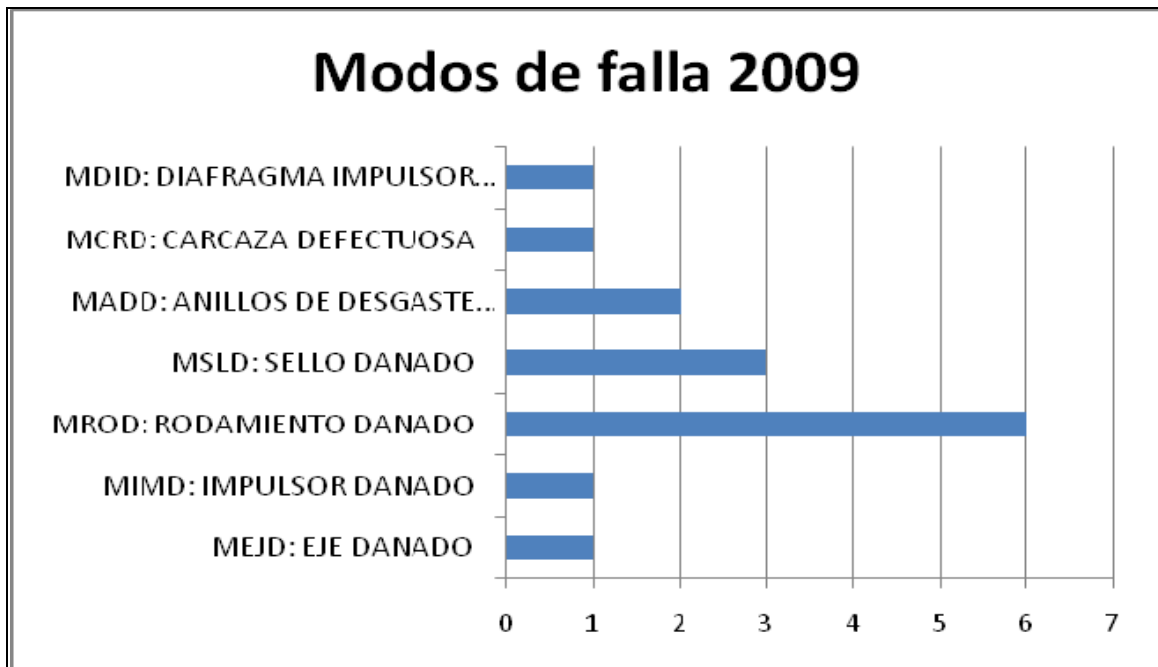
12.2.2 ACCIONES DE ASEGURAMIENTO DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS EN REFINACIÓN DE CRUDOS

- ▶ Crear espacio de jornada de capacitación con proveedores ya contactados Jhon Crane (sellos), SKF (Rodamientos) y Terpel (Aceite).
- ▶ Retroalimentación directa en cuartos de control sobre los modos de falla detectados en equipo rotativo y medidas de mitigación de alcance por el operador. Durante las reuniones de análisis operacional de los días viernes por parte del líder de confiabilidad, líder HSE e ingeniero de equipo rotativo.
- ▶ Fortalecer el input proactivo de seguimiento en Excel de tendencia de vibración tomada por los operadores de cada planta.
- ▶ Asegurar la confiabilidad de las herramientas de análisis predictivo por cada planta, CSI, pirómetros y cables confiables. Calibración de los instrumentos de medición.
- ▶ Para aumentar el porcentaje de equipos confiables es necesario enfocarse en las planta con confiabilidad inferior al 80% como lo son la U150, U250; U2000 y U4600

12.3 TASA DE FALLA EQUIPO ROTATIVO REFINACIÓN DE CRUDOS 2009

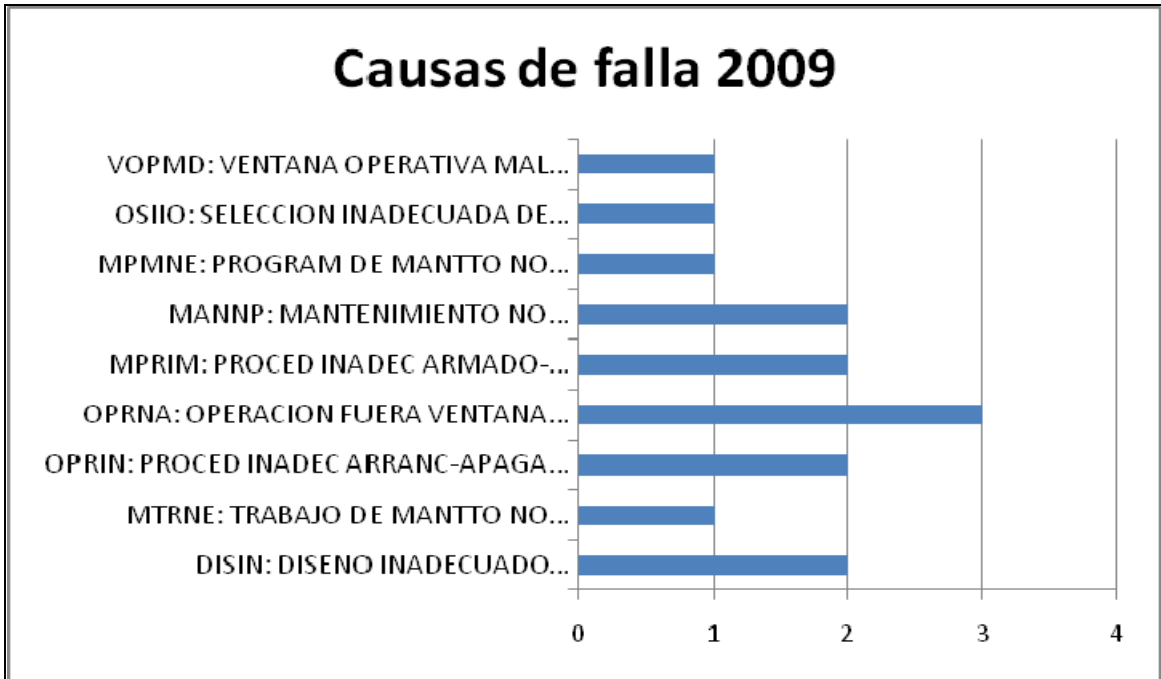
12.3.1 MODO DE FALLA 2009

Grafica 17. Modos de falla año 2009



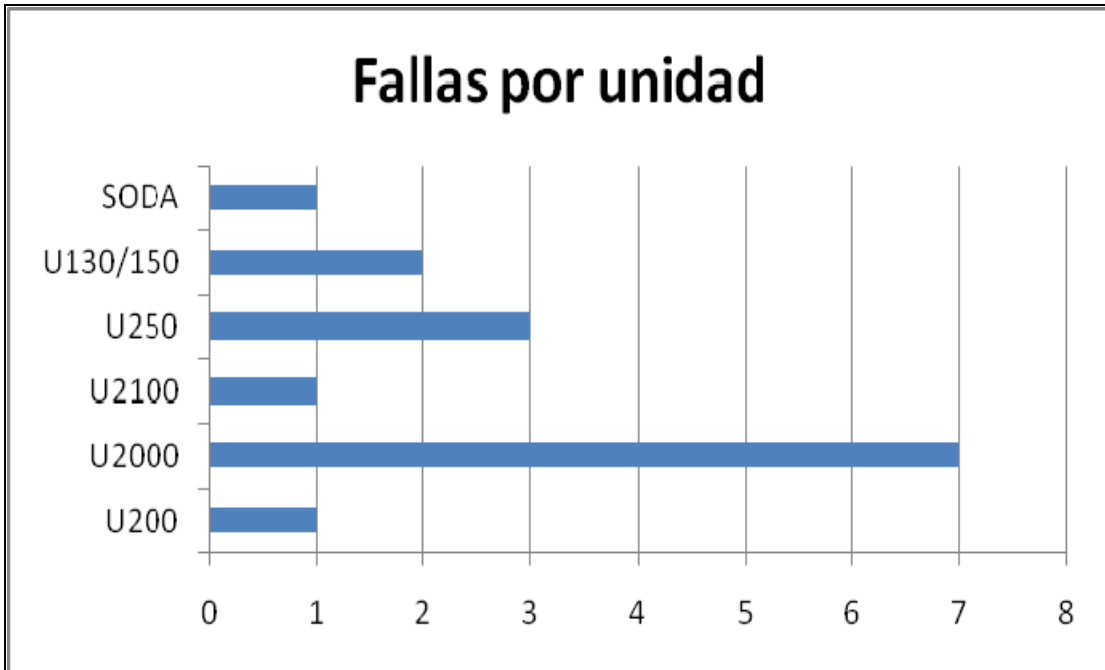
12.3.2 CAUSA DE FALLA 2009

Grafica 18. Causas de falla año 2009



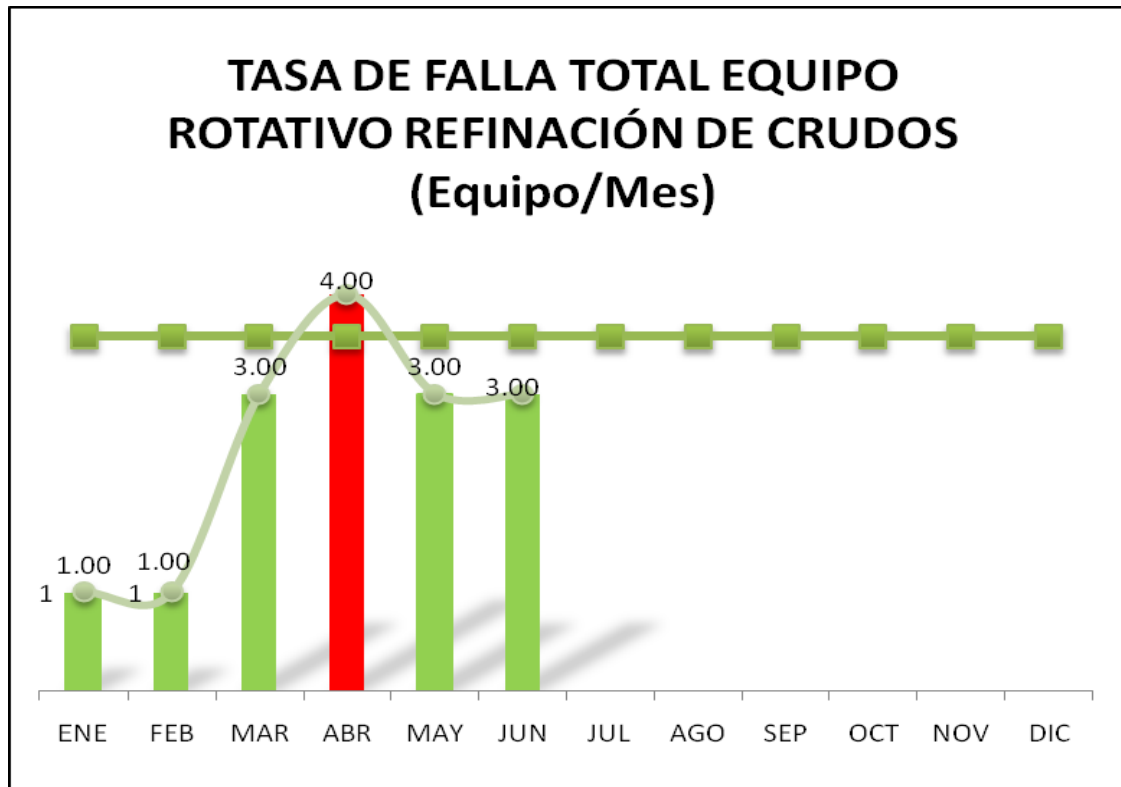
12.3.3 FALLAS POR UNIDAD 2009

Grafica 19. Fallas por unidad de plantas en refinación de crudos año 2009



12.4 TASA DE FALLA TOTAL EQUIPO ROTATIVO REFINACIÓN DE CRUDOS (EQUIPO/MES)

Grafica 20. Tasa de falla total equipo rotativo en refinación de crudos (equipo/mes)



Plan Mes	Real Mes	Estado	Proyectado	Meta Anual
3,58	3,00	●	31	43

12.4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- ▶ En lo corrido del año de las 15 fallas 6 modos de falla son por rodamientos 6 por daño en internos y 3 por escape por sello

- ▶ Las causas de las fallas se relacionan principalmente con corrosión del producto bombeado (4), mantenimiento no ejecutado a tiempo (4) y producto fuera de especificaciones (2), procedimientos inadecuados de arranque (1).
- ▶ El porcentaje de equipos confiables se ha incrementado del 70.5 % en enero al 77.29 % en junio de 2009.
- ▶ De los 15 equipos que han fallado, 7 han sido equipos fusibles y 3 han repetido su aparición SP2113A/B, SP2022C/D y SP137C/D
- ▶ El numero de fusibles de equipo rotativo disminuyó de 5 a 2 equipos, de los cuales continua la SP2022C/D.

12.4.2 ACCIONES DE MEJORAS REALIZADAS

- ▶ Se montó el RCA de la SP2113A/B en el portal de RCA y se está trabajando en la ingeniería de la recirculación. Se programa fecha de presentación como emergente a la parada.
- ▶ Entrenamiento en campo a 15 operadores de refinación de Crudos.
- ▶ Revisión de ventanas operativas de flujo en bombas de la U2000 pendiente divulgación para implementación

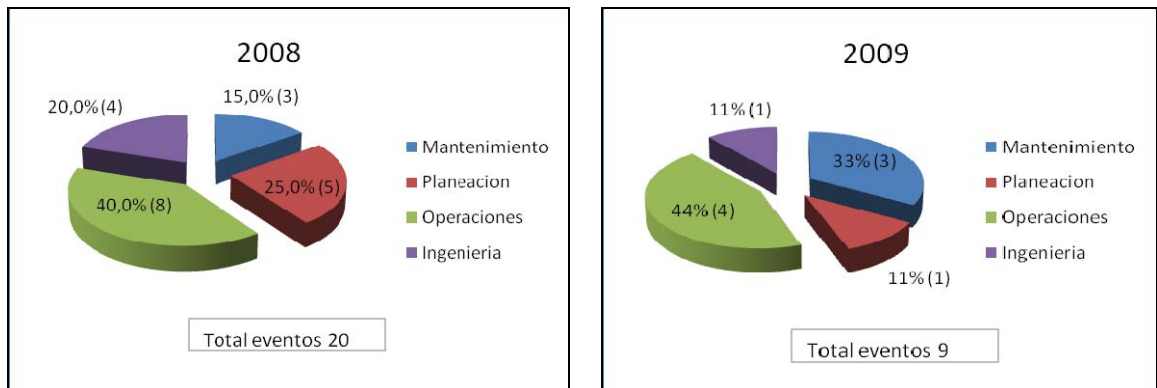
12.4.3 ACCIONES DE ASEGURAMIENTO

- ▶ Mejorar en la eficiencia de los sistemas de desalado
- ▶ Asegurar disponibilidad de las bombas de soda y ejecución de la estrategia de mantenimiento recomendada.
- ▶ Implementar las soluciones de los RCA de los sistemas SP271B/C y SP2113A/B.
- ▶ Asegurar la puesta en marcha de la U250 bajo el uso de procedimientos operacionales y seguimiento a las labores de BEC.

12.5 CAUSAS DE FALLA ENTRE ENERO A MAYO DE 2008 VS 2009

	Tasa de falla total	Equipos en mantenimiento	Equipos Instalados
2008	20		33
2009	9		21
Diferencia	-11		-12

Grafica 21. Causas de falla entre enero a mayo de los años 2008 vs 2009



12.6 EQUIPOS DE BOMBEO QUE SE ENCUENTRAN EN MANTENIMIENTO A JUNIO 2009

Cuadro 5. Equipos por falla que se encuentran en mantenimiento

EQUIPOS DE BOMBEO QUE SE ENCUENTRAN POR MANTENIMIENTO A JUNIO 2009												
U-150	Desde:	U-200	Desde:	U-250	Desde:	U-2000	Desde:	U-2100	Desde:	U-4600	Desde:	U-650
SP131F	20/11/2008	SP204D	25/02/2009	SP250B	01/04/2009	SP2004A	01/04/2009	SP2104B	28/05/2009	SP4603B	05/09/2008	
SP133B	02/11/2007	SP206C	03/10/2007	SP251B	22/10/2007	SP2007C	28/04/2009	SP2109D	04/02/2009	SP4604B	31/10/2006	
SP134A	30/07/2008	SP212B	16/04/2007	SP253C	05/09/2008	SP2008C	21/01/2009	SP2121A	22/01/2009	SP4607A	09/07/2008	
SP135A	28/01/2009	SP212C	11/02/2009	SP265A	27/05/2008	SP2011F	28/04/2009	SP2123	24/08/2007	SP4610A	05/09/2008	
SP136A	01/05/2009	SP223B	19/08/2008	SP267	15/01/2009	SP2022D	01/05/2009	SP2115	06/05/2009	SP4613B	01/12/2004	
SP138C	27/01/2009	SP232B	19/11/2007	SP258B	08/06/2009	SP2017D	24/03/2009			SP4613A	01/12/2004	
SP139C	05/03/2009	SP233A	23/10/2008	SP260B	03/06/2009	SP2018F	03/02/2009					
SP139D	29/12/2008	SP243B	27/01/2009	SP271C	03/06/2009	SP2029C	26/06/2007					
SP153C	01/04/2009			SP275C	12/06/2009	SP2020C	23/06/2009					

EQUIPOS DE BOMBEO QUE SE ENCUENTRAN POR MANTENIMIENTO A JUNIO 2009

U-150	Desde:	U-200	Desde:	U-250	Desde:	U-2000	Desde:	U-2100	Desde:	U-4600	Desde:	U-650
SP158B	28/09/2007											
SP172B	15/12/2008											

12.6.1 ANÁLISIS DE EQUIPOS EN MANTENIMIENTO

- ▶ Enfocar la prioridad en los equipos con pendientes inferiores a 1 semana para la ejecución y puesta en servicio todos los equipos intervenidos durante la parada de la T253.
- ▶ Revisar del listado de los equipos por mantenimiento cuales permanecen en custodia de operaciones y no se está ejecutando labores de mantenimiento.
- ▶ Priorizar los re procesos de las SP131F, SP233A y SP223B
- ▶ Priorizar la reparación de los equipos con sobrecosto en la compra de repuestos; SP139D y SP265A

12.6.2 ACCIONES DE ASEGURAMIENTO

- ▶ **U150:**
- ▶ SP139C Corrección de fuga de producto en línea del plan de sello
- ▶ SP133B revisión de alineamiento entre eje de turbina y gobernador
- ▶ **U200:**
- ▶ SP204D Puesta en servicio
- ▶ SP212B Revisión de válvula de gobernación, válvula trip y cambio de gobernador.
- ▶ PS212C; Modificación plan API del sello y puesta en servicio del equipo
- ▶ **U250:**
- ▶ SP267 Puesta en servicio.
- ▶ SP258B cambio de motor por proyecto de reposición y puesta en servicio de bomba reparada
- ▶ SP260B; cambio de motor y corrección de escape por sellos.
- ▶ SP271B; puesta en servicio luego de preventivo durante parada para limpieza de tornillos en los internos de la voluta
- ▶ SP271C; Puesta en servicio luego de reparación general de bomba y turbina.

- ▶ SP250B; puesta en servicio de la bomba luego de reparación general y mantenimiento preventivo general al motor en taller externo
- ▶ **U2000:**
- ▶ SP2018F Continuidad a trabajos en maquinas y herramientas.
- ▶ SP2022C Continuidad a trabajos de Maquinas y herramientas en la turbina
- ▶ SP2029C Reparar base del sistema de bombeo.
- ▶ **U2100:**
- ▶ SP2109D pendiente directriz 19 y puesta en servicio

12.7 LISTADO DE EQUIPOS FUSIBLES AÑO 2009 REFINACION DE CRUDOS

Cuadro 6. Equipos fusible en refinación de crudos año 2009

Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16	Semana 17	Semana 18	Semana 19	Semana 20	Semana 21	Semana 22	Semana 23	Semana 24	Semana 25	
SP2020C	SP2020C	SP2020C	SP2020C	SP2020C	SP2020C	SP2020C	SP2020C	SP2020C	SP2020C	SP2020C	SP2020C													
SP2022D	SP2022D											SP2022C	SP2022C	SP2022C	SP2022C	SP2022C	SP2022C	SP2022C	SP2022C	SP2022C	SP2022C	SP2022C	SP2022C	SP2022C
SP172AB	SP172AB	SP172AB	SP172AB	SP172AB																				
SP220CD	SP220CD	SP220CD	SP220CD	SP220CD	SP220CD																			
SP137CD	SP137CD	SP137CD	SP137CD	SP137CD													SP137C/D	SP137C/D	SP137C/D	SP137C/D				
SP265AB	SP265AB	SP265AB	SP265AB	SP265AB																				
		SP2008C	SP2008C	SP2008C	SP2008C	SP2008C	SP2008C	SP2008C	SP2008C	SP2008C	SP2008C	SP2008C	SP2008C	SP2008C	SP2008C	SP2008C								
					SP2113A	SP2113A	SP2113A	SP2113A	SP2113A	SP2113A	SP2113A	SP2113A	SP2113A	SP2113A	SP2113A	SP2113A								
					SP223AB	SP223AB	SP223AB	SP223AB	SP223AB															
							SP2017C	SP2017C	SP2017C	SP2017C	SP2017C	SP2017C												
												SP2011F	SP2011F	SP2011F	SP2011F	SP2011F	SP2011F							
														SP880AB	SP880AB	SP880AB	SP880AB							
																							SP2010A	

13. CONCLUSIONES

Luego del benchmarking con Shell Global Solutions, se creó en la GRB el rol de QA/QC de equipo rotativo y se estableció que habrá uno en cada equipo núcleo. La principal responsabilidad es el aseguramiento de la calidad del proceso de reparación de equipo rotativo para lo cual debe velar por el cumplimiento de estándares, registro de la información entre otras funciones.

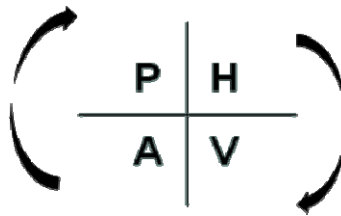
Durante el tiempo de implementación (Octubre de 2007), ha habido mejoras por la disminución del backlog de equipo rotativo, la tendencia de equipos confiables ha aumentado, el tiempo de reparación de equipos ha disminuido, y la cantidad de reprocesos por mantenimiento se está asegurando.

Durante la ejecución del mantenimiento a los equipos, hace dos años, se llevaba un seguimiento muy pardo al mantenimiento desarrollado y las acciones que se ejecutan del mismo no se documentaban, razón por la cual no se llevaba un historial de los mantenimientos desarrollados. Nos encontramos con un 20% de porcentaje de documentación desarrollada en el sistema central de la GRB, que con las auditorias de los QA/QC, hemos llegado alcanzar un indicador de un 90% en la actualidad.

La confiabilidad del equipo rotativo se encontraba en el 2007 en un 69,58% y al primer semestre 2009 se tiene 83,11%, el cual se ve en un aumento significativo en el aseguramiento de la calidad y en los no reproceso a los trabajos ejecutados y entregados.

El sistema de calidad que se está implementando en mantenimiento, ha aumentado la confiabilidad y ha mejorado del TMEF del equipo rotativo del departamento de refinación de crudos de la refinería de Barrancabermeja, basado

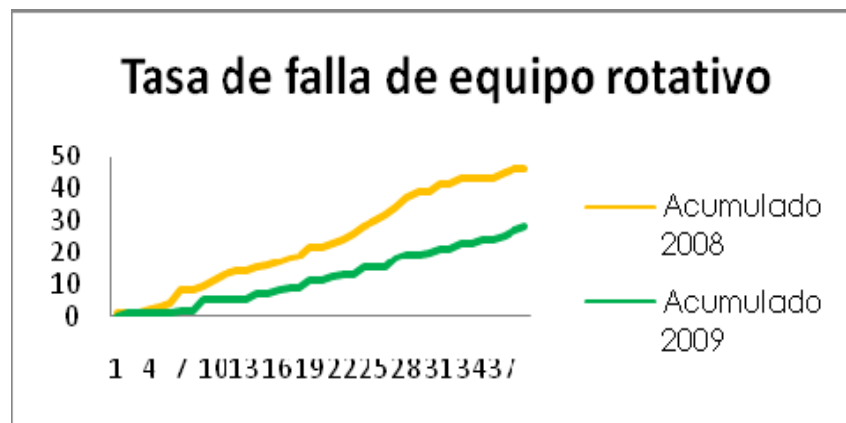
en el desarrollo del plan de mantenimiento e implementación de mejores prácticas en los sistemas bombeo.



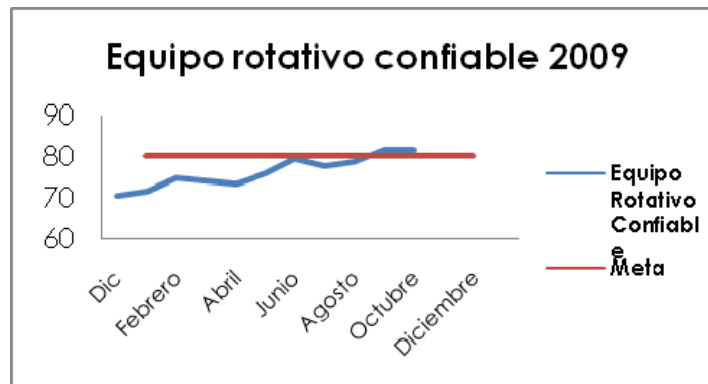
Todo esto se está desarrollando con:

- a) Cumplir plan de mantenimiento acordado con el equipo de trabajo basado en el TMEF de los equipos y su mantenibilidad
- b) Cumplir con mantenimientos predictivos y preventivos
- c) Realizar el cuidado básico adecuado de los equipos en operación y en T/A
- d) Transferir conocimiento y entrenamiento aprendiendo haciendo
- e) Análisis de falla en conjunto Operaciones, Mantenimiento, ATP
- f) Operadores convencidos, involucrados en el plan y parte de la solución
- g) Sinergia de los actores del proceso de confiabilidad

Se ha logrado una mejora del 40% en la tasa de falla de equipo rotativo con respecto al año 2008. 28 equipos 2009 Vs 46 equipos 2008. Cumpliendo con la meta propuesta.



Se logro mejorar la confiabilidad y disponibilidad del equipo rotativo de 70,3% a 81,4%., en el área de refinación de crudo.



Eliminación de causas de falla repetitivas de sistemas de bombeo con TMEF inferior a 6 Meses. SP231A; SP271B; SP2020C; SP267; SP139D; SP2002E; SP2110B (Estos 7 sistemas generaron 21 reparaciones en 2008. En 2009 han generado 3 reparaciones). A la fecha se han reparado 76 equipos Vs 102 equipos en 2008.

Se generó plan de mejora de los sistemas de sellado de la U200 y U2000 liderado por operadores. Aprendiendo haciendo: 15 operadores entrenados en campo.

Todo esto ha creado la sostenibilidad del proceso de confiabilidad de equipo rotativo en el año 2009

BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Mora Gutierrez, Alberto – *Mantenimiento estratégico para empresas de servicios y/o industriales* – AMG – Colombia 2005.
- ❖ Salcedo Gustavo – *Gerencia del mejoramiento continuo* – Material Posgrado Alta Gerencia UIS. Colombia 2007.
- ❖ Suzuki, Tokutarō – *TPM In Process Industries* – Japan Institute of Plant Maintenance – Potland – United States of América.
- ❖ Willey, John A – *Guidelines For Mechanical Integrity Systems* – Center for Chemical Safety – United States of América.
- ❖ Vanegas Jorge Enrique – *Organizaciones y Administraciones* - - Material Posgrado Alta Gerencia UIS. Colombia 2006.
- ❖ Avila Espinosa, Ruben – *Fundamentos de Mantenimiento: guías económicas técnicas y administrativas* – Primera reimpresión Editorial Limusa Grupo Noriega Editores – México- 1991 – ISBN: 968-18-2528-4.
- ❖ Bacca Soto, Victor – *La función mantenimiento* – Primera Edición, Editorial Prograb – Colombia 1991.
- ❖ Paredes Rodríguez, Francis – *Mantenimiento Productivo total* – Material curso ASME para Ecopetrol S.A, 2008.
- ❖ Henao Martinez, Jhon Harvy – Vallejo Jaramillo, Juan Santiago – pórtala, Alex, - Mora Gutierrez, Luis Alberto – *Informe final de investigación del sistema de*

Bombeo – Análisis de Fallas – Grupo de Investigaciones en mantenimiento Industrial GEMI- Universidad EAFIT- Medellín Colombia – 2005

- ❖ Aragón Franco, Fidel – *Gerencia del Mejoramiento continuo de la calidad - Material Posgrado Alta Gerencia UIS. Colombia 2007.*
- ❖ Wert, Jose Ignacio – *El camino a la excelencia del siglo XXI – EFQM, Chile 2006.*
- ❖ Consulting, Aptivo – *Estudio de casos de éxito de identificación de prácticas de empresa como herramientas de dinamización empresarial, España 2004*
- ❖ Mora Gutierrez, Alberto – *Mantenimiento estratégico para empresas de servicios industriales – Colombia 2005.*
- ❖ MARCO ESTRATEGICO ECOPETROL @,2008
<http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=31&conID=484>
- ❖ ORGANIGRAMA ECOPETROL @,2008
<http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=33&conID=37305>