

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**MEJORAMIENTO DE LOS PLANES DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS DEL ÁREA DE CONTROL DE
SÓLIDOS DE UNA EMPRESA DE SERVICIOS PETROLEROS**

*Realizado por:
Br: Emir José Milano Bruzco*

*Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito parcial
para optar al título de*

INGENIERO MECÁNICO

Barcelona, junio de 2004

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**MEJORAMIENTO DE LOS PLANES DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS DEL ÁREA DE CONTROL DE
SÓLIDOS DE UNA EMPRESA DE SERVICIOS PETROLEROS**

ASESORES:

Prof. Oroncio Chacón .
Asesor Académico.

Lic. Pedro Bolívar
Asesor Industrial.

Barcelona, junio de 2004

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**MEJORAMIENTO DE LOS PLANES DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS DEL ÁREA DE CONTROL DE
SÓLIDOS DE UNA EMPRESA DE SERVICIOS PETROLEROS**

JURADO

Prof. Oroncio Chacón.
Asesor Académico.

Prof. Omar Bustillos
Jurado Principal.

Prof. Luis Bravo
Jurado Principal.

Barcelona, junio de 2004

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado de la universidad de oriente:

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la universidad y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del núcleo respectivo, quién lo participará al consejo universitario”.

AGRADECIMIENTO

En el largo camino hacia la obtención del objetivo planteado intervinieron una gran cantidad de personas a las cuales se le agradece muy profundamente por haberme facilitado de una u otra manera la obtención del presente objetivo. Debo comenzar por darle gracias a Dios y a la Virgen del Valle a los cuales siempre los he tenido presente, la Universidad de Oriente y los Profesores con los cuales tuve el placer y orgullo de haber recibido clases, mi Prof. Asesor de la UDO el Ing. Oroncio Chacón el cual me acepto la petición en un momento que se me hacía difícil conseguir a alguien para esa asesoría, el Ing. Alexis Díaz el cual me facilitó la entrada a la Compañía Baroid de Venezuela, ésta última por haberme dado la grata oportunidad de realizar el proyecto de grado, así como mi Asesor Industrial Lic. Pedro Bolívar y su jefe Kevin Redfern a los cuales se les agradece infinitamente por no solamente el hecho de guiar mi proyecto, sino haberme forjado un poco el carácter que se necesita en el ambiente laboral y además por recibir de ellos el trato de un amigo más y no solo el de compañero de trabajo.

Aparte de los antes mencionados agradezco con una importancia igual de grande a los amigos, vecinos y compañeros de estudio con quienes laboré entre ellos Andrés Lemus, Jose G. Gómez, Pedro Delchán, Antonio López (de especial ayuda durante el trabajo de grado), Antonio Díaz, chucho, Tía Magalis y familia (quienes me recibieron con los brazos abiertos en Maturín), Yelitza, mi Padrino Gilberto y familia quienes me dieron ánimo en los peores momentos, mi hermano Juan así como mi familia tanto por parte de mi madre como de mi padre y además de muchas personas más la cuales por cuestión de espacio y memoria se hace imposible colocar aquí,

Sinceramente

Emir J. Milano B.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado mis seres queridos más cercanos como lo son mi madre Doris Bruzco quién no se cansó nunca de brindarme el apoyo que necesitaba, así como a mi padre Emir A. Milano M. el cual se que desde algún sitio me estará observando

RESUMEN

En el presente trabajo se realizan unas mejoras al plan de mantenimiento utilizado con los equipos del área de control de sólidos de la Compañía de Servicios Petroleros Baroid de Venezuela. En procura de ello se estudiaron las fallas de los equipos mediante los historiales, además de las listas de revisión de los mismos. Una vez demostrados que los equipos se encontraban en el período de vida operacional o útil se procedió a determinar la confiabilidad de cada uno de ellos. Con los resultados obtenidos y así también con las listas de revisión se modificaron los planes de mantenimiento de los distintos equipos según lo requerido, es decir, la modificación se hicieron en aquellas áreas o renglones de los planes en donde no se cubría una posible falla así como también no garantizaba (con sensatez, en términos económicos) el buen funcionamiento de cada equipo. El plan de mantenimiento resultante para cada equipo incluye el plan de mantenimiento original más las mejoras hechas para cada uno de ellos, los cuales, estarán basadas principalmente en las fallas repetitivas ocurridas al equipo correspondiente.

INDICE

RESOLUCIÓN.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
RESUMEN.....	VII
INDICE.....	VIII
CAPITULO I.....	8
INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 BAROID DE VENEZUELA.....	8
1.1.1 Reseña Histórica de la Empresa Baroid de Venezuela, S.A.	8
1.1.2 Gerencia de Salud, Seguridad y Ambiente (H.S.E):	9
1.1.3 Misión de la Empresa:.....	9
1.1.4 Objetivos de la Empresa:.....	9
1.1.5 Visión de la Empresa:.....	10
1.1.5.1 Principios fundamentales:	10
1.1.6 Política de Control de Calidad:	10
1.1.7 Divisiones de Baroid de Venezuela.....	11
1.1.7.1 Servicios de Fluidos de Perforación (Drilling Fluid Services (DFS)):	11
1.1.7.2 Servicios de Completación de Fluidos (Completion Fluid Services	
(CFS)):	11
1.1.7.3 Control de Sólidos [Total Fluid Management (TFM)]:.....	12
1.1.7.4 Línea de Producción Barita y Bentonita (BBP):	13
1.1.7.5 Línea de Producción de Fluidos (LMP):	13
1.1.8 Estructura Organizativa De La Empresa Baroid De Venezuela S.A.	14
1.2 Planteamiento Del Problema	15
1.2.1 Objetivo General:	17
1.2.2 Objetivos Específicos:.....	17
CAPITULO II.....	18
MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 RESUMEN DEL CONOCIMIENTO PREVIO.....	18

2.1.1 Control de sólidos.....	18
2.2 Equipos a estudiar.	19
2.2.1 La Centrífuga decantadora.	19
2.2.1.1 Aplicaciones.....	21
2.2.1.2 Operación.....	21
2.2.1.3 Sistema de transmisión.....	22
2.2.1.4 Construcción.....	23
2.2.1.5 Velocidad del tambor.	23
2.2.1.6 Velocidad del tornillo.....	23
2.2.2 La Zaranda.....	24
2.2.2.1 Principio de operación.....	24
2.2.3 Bombas.....	26
2.2.3.1 Bombas centrífugas.....	26
2.2.3.2 Bombas de cavidad progresiva.....	30
2.3 Mantenimiento y tipos de mantenimientos	31
2.3.1 Mantenimiento.....	31
2.3.1.1 Mantenimiento Correctivo	31
2.3.1.2 Mantenimiento Preventivo	31
2.3.2 Planificación del Mantenimiento.....	32
2.3.3 Conceptos básicos.	33
2.3.3.1 Confiabilidad.....	33
2.3.3.2 Fiabilidad.....	34
2.3.3.3 Teorema de Pareto.....	36
2.3.3.4 Curva de la bañera.....	37
CAPITULO III	40
METODOLOGÍA Y CÁLCULOS	40
3.1 Recopilación de datos de los equipos y la construcción de la curva de la bañera de ellos.	40
3.1.1 Bombas Centrífugas.....	40
3.1.1.1 Bomba Centrífuga 1:	40
3.1.1.2 Bomba Centrífuga 2:	41

3.1.2 Bombas de Cavidad Progresiva.....	43
3.1.2.1 Bomba de Cavidad Progresiva1:	43
3.1.2.2 Bomba de Cavidad Progresiva2:	44
3.1.2.4 Bomba de Cavidad Progresiva 3:	45
3.1.2.3 Bomba de Cavidad Progresiva4:	46
3.1.3 Centrífuga de fluidos	47
3.1.3.1 Centrífuga de fluidos	47
3.1.3.2 Centrífuga de la unidad de deshidratación(dewatering).....	48
3.1.4. Zarandas	50
3.1.4.1 Zaranda 1.....	51
3.1.4.2 Zaranda 2.....	51
3.2 Cálculos de las confiabilidades de los equipos de control de sólidos.	52
3.3 Registros de funcionamiento.....	56
CAPÍTULO IV	61
RESULTADOS Y DISCUSIONES	61
4.1 Resultados	61
4.2 DISCUSIONES	61
4.2.1 Bombas.....	61
4.2.1.1 Bombas de cavidad progresiva.....	62
4.2.1.2 Bombas centrífugas:.....	64
4.2.2. Centrifugadora de fluidos.....	65
4.2.3 Las zarandas	70
4.2.4. Beneficios que se podrán obtener a través de las mejoras al plan de mantenimiento preventivo.	73
CAPÍTULO V	74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES	75
ANEXOS.....	76

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 BAROID DE VENEZUELA

1.1.1 Reseña Histórica de la Empresa Baroid de Venezuela, S.A.

Baroid de Venezuela, S.A. fue constituida el 1 de julio de 1954, con el objeto de elaborar, vender y distribuir productos químicos para la preparación de lodos a utilizar en la perforación de pozos petroleros. Para esa fecha su oficina principal estaba ubicada en Caracas y sus distritos operativos funcionaban en Punta Camacho, Santa Rita, estado Zulia y en Pamatacualito, estado Anzoátegui.

En 1972 comienzan a operar en Maturín, estado Monagas, Anaco, Estado Anzoátegui y Barinas estado Barinas y de ese modo tener cubiertas todas las áreas geográficas del país en las cuales se desarrollaban las actividades petroleras.

Para 1992 se decide trasladar la oficina principal a la ciudad de Maracaibo, continuando con los cinco distritos operativos. Las plantas productoras e importadoras de materia prima y químicos en general son Punta Camacho y Pamatacualito. Para la comercialización y venta están Maturín, Anaco, Barinas y Punta Camacho, siendo esta última la más importante de todas las sucursales de Baroid en Latinoamérica en cuanto a producción e ingresos por facturación.

En 1998 por problemas económicos, dada la situación que presentaba el país, se decide cerrar la base ubicada en Anaco, quedando Maturín como único distrito encargado para el Oriente del país.

Actualmente esta empresa se encuentra en un proceso de fusión de operaciones con Servicios Halliburton de Venezuela, S.A. (S.H.V.) lo cual conllevó al cierre de su oficina principal en Maracaibo y la movilización del personal hasta la base S.H.V., en las Morochas, Ciudad Ojeda, estado Zulia. También el personal de Maturín y Barinas fue trasladado hacia las bases de dicha empresa en esas ciudades. Sólo quedan funcionando en la misma ubicación los distritos de Punta Camacho y Pamatacualito.

Dado que a la fecha el proceso de fusión no ha sido concluido, las operaciones de Baroid de Venezuela siguen realizándose como organización autónoma bajo la dirección de ambas empresas.

1.1.2 Gerencia de Salud, Seguridad y Ambiente (H.S.E):

Organización encargada de proteger la Salud y Seguridad de todas las personas relacionadas con las actividades de negocios y proteger asimismo al ambiente en todas sus operaciones. La excelencia en Salud, Seguridad y Ambiente es un objetivo primario de la Gerencia y la responsabilidad de cada uno de los empleados de Halliburton (como ya se aclaró que Baroid está siendo asimilada por Halliburton las mismas normas y políticas de funcionamiento de esta se aplican a Baroid).

1.1.3 Misión de la Empresa:

Entre la misión fundamental de la empresa esta suministrar los mejores productos y servicios en el área de fluidos de perforación, completación de pozos e ingeniería ambiental para la industria petrolera establecida en Venezuela, liderizando el mercado nacional con la utilización de la más alta tecnología y la aplicación de conceptos e ideas innovadoras.

1.1.4 Objetivos de la Empresa:

Dentro de los objetivos establecidos en la empresa se encuentran los siguientes:

- Incrementar la productividad, logrando así un mayor margen de rentabilidad.
- Promover actividades que estimulen y fortalezcan el desarrollo, la investigación y la aplicación de tecnologías avanzadas.
- Mejorar la participación en el mercado.
- Mejorar la calidad de nuestros procesos, productos y servicios.
- Minimizar el impacto de nuestros procesos de trabajo, en el medio ambiente, para contribuir a su preservación.
- Fomentar el desarrollo personal del recurso humano.
- Incrementar actividades que contribuyan al bienestar social.
- Capacitar al personal con las medidas de seguridad idóneas para lograr cero accidentes incapacitantes.

1.1.5 Visión de la Empresa:

La visión primordial de la empresa es ser el líder indiscutible en la industria petrolera y proveer soluciones para yacimientos en tiempo real.

1.1.5.1 Principios fundamentales:

- Valor superior a los accionistas y clientes.
- Crear un ambiente en toda la compañía para el desarrollo y motivación del personal, basado en la creación de los valores.
- Ser líder en tecnología innovadora, soluciones integrales, seguridad y ambiente.
- Utilizar todas las capacidades máximas de las unidades de negocio de Halliburton Company.

1.1.6 Política de Control de Calidad:

Baroid está comprometido con la entrega de productos y servicios que satisfagan las necesidades de negocio de los clientes, alcancen o excedan sus expectativas, cumplan con

sus estándares de calidad y su entrega se realice de manera segura, a tiempo y al precio acordado.

1.1.7 Divisiones de Baroid de Venezuela

La empresa Baroid de Venezuela S.A., cuenta con tres líneas de servicio y dos líneas de producción, las cuales se describirán a continuación:

1.1.7.1 Servicios de Fluidos de Perforación (Drilling Fluid Services (DFS)):

Esta es una línea de servicio de Baroid, que consiste en proporcionarle al cliente uno o varios tipos de fluidos durante la perforación de un pozo, los cuales deben poseer propiedades físicas y químicas adaptadas y adecuadas a las diferentes formaciones geológicas que se deben atravesar.

Estos fluidos son seleccionados entre numerosos diseños de sistemas previamente establecidos por la casa matriz en Houston, Texas (E.U.A.), aunque en ocasiones estos diseños deben ser modificados y ajustados a las condiciones y características específicas de un pozo.

El servicio incluye la asistencia técnica en el pozo a través de Ingenieros de Fluidos, los cuáles monitorean y mantienen el fluido dentro de las propiedades establecidas en el programa y según los requerimientos del pozo. Este monitoreo se lleva a cabo a través de análisis físicos y químicos realizados en el pozo mediante la utilización de equipos de laboratorio diseñados para tal fin.

1.1.7.2 Servicios de Completación de Fluidos (Completion Fluid Services (CFS)):

Esta es una línea de servicio de Baroid, que consiste en proporcionarle al cliente uno o varios tipos de fluidos durante la completación y/o rehabilitación de un pozo, los cuáles

deben poseer propiedades físicas y químicas adaptadas y adecuadas a las diferentes formaciones geológicas que se deben atravesar. Estos fluidos son comúnmente conocidos como salmueras livianas, pesadas y extrapesadas y están constituidas básicamente por sales y cloruros.

El servicio incluye la asistencia técnica en el pozo a través de Ingenieros de Fluidos, los cuáles monitorean y mantienen el fluido dentro de las propiedades establecidas en el programa y según los requerimientos del pozo. Este monitoreo se lleva a cabo a través de análisis físicos y químicos realizados en el pozo mediante la utilización de equipos de laboratorio diseñados para tal fin.

En ocasiones el servicio también comprende la limpieza de los equipos, el desplazamiento de fluidos ya existentes en el pozo y el proceso de filtración del fluido a través de unidades de filtración.

1.1.7.3 Control de Sólidos [Total Fluid Management (TFM)]:

Es una línea de servicio de Baroid, relacionada con el ambiente, consiste en procesar, tratar y disponer de los ripios (sólidos duros provenientes de la perforación) que se generan durante el proceso de perforación de un pozo, a través de equipos y productos diseñados para tal fin.

Estos servicios se llevan a cabo a través de la utilización de centrifugas, unidades de deshidratación (unidad de dewatering) y equipos complementarios que se conectan unos con otros hasta formar el sistema de tratamiento y disposición de desechos.

El servicio incluye la colocación de personal calificado en las instalaciones del pozo, los cuáles se encargan de operar, vigilar y mantener los equipos utilizados en el servicio, así como también para verificar las condiciones y las características de los desechos a través de análisis de laboratorio, a fin de verificar que estos desechos estén los suficientemente

tratados de tal forma que puedan ser nuevamente incorporados al ambiente sin impactar el ecosistema.

1.1.7.4 Línea de Producción Barita y Bentonita (BBP):

Es una línea de producción perteneciente a Baroid, la cual tiene función principal el producir dos productos químicos utilizados en los fluidos de perforación. Estos productos son la Barita (Sulfato de Bario) y la Bentonita (Monmorillonita Sódica Tratada). El primero es un material que le añade densidad y el segundo es un material que le añade viscosidad.

BBP es un Departamento que puede ser visto como un proveedor interno de Baroid, toda vez que supe estos dos productos a la línea de Servicio Drilling Fluid Services (DFS) éstos a su vez utilizan los productos durante las operaciones de fluidos en el taladro para la prestación del servicio.

El proceso comienza con la recepción de la materia prima desde el exterior (China, Perú, Marrueco, etc.), ésta es almacenada y posteriormente es trasladada hasta una trituradora, donde se reduce el tamaño de la piedra, luego pasa el molino donde la materia prima es reducida a un material muy fino similar al polvo, finalmente es enviada a un silo de almacenamiento o a una ensacadora, según la presentación final que sea requerida, ya sea material a granel o material en sacos.

1.1.7.5 Línea de Producción de Fluidos (LMP):

Es una línea de producción perteneciente a Baroid, la cual tiene como función principal preparar nuevas producciones, almacenar, mantener y/o reacondicionar los fluidos de perforación y de completación utilizados en el proceso de prestación de los servicios de las líneas Drilling Fluid Services (DFS) y Completion Fluid Services (CFS).

LMP puede ser visto como un proveedor interno de Baroid, toda vez que este departamento se encarga de atender los requerimientos en materia de fluidos que necesitan

las líneas de servicios DFS y CFS, estos requerimientos incluyen la producción de fluidos nuevos de perforación (Base aceite y Sintéticos) y los fluidos de completación (Salmueras), el control de la recepción y el despacho de los fluidos desde y hacia la planta, el reacondicionamiento y el control durante su almacenamiento en la base de Baroid.

El proceso de producción de fluidos de perforación y completación comienza con la preparación de la orden de producción, posteriormente se ubican los productos en el almacén y se trasladan hasta el área de mezcla, seguidamente se van adicionando los productos en el tanque de mezcla de acuerdo al orden de agregado y el tiempo de mezclado, finalmente se mezclan, se verifican las propiedades físicas y químicas en el laboratorio y luego se almacenan en tanques o unidades de transporte diseñadas para tal fin.

1.1.8 Estructura Organizativa De La Empresa Baroid De Venezuela S.A.

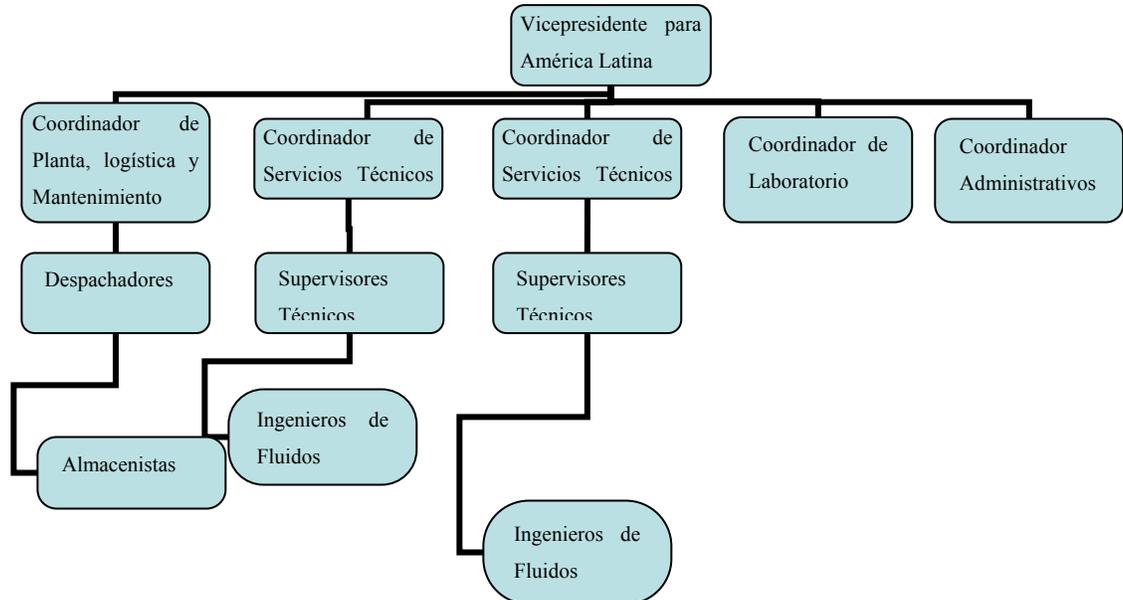


Fig. 1.1. Estructura Organizativa de Baroid de Venezuela

1.2 Planteamiento Del Problema

En toda actividad industrial el mantenimiento es una de las prioridades más importante a tomar en consideración, más aún cuando se tienen y se emplean una gran variedad de equipos y maquinarias utilizadas muchas veces para labores extremas y exigentes. Tanto el mantenimiento preventivo como el correctivo y el predictivo son herramientas fundamentales de los Departamentos de Mecánica y de Mantenimiento en toda empresa, indistintamente del ramo de la misma y su geografía.

Actualmente las empresas basan sus labores de mantenimiento ampliamente en el plano preventivo, lo que ayuda a la operatividad de los equipos, minimización de los costos asociados a reparaciones y adquisiciones de partes y piezas de recambio. De este modo se ahorrará dinero con lo cual se podrá invertir en otras áreas o adquirir nuevos equipos, gracias a lo cual se elevaría la calidad de servicio y el patrimonio de la empresa.

En el caso de la compañía Baroid de Venezuela, siendo más específico en el Área de Control de Sólidos (TFM), el elevado costo por labores de mantenimiento correctivo es un problema. Esto se debe en gran parte a que no se ha realizado un plan de mantenimiento tomando en cuenta el registro de las fallas ocurridas a los equipos, sino, el mantenimiento preventivo que se le ha realizado es el que ya viene estipulado en los manuales de fabricantes de cada equipo. Esto ha traído como consecuencia un número muy grande de correctivos los cuales son indeseables por la pérdida de producción así como los mismos costos de reparación.

El objeto del presente trabajo es el de mejorar el plan de mantenimiento existente con el fin de elevar la confiabilidad de los equipos, disminuyendo las paradas por mantenimiento correctivo, lo cual se traduciría en un ahorro de costos a la empresa y en un nivel de vida más larga de los equipos. Ello se traduciría también en una reducción en cuanto al número de viajes expresos a los pozos de perforación con el fin de remediar los problemas que se suscitan.

El proyecto a realizar hará hincapié en cuatro equipos en particular con los que cuenta el área de TFM, los cuales son: la zaranda, la centrifugadora decantadora, la bomba centrífuga y la bomba de cavidad progresiva.

1.2.1 Objetivo General:

Mejorar los planes de mantenimiento preventivo a los equipos que se utilizan en el área de control de sólidos (TFM) de una empresa de servicios petroleros, mediante el método de MCC.

1.2.2 Objetivos Específicos:

1. Establecer las bases para el mejoramiento del plan de mantenimiento preventivo requerido a los distintos equipos.
2. Recopilación de las fallas ocurridas (en un lapso de tiempo) a cada uno de los distintos equipos citados.
3. Evaluar la confiabilidad de los equipos en observación.
4. Diseñar un procedimiento adecuado para el mejoramiento.
5. Desarrollar los pasos requeridos para la elaboración de la propuesta de mejora.
6. Estimar desde el punto de vista técnico y productivo los beneficios que serán adquiridos con el plan de mantenimiento preventivo global.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 RESUMEN DEL CONOCIMIENTO PREVIO

2.1.1 Control de sólidos

Vista generalizada.

El control de sólidos es el proceso de poder examinar el acumulamiento de sólidos indeseables en el sistema de lodo. El cúmulo de sólidos tiene efectos indeseables en el desempeño del fluido de perforación y el proceso de perforación en sí. Las propiedades de filtración y reológicas (partículas con propiedades elásticas y fluidas a la vez) pueden ser difíciles de controlar cuando la concentración de sólidos perforados (sólidos de baja gravedad) se hace excesiva. Las ratas de penetración disminuyen y los problemas de agujeros aumentan con una alta concentración de sólidos.

Los equipos de control de sólidos en una operación de perforación deben ser manejados como una planta de procesamiento. En una situación ideal, todos los sólidos de perforación son removidos del fluido de perforación bajo típicas condiciones de perforación, sólidos de baja gravedad deben ser mantenidos por debajo del 6% en volumen.

Fuentes y tamaños de los sólidos.

Las dos fuentes primarias de los sólidos son los aditivos químicos y los sólidos que son cortados de los agujeros. La estructura de estos sólidos son contaminantes que degradan el desempeño del fluido de perforación. Si estos sólidos no son removidos, ellos se degradarán más aún, lo que hará más difícil la tarea de removerlo del fluido de perforación.

La mayoría de los sólidos formados pueden ser removidos por medios mecánicos en la superficie. Pequeñas partículas son más difíciles de remover y tienen un efecto mayor en las propiedades del fluido de perforación que las partículas de mayor tamaño.

Un método de control de sólidos es el uso de equipos mecánicos de remoción de sólidos pueden ser divididos en 3 grupos grandes

- Dispositivos de mallas (zarandas).
- Dispositivos de separación centrífugas.
- Dispositivos 3*1. (Limpiador de lodo-distribuidor-zaranda)

2.2 Equipos a estudiar.

En el presente trabajo se tomarán en cuenta cuatro de los equipos que intervienen en el proceso de control de sólidos, los cuales son: Las zarandas, las centrifugadoras de fluido, las bombas centrífugas y las bombas de cavidad progresiva.

2.2.1 La Centrífuga decantadora.

Es un tipo de centrífuga, la cual comenzó a ser usada comúnmente en la industria empezando los años 40. El desarrollo de la decantación se ha incrementado significativamente durante los últimos 10 a 15 años.

El decantador, como se le refiere generalmente está diseñado para separar sólidos de líquido y consiste de un tambor de una sección de forma cilíndrica y termina con una sección de forma cónica el cual gira a velocidades entre 1200 y 4500 rpm, dependiendo por supuesto, del tipo de decantador y su aplicación, siendo el rango más común el que se encuentra entre 1500 y 4000 rpm. Dentro del tambor se encuentra un tornillo transportador el cual gira o rota a una velocidad levemente distinta a la del tambor mismo. Esta diferencia entre las dos velocidades le permite al tornillo transportador mover los sólidos en una

dirección axial a lo largo de la pared interna del tambor a donde se han sedimentado los sólidos gracias a la fuerza centrífuga.

El éxito del decantador (Fig.2.1) se le puede atribuir a su operación, la cual es de forma continua, además de su capacidad para descargar los sólidos relativamente bien deshidratados y así como su variedad de aplicaciones para obtener altas eficiencias en separación.

Gracias a lo anterior, el decantador se puede encontrar en la mayoría de las industrias en donde los líquidos requieren clarificación o en donde los sólidos requieren deshidratación. El decantador trabaja mejor con los sólidos que se sedimentan relativamente fácil. Por lo tanto, otros tipos de separadores u otras maneras de separación líquidos- sólidos pueden ser más apropiados para sólidos muy finos (menor de 3 micrones) o en donde exista muy poca diferencia entre las fases sólida y líquida en cuanto a gravedad específica se refiere.

El lodo es transferido a la centrífuga por medio de una bomba del tipo de cavidad progresiva con una caja reductora, y un variador mecánico de control manual y motor reductor. La capacidad de bombeo puede variar entre $3,15 \times 10^{-04} \frac{m^3}{s}$ y $6,3 \times 10^{-03} \frac{m^3}{s}$ para la centrífuga DMNX 418, dependiendo de los requerimientos específicos del proceso.

La centrífuga puede ser operada a varias velocidades cambiando simplemente la polea del motor de manejo. Esto le permite a la velocidad del tambor de la centrífuga variar para asegurar una fuerza G óptima para varios pesos de lodo y capacidades, dependiendo de los requerimientos del proceso específico.

La centrífuga también se encuentra equipada con un motor opuesto al reductor, que mueve un tornillo transportador interno. Seleccionando la polea del motor del tronillo

transportador (backdrive) la diferencia de velocidad óptima se obtiene en el tornillo transportador, descargando los sólidos que son separados del rotor (bowl). El motor del tornillo transportador (backdrive) es fabricado de un tamaño que pueda manejar capacidades de descargas hasta 3,5 kN ya que este es que se encarga de movilizar los sólidos del lodo. Optimizando la velocidad diferencial de acuerdo al peso del lodo y la capacidad de alimentación, la eficiencia en separación y la capacidad de descarga de sólidos puede ser ajustada siempre en pro de un trabajo óptimo.

2.2.1.1 Aplicaciones

Las centrífugas decantadoras son específicamente construidas para aplicaciones de campos de pozos, tanto en tierra como en mar. Los parámetros de operación ajustable le permite a las decantadoras ser empleadas para un rango amplio de propósitos de control de sólidos en sistemas de fluidos de perforación, incluyendo:

- Recuperación de barita del sistema de lodo activa o del almacén de lodo sobrante.
- Separación de sólidos perforados a partir de lodos no pesados.
- Centrifugación en dos etapas, con recuperación de barita en la primera etapa seguida con una fase de clarificación de líquido para reciclarlo al sistema de lodo activo.
- Tratamiento de perforación y fosos de reservas de desperdicios para colocar allí los desperdicios líquidos contaminados.

2.2.1.2 Operación

La separación tiene lugar en un tambor de forma cónica/cilíndrica colocada de manera horizontal equipada con un tornillo transportador axial. El lodo de alimentación es introducido dentro del tambor a través de un tubo interno axial y es acelerado suavemente por un distribuidor interno diseñado especialmente.

La fuerza centrífuga ocasiona una sedimentación instantánea de las partículas de sólido suspendidas en la pared cilíndrica del tambor, dejando claramente un anillo interno de líquido.

El tornillo transportador, girando en la misma dirección del tambor pero a una velocidad levemente distinta, transporta los sólidos sedimentados hacia el extremo cónico del tambor. En este punto los sólidos son claramente separados del líquido y son deshidratados centrífugamente antes de ser descargados hacia una cubierta recolectora. El líquido clarificado fluye hacia otra cubierta recolectora a través de orificios en el extremo cilíndrico del tambor.

2.2.1.3 Sistema de transmisión.

El tambor es puesto en movimiento por una correa de transmisión V en el rodamiento que queda en el extremo cónico. La potencia es transmitida al transportador por medio de una caja de transmisión satelital de dos etapas en el extremo cilíndrico.

La velocidad diferencial entre el tambor y el tornillo transportador está controlada por un motor separado conectado por una correa de transmisión V al eje planetario de la caja reductora.

La caja reductora 350 incorporada en el diseño de las centrifugadoras de la compañía posee una de las ratas de torque más elevadas en la industria y está protegida contra la sobrecarga por medio de un acoplamiento de rápido reinicio.

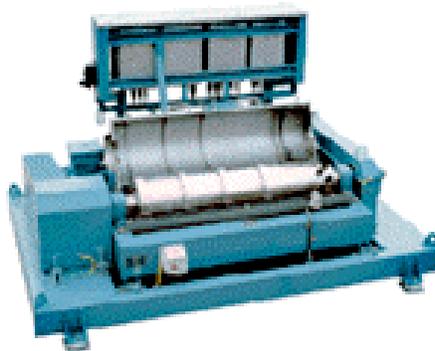


Figura 2.1 Centrifuga Decantadora 418 FT

2.2.1.4 Construcción.

El tornillo transportador está especialmente diseñado para trabajo pesado, aplicaciones que requieren elevados torques, con un tubo de entrada que posee protección contra la erosión. El tambor consta de secciones de acero inoxidable que están moldeadas centrífugamente. La geometría del tambor y los materiales están diseñados para asegurar una operación continua y a largo plazo sin riesgo de taparse y con muy poca necesidad de mantenimiento de campo.

2.2.1.5 Velocidad del tambor.

Dependiendo de la especificación, las centrifugadoras están equipadas con un motor de velocidad variable en el motor principal que le permite al operador ajustar la velocidad del tambor entre 1200 y 3850 rpm en tan solo pocos segundos. Esta opción combinada con una velocidad variable del tornillo transportador, le da una nueva dimensión al uso de centrifugas para tratamientos de fluidos de perforación. Altas velocidades (alta aceleración centrífuga) mejora tanto la clarificación como el efecto de deshidratación a un límite donde los sólidos tienden a deslizarse hacia el pozo o donde las partículas frágiles son estrelladas por las fuerzas de elevada aceleración. La velocidad óptima para la captura de sólidos depende de la composición del fluido de perforación y de la naturaleza de los sólidos.

2.2.1.6 Velocidad del tornillo.

Todas las centrifugas están equipadas con un motor opuesto (llamado **backdrive**) de velocidad variable el cual mueve el tornillo transportador. La velocidad de rotación (velocidad relativa de transporte) puede ser cambiada operando un simple interruptor.

Hasta cierto límite, altas velocidades de giro, mejoran la captura de sólidos e incrementan la capacidad de descarga de sólidos. La velocidad de giro óptima se selecciona

en cada caso de acuerdo a la carga de sólido, eficiencia de separación requerida y la densidad de líquido requerida.

2.2.2 La Zaranda

Es un dispositivo tamizador que sirve para separar los sólidos del lodo a través del uso de mallas los cuales son puestas en movimiento vibratorio por dos motores los cuales indican el sentido en que se va a ejercer la vibración. Desde su introducción a la industria las compañías de perforación han tenido que contar con zaranda (o shakers como se les conoce en la industria) para minimizar los costos del lodo, así como el desgaste en la superficie de los equipos e incrementar las ratas de producción.

La eficiencia de las zarandas depende de un número de factores:

- La vibración lineal, la cual crea altas fuerzas G sobre el nivel de las mallas forzando a la fase líquida, que contiene valiosos aditivos de lodo, a través de las mallas, los cuales son lo suficientemente finas para capturar la gran mayoría de los sólidos de perforación.
- El movimiento lineal transporta los sólidos de perforación hacia el extremo de descarga permitiendo que se pueda operar a niveles de elevados ángulos, los cuales disminuye la velocidad de transporte e incrementa la sequedad de los sólidos descargados.
- Los elevados ángulos permiten una acumulación de líquido sobre la malla, la cual incrementará la presión hidroestática, que en conjunto con la vibración, forzará el líquido a través de las mallas.

2.2.2.1 Principio de operación

La vibración de movimiento lineal es creada por dos ejes fuera de balance (que son de igual peso) puestos en movimiento, uno opuesto del otro. La fuerza resultante aplicada a la canasta de la zaranda se cancela en todas las direcciones excepto en la dirección

perpendicular a la línea central de los ejes rotantes. La fuerza generada por motores vibradores es una función de la cantidad de peso excéntrico sobre los ejes y de los rpm del motor. La disposición de la canasta sobre el paso de vibración lineal determina la fuerza G que las mallas impartirán al lodo. La frecuencia de vibración será la misma de las rpm de los motores que mueven los ejes.



Figura 2.2 Zaranda Harrisburg Diamond 235

Este equipo está diseñado para optimizar la eficiencia en la separación de sólidos mientras minimiza los costos de mallas y en mantenimiento. El tamaño de la abertura de tamiz determina el tamaño de las partículas que un tamiz puede remover. La malla es la abertura por pulgada lineal medidas desde el centro del alambre. Por ejemplo, un tamiz de malla oblonga de 70 por 30 (abertura rectangular) tiene setenta aberturas a lo largo de una línea de una pulgada en un sentido, y tiene treinta aberturas a lo largo de una línea de una pulgada en el sentido perpendicular a la primera. Las características de zaranda utilizada en la compañía son las siguientes:

➤ **Mecanismo de transmisión de movimiento lineal.**

Los dos motores vibradores son fabricados para sobrevivir años de servicio sin problemas. Los motores son lubricados con grasa y se le puede hacer servicio fácilmente desde el extremo de descarga de la zaranda.

➤ **Canasta vibradora.**

La canasta está hecha de acero soldado para maximizar su fortaleza y minimizar la corrosión. La canasta acepta hasta tres paneles de mallas para un área total de mallas de $2,18\text{m}^2$

➤ **Ajuste angular de las mallas.**

Para poder compensar cualquier condición de taladro encontrada, la canasta se puede ajustar a cualquier ángulo entre -3° y $+16^\circ$ con respecto a la horizontal.

➤ **Aislantes de vibración.**

Se utilizan aislantes de vibración de goma para aislar la canasta y para prevenir que la vibración se transmita a los tanques de lodo u otras estructuras de soporte.

2.2.3 Bombas

La bomba es una máquina que absorbe energía mecánica y se la entrega al flujo que pasa por ella en forma de energía hidráulica, es decir, el flujo sale de ella con una mayor presión y velocidad que con la que entró.

Las bombas se emplean para impulsar muchas clases de fluidos (agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos líquidos alimenticios, aire, etc.). Entre las muchas categorías que existen de bombas, en este trabajo se tomarán en cuenta las de cavidad progresiva y las centrífugas, las cuales podemos dar una breve descripción a continuación:

2.2.3.1 Bombas centrífugas.

Todas y solo aquellas bombas que son turbomáquinas son las que pertenecen a este grupo.

Estas son siempre rotativas, su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler (ec.2.1); y su órgano transmisor de energía se llama rodete. Se llaman rotodinámicas porque

su movimiento es rotativo y la dinámica de la corriente juega un papel esencial en la transmisión de energía.

$$\mathbf{H_1 + (V_1/2g) = H_2 + (V_2/2g) + h} \quad (\text{ec. 2.1}), \text{ en donde}$$

$\mathbf{H_1}$ = Altura a la entrada de la bomba.

$\mathbf{V_1}$ = Velocidad del fluido a la entrada de la bomba

$\mathbf{H_2}$ = Altura del fluido a la salida de la bomba.

$\mathbf{V_2}$ = Velocidad del fluido a la salida de la bomba

\mathbf{h} = Pérdidas de energía del fluido durante su trayecto a través de la bomba.

La finalidad básica de una bomba centrífuga en cualquier sistema para manejo de fluidos, es agregarle energía al fluido y dado que la bomba es una máquina dinámica, depende por completo de las relaciones de velocidad para producir la energía. Dado que la prueba mensurable para producir la energía es, en casi todos los casos, en la forma de presión estática, ella es parcialmente el resultado de las reducciones de velocidad y de las restricciones que ocurren en el difusor o en la carcasa y hasta ese grado representa una conversión de la energía de velocidad producida por el impulsor. Por tanto, cualquier comentario sobre la teoría de las bombas centrífugas se convierte, en general, en un comentario de las velocidades que ocurren en diversos puntos dentro de la bomba.

En una bomba centrífuga, el líquido es forzado por la presión atmosférica u otra, hacia un grupo de paletas en rotación que viene a ser un impulsor el cual descarga el fluido a una presión mas elevada y a mayor velocidad en su periferia. Luego la mayor parte de la energía de velocidad se convierte en energía de presión por medio de voluta o con un grupo de paletas de difusión estacionarias que rodean la periferia del impulsor. Las bombas con carcasa de voluta se llaman bombas de voluta; las que tienen paletas difusoras se llaman bombas de difusor, a estas algunas veces se les llaman bombas de turbina. Estas bombas de turbina se han aplicado de un modo más selectivo por sí solas, utilizándolas para pozos profundos, verticales, lo cual hacen que las llamen bombas verticales de turbina.

Las centrífugas se dividen en otras categorías, de las cuales varias están relacionadas con el impulsor, en primer lugar los impulsores se clasifican de acuerdo a la dirección principal del flujo con respecto al eje de rotación. Las bombas centrífugas pueden tener:

- Impulsores de flujo radial.
- Impulsores de flujo axial.
- Impulsores de flujo mixtos que combinan los principios de los flujos radiales y axiales.

Los impulsores se clasifican, además de acuerdo con la disposición del flujo los cuales pueden ser:

- 1.- Succión sencilla, con una sola entrada en un lado.
- 2.- Succión doble, en los cuales el agua fluye de forma simétrica hacia el impulsor.

También se los especifican por su construcción mecánica:

- 1.- Cerrados, con protección o paredes laterales que cubren los conductos para agua;
- 2.- Abiertos, sin protección.
- 3.- Semiabiertos o semicerrados.

El rendimiento de una bomba centrífuga se puede describir en términos de sus siguientes características:

- 1.- Gasto o capacidad, Q , expresado en unidad de volumen por unidad de tiempo; pie^3/s , gal/min , m^3/hr .
- 2.- Aumento en el contenido de energía del líquido bombeado o carga H , expresada en unidades de energía por unidad de masa, por lo general, Kcal/kg , $\text{pie}\cdot\text{lb}/\text{lb}$.
- 3.- Potencia de entrada, P , expresada en unidades de trabajo por tiempo.
- 4.- Eficiencia, η , la relación del trabajo útil efectuado a la entrada de potencia.
- 5.- Velocidad rotatoria, N , en rpm.

Puesto que los parámetros anteriores son interdependientes mutuamente, se acostumbra a representar el rendimiento de una bomba centrífuga por medio de curvas de todas las características en una misma gráfica.

La instalación, operación y mantenimiento apropiados de las bombas centrífugas varían mucho del servicio a los cuales se destinen (y en este caso, se trata de bombear lodos en distintos pozos de extracción del norte de Monagas así como en las cercanías de El Tigre (instalaciones de Ameriven)), y sólo se lograrán buenos resultados si se siguen las instrucciones del fabricante según sea el tamaño y tipo de la unidad. Sin embargo, hay ciertas condiciones generales que se deben observar y que rara vez se necesiten modificar. En general, la localización seleccionada para la instalación debe estar lo más cerca posible de la fuente de fluido, compatible con los requisitos de dejar suficiente espacio libre para permitir el acceso para la operación. Inspección y mantenimiento. La unidad de bombeo se debe montar en una cimentación de suficiente tamaño y rigidez para soportar la unidad misma más el peso del fluido que contendrá durante la operación y para mantener una alineación exacta. La tubería debe tener soportes independientes y estar anclada para evitar esfuerzos sobre la bomba. La tubería de succión, en particular, debe estar diseñada para minimizar las pérdidas por fricción y para representar un perfil uniforme de velocidad en la entrada de la bomba.

Antes de la operación inicial de una bomba centrífuga se debe asegurar que el impulsor o transmisión esté conectado en la dirección correcta de rotación, que cualquier acoplamiento para árbol entre los componentes separados de la unidad estén alineados dentro de los límites señalados por el fabricante y que todos los cojinetes estén provistos con la cantidad de los grados de los lubricantes. Luego la secuencia normal para el arranque será, a) abrir las válvulas en todas las líneas auxiliares para agua de sellos, enfriamiento, lavado, y derivación ; b) abrir la válvula de succión; c) cerrar las válvulas de descargas para las bombas de bajas velocidades específica cuando no se tienen válvulas de retención instaladas después de la bomba, o abrir la válvula de descarga para bombas de alta velocidad específica o siempre que se emplee válvula de retención de descarga; d) cebar o

descargar el de la bomba según se requiere, e) poner en marcha el impulsor; f) abrir la válvula de descarga si se cerró en el paso c.

2.2.3.2 Bombas de cavidad progresiva.

A este grupo no solo pertenecen las bombas alternativas, sino, las llamadas rotoestáticas porque son rotativas, pero en ellas la dinámica de la corriente no juega un papel esencial en la transmisión de la energía. Estas incluyen hélices acopladas, derecha e izquierda en árboles paralelos y en engranes de sincronización. Estas bombas se utilizan mucho para capacidades medianas y grandes, y presiones moderadas y altas. Estas bombas rotativas del tipo tornillo tienen buena eficiencia mecánica (la figura 2.3 muestra un corte transversal de una bomba progresiva). Cuando giran uno o más elementos rotatorios, se forma una cavidad desde la succión hasta la descarga que obliga que el líquido a seguir la trayectoria. También se forma un sello entre la succión y la descarga por las reducidas holguras de funcionamiento o el contacto deslizante o rotatorio, sin válvulas.

La bomba rotatoria es una máquina con una capacidad constante para una velocidad dada. La capacidad puede fluctuar según sea la construcción del rotor. La aceptación de las fluctuaciones depende de la aplicación. Las bombas rotativas, por lo general, bombean fluidos más viscosos que los que se trabajan en bombas centrífugas.

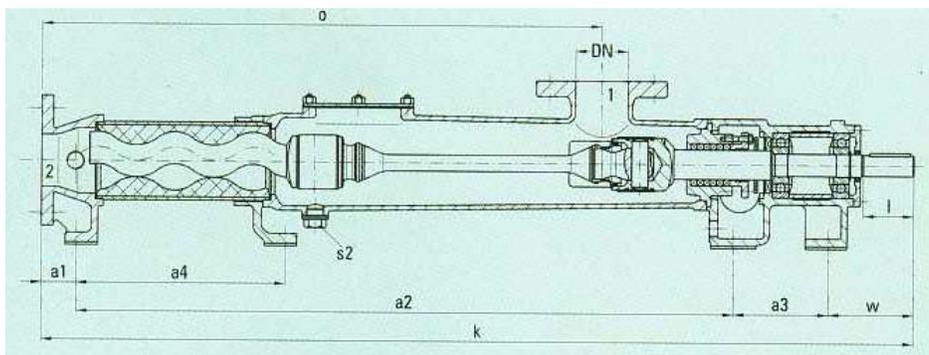


Figura 2.3 Bomba de Cavidad Progresiva

2.3 Mantenimiento y tipos de mantenimientos

Habiendo dado una breve descripción de los equipos a los cuales se les va a trazar un plan de mantenimiento, se procederá a definir los conceptos y métodos a utilizar para alcanzar los el objetivo final del trabajo.

2.3.1 Mantenimiento

Es el conjunto de actividades que permiten mantener un equipo o sistema en condición operativa, de tal forma que pueda cumplir con la o las funciones para la cual está diseñada o restablecer dicha condición cuando ésta se pierda.

El mantenimiento se puede clasificar en dos tipos, los cuales son el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo.

2.3.1.1 Mantenimiento Correctivo

Es una actividad no planificada y se dirige a reparaciones por fallas ocurridas. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en llevar los equipos después de una falla ocurrida, a sus condiciones originales, por medio de restauración o reemplazo de componentes o partes de equipos, debido desgaste, daño o roturas.

2.3.1.2 Mantenimiento Preventivo

Es una actividad planificada en cuanto a inspección, detección y prevención de fallas, cuyo objetivo es mantener los equipos bajo condiciones específicas de operación. Se ejecuta a frecuencias dinámicas, de acuerdo con las condiciones del fabricante, las condiciones de operacionales y los historiales de las fallas de los equipos. El mantenimiento preventivo se clasifica a su vez en otros 4 tipos de mantenimiento los cuales son:

- **Mantenimiento Sistemático:** Son actividades establecidas en función del uso del equipo (horas totales de operación, kilómetros, etc.).
- **Mantenimiento Condicional:** Actividades basadas en el seguimiento del equipo mediante diagnóstico de sus condiciones.
- **Mantenimiento de Ronda:** Vigilancia regular a frecuencias cortas.
- **Mantenimiento Predictivo:** Monitoreo de condiciones y análisis de comportamiento de los equipos para predecir intervención, según los niveles de admisibilidad.

2.3.2 Planificación del Mantenimiento

Es el diseño de programas de actividades del mantenimiento, distribuidas en el tiempo, con una frecuencia dada que permite mantener los equipos en operación cumpliendo las metas de confiabilidad preestablecidas.

La gestión de mantenimiento es un proceso cíclico que se inicia con la planificación, la cual tiene función preparar la ejecución de los trabajos, consiguiendo la participación de todos los recursos necesarios y resolviendo todos los problemas que puedan afectar su eficiente ejecución.

El planificador al recibir los resultados de las inspecciones, verifica la existencia de repuestos y disponibilidad de horas-hombres. Posteriormente procede a elaborar la orden de trabajo (OT) considerando las prioridades establecidas.

La inspección consiste en revisar un equipo o parte de él con el fin de determinar el estado en que se encuentra. La inspección no modifica o altera la situación en que se encuentra el equipo, sino que solamente la detecta y la define.

La acción que modifica o altera la situación de un equipo se denomina reparación o trabajo.

2.3.3 Conceptos básicos.

2.3.3.1 Confiabilidad

Se define como la probabilidad de que un componente o equipo esté operando adecuadamente durante un período de tiempo, bajo condiciones dadas. Sus orígenes se remontan a comienzos de la Segunda Guerra Mundial cuando los servicios militares impulsaron el desarrollo de modelos matemáticos para la confiabilidad, así como de técnicas de diseño para hacer cuantitativamente la especificación, medida, y predicción de la falla.

Al finalizar la guerra los estudios de confiabilidad continuaron impulsados en gran medida por la Guerra Fría, la carrera espacial y la industria nuclear. Hoy los estudios de confiabilidad se realizan sistemáticamente en el diseño de equipos con el objeto de mejorar la calidad de los productos. Las técnicas de confiabilidad se aplican hoy en día, no solo al diseño de equipos, sino, también al análisis de data operativa para ser aplicada a mantenimiento. El resultado del análisis nos permite:

A.- Conocer el comportamiento de equipos en operaciones con el fin de:

- Aislar componentes y equipos problemáticos.
- Prever y optimar la utilización de los recursos necesarios en mantenimiento (humanos y materiales).
- Diseñar las políticas de mantenimiento a ser utilizadas.
- Calcular instantes óptimos de sustitución económica de equipos.
- Establecer las frecuencias adecuadas para la ejecución del mantenimiento preventivo.

B.- Especificar el comportamiento de los equipos ha ser adquiridos y comprobar su cumplimiento.

El término sinónimo de confiabilidad es probabilidad de supervivencia y el término desconfiabilidad, es por supuesto la probabilidad de falla el cual es el complemento a nivel unitario de la probabilidad de supervivencia.

En el estudio de la confiabilidad es importante tomar en cuenta las fallas, término que ya se ha definido como: la ocurrencia no previsible, inherente al equipo y que impide que él continúe su operación normal.

Cuando sucede una falla es necesario analizarla, lo cual es necesario hacerla bajo dos puntos de vista, y estos son: análisis técnico de la falla, para determinar su causa su magnitud, y el análisis estadístico de la falla, con el que podemos determinar la influencia del factor tiempo en el mecanismo de la falla, sin tomar en cuenta la causa que la produjo. Por medio de métodos estadísticos se pueden conocer los mecanismos de fallas de equipos y componentes y en consecuencia cuantificar y predecir su fiabilidad y mediante el uso de métodos probabilísticos, también es posible definir políticas óptimas de mantenimiento, en función de minimizar costos y maximizar la disponibilidad.

2.3.3.2 Fiabilidad

Es uno de los problemas esenciales de la ingeniería y herramienta fundamental para organizar el mantenimiento de los equipos. Se refiere a la propiedad que tiene el artículo de cumplir las funciones asignadas, conservando en el tiempo los valores de los requisitos de utilización establecidos dentro de los límites fijados, en correspondencia con las condiciones establecidas. El aumento de la fiabilidad de los equipos es uno de los problemas más actuales vinculados con el desarrollo de la técnica moderna. Este objetivo se ha agudizado en los últimos años debido a las siguientes razones.

1. El aumento de la complejidad de los sistemas técnicos modernos por la variedad y responsabilidad de las funciones que se les imponen, así como la elevada cantidad de elementos componentes.
2. La intensidad de los regímenes de trabajo o funcionamiento del sistema o sus partes individuales, altas temperaturas, altas presiones, altas cargas, altas velocidades, etc.
3. Se elevan las exigencias de la calidad de trabajo del equipo. Se busca mayor precisión y exactitud en las cualidades y características del producto que se fabrique con el equipo, una mayor efectividad en el trabajo y una mayor eficiencia. Ello implica que se permite

menos separación entre los valores nominales y admisibles de los parámetros que caracterizan el trabajo de las máquinas e instalaciones.

4. El aumento de responsabilidad de las funciones cumplidas por el sistema y con ello el alto valor técnico-económico de la interrupción debida al fallo. Las pérdidas son elevadas y en ocasiones los efectos catastróficos. El fallo de aparatos de mando automático de los procesos de elaboración en la industria química motiva pérdidas cientos de veces mayores que el propio valor del artículo que falla y hasta peligro para los operarios.

El servicio de mantenimiento racional a las máquinas es decisivo en la fiabilidad de las mismas. La decisión acertada sobre donde utilizar un tipo de sistema de mantenimiento, cuales acciones son las efectivas, con que periodicidad y otros aspectos del campo de organización del mantenimiento son aspectos que tienen relación directa con la fiabilidad de la máquina que se explota.

El fallo es el evento por excelencia a estudiar en fiabilidad, siendo importante el análisis de su naturaleza física, sus causas y la elaboración de las medidas encaminadas a pronosticarlos. Para ese fin es importante conocer las clasificaciones de más interés.

1.- Según su interrelación pueden ser:

- **Dependientes.** Surgen como consecuencia del fallo de otros elementos y/o surgimiento puede provocar fallo en otro elemento. O sea, la dependencia puede ser como causa o por efecto.
- **Independientes.** Su aparición no tiene relación con otros fallos anteriores ni posteriores.

2.- Según sus consecuencias pueden ser:

- **Peligrosos.** Su aparición representa un peligro para las personas que operan o dan servicio al equipo.
- **No peligrosos.** No tienen consecuencias en ese aspecto.

3.- Según el carácter de aparición pueden ser:

- **Súbitos.** Se caracterizan por las variaciones bruscas de una o varias especificaciones del artículo.
- **Graduales.** Se caracterizan por el cambio progresivo de una o varias especificaciones del artículo.
- **Intermitentes.** Se manifiestan rápidamente durante intervalos de tiempos separados por períodos en que la máquina recupera su capacidad de trabajo sin intervenciones exteriores.

Es evidente que cada posible fallo de la máquina puede ser clasificado como se ha expuesto y se ubica en una determinada categoría dentro de cada categoría de clasificación, o sea, un fallo puede ser independiente, peligroso, gradual y muchas otras combinaciones posibles. Para alcanzar los mejores resultados con el estudio y aplicación de la teoría de la fiabilidad, uno de los primeros pasos a dar por el especialista es la completa clasificación de los fallos, de manera que la mayor atención se prestará a aquellos que sean dependientes, peligrosos y súbitos ya que son los más problemáticos. Menor interés se les prestará a aquellos que sean independientes, no peligrosos y graduales.

2.3.3.3 Teorema de Pareto

El teorema de Pareto es una comparación ordenada de los factores relativos a un problema. Esta comparación nos va a ayudar a identificar y enfocar los pocos factores vitales diferenciándolos de los muchos factores útiles. Esta herramienta es especialmente valiosa en la asignación de prioridades, en el diagnóstico de causas y en la solución de las mismas.

La clave para interpretar y analizar a los resultados de la curva de Pareto es utilizar los hechos para encontrar la máxima concentración de potencial de mejora con el mínimo número de soluciones, separando los pocos elementos pero vitales relativos al problema, de los muchos y útiles. El equipo humano responsable del análisis identificará los elementos vitales mediante el porcentaje acumulado del total, que nos dirá qué elementos (pocos)

contribuyen en el problema en un alto porcentaje. Normalmente, este bajo número de elementos, sobre el 20%, constituirá aproximadamente un 80% del problema. La solución se focaliza entonces en estos pocos elementos, pero vitales.

En mantenimiento, se debe tener cuidado al interpretar los datos que se obtienen de los archivos, sobre todo en los indicadores parciales de gestión, sea en forma de data o gráfica.

Todo lo anterior con el paso de los años dio inicio a una metodología que se denomina MCC (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) la cual resume de manera más sencilla los términos anteriormente definidos y descritos, de modo que se pueda aplicar con una mayor facilidad y practicidad a la industria.

2.3.3.4 Curva de la bañera.

A través de un prueba actuarial se puede obtener la representación gráfica de la rata o tasa de falla con respecto al tiempo, de un equipo o un grupo de equipos. Para su aplicación se requiere conocer:

- a. El instante en que ha ocurrido las fallas, en la vida de cada equipo.
- b. El tiempo transcurrido entre cada falla, usando el factor de utilización para mayor precisión en los cálculos.

Estos datos se pueden obtener de los archivos de los equipos; con el siguiente ejemplo, en donde se analizará las fallas de un solo equipo y se podrá ver como se construye e interpreta la curva de la bañera.

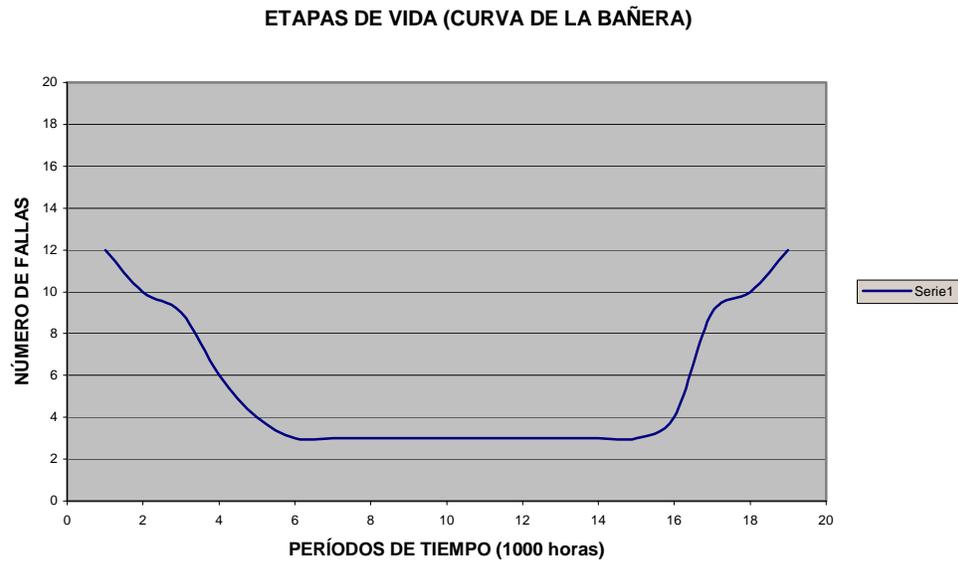


Figura 2.4 Curva de la bañera de un equipo cualquiera

Como se puede notar, el anterior gráfico presenta una curva en forma de bañera y por consiguiente lleva tal nombre. En ella se lleva el número de fallas ocurridas en un mismo equipo por un período de tiempo específico (el cual puede ser horas, días, meses o años). En ellas se puede distinguir tres etapas los cuales indican el período de vida en que se encuentra el equipo, los cuales son período de arranque (curva descendiente), período de operación normal (curva horizontal) y período de obsolescencia o desgaste (curva ascendiente). A continuación se hará una breve descripción de cada una de ellas:

a.- Período de arranque: También llamada período de mortalidad infantil, es el período en el cual el equipo presenta una gran cantidad de fallas atípicas, las características más importantes de este período son:

- Índice de fallas decrecientes, al aumentar el tiempo, la tasa de fallas decrece, debido a la eliminación sistemática de las fallas.
- La confiabilidad es baja y aumenta también con el tiempo.
- Las causas más frecuentes de las fallas son, los defectos de diseño no corregidos, errores en la fabricación y montaje del equipo.

.-Generalmente la corrección de los defectos de fábrica le corresponde al grupo de arranque, hasta el punto donde la frecuencia de las fallas disminuye y se hace constante, en ese momento se entrega el equipo a operaciones.

b.- Período de operación normal: También llamado período de vida útil. En este período la tasa de fallas se mantiene en un nivel constante, durante el cual el equipo se espera que cumpla la mayoría de sus funciones. En este período la ocurrencia de fallas es aleatoria y no depende del tiempo transcurrido desde la última falla. Las características de este período son:

- .- Cubre la mayor parte de vida del equipo.
- .- El índice de fallas es constante.
- .- Las fallas son totalmente al azar y son casi imposibles de predecir.
- .- La principal causa de falla, es la repentina acumulación de esfuerzos por encima de la resistencia de diseño de los componentes.

c.- Período de desgaste u obsolescencia. Durante este período la tasa de falla aumenta sostenidamente, porque los elementos de los equipos sufren un proceso de deterioro físico debido al uso, tal como desgaste, corrosión, etc. En determinado momento los costos de mantenimiento y la indisponibilidad del equipo serán tan elevados que el equipo deberá sustituirse; como vía alterna pudiera implantarse una política de sustitución de componentes que permita aumentar el período de vida útil.

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y CÁLCULOS

3.1 Recopilación de datos de los equipos y la construcción de la curva de la bañera de ellos.

En esta fase del trabajo se incluye el resultado de la recopilación de información, es decir, las fallas de los equipos involucrados, la frecuencia de ellas para así con ello calcular las posibilidades de supervivencia de los equipos. Para comenzar se debe aclarar que los historiales presentados de los equipos son parciales, es decir, no son historiales totales de los equipos desde su puesta en operación inicial. Una vez presentados los historiales parciales de los equipos se tomarán los eventos de fallas para poder calcular sus probabilidades de supervivencia. En procura de ello primero se debe tomar en cuenta la etapa de vida en que se encuentran los equipos y para ello debemos trazar la curva de la bañera de los equipos en cuestión.

Se comienza esta parte del trabajo con los historiales de los respectivos equipos para así poder presentar a continuación sus respectivas curvas de las bañeras. Los historiales obtenidos de las bombas centrífugas, de las cuales se tienen dos muestras que están en operación en el complejo de Ameriven 737, se muestran a continuación:

3.1.1 Bombas Centrífugas

3.1.1.1 Bomba Centrífuga 1:

Esta bomba se encarga de impulsar el lodo que es deshidratado en la unidad de deshidratación de lodo (dewatering).

Tabla 3.1 Fallas de la bomba centrífuga n° 1

Fecha de ajuste	Trabajo realizado
19/01/02	Se le realizó mantenimiento al panel eléctrico

Continuación de la tabla 3.1

13/03/02	Se cambió la empaquetadura para evitar fuga de lodo al piso
14/04/02	Cambio de empaquetadura para evitar fuga de lodo al piso y además se pintó de azul intenso.
2/05/02	Se desmontó de la plataforma ya que esta requería mantenimiento.

Tabla 3.2 Tiempo entre fallas para la bomba centrífuga n°1

n	Tiempo entre fallas (horas)
1	1272
2	768
3	432

3.1.1.2 Bomba Centrífuga 2:

Esta bomba trabajó en el área de tratamiento de agua. En un período de 5 meses, aproximadamente, se le realizaron los siguientes trabajos los cuales se presentan en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Fallas de bomba centrífuga n° 2

Fecha de ajuste	Trabajo realizado
17/01/02	Se colocó un empaque de dos centímetros y medio
4/03/02	Se le cambió empaque para corregir fuga de lodo
13/04/02	Se instaló una conexión “Y” en la succión para recuperar agua dentro de la bandeja.
11/05/02.	Se cambió la empaquetadura para evitar la fuga de lodo al piso

Tabla 3.4 Tiempo entre fallas para la bomba centrífuga n°2

n	Tiempo entre fallas (horas)
1	1104
2	960
3	672

Suponiendo un promedio de horas de trabajo de 340 horas al mes para cada una de las bombas (cerca de cuatro mil quinientas horas al año) eso es, tomando en cuenta las paradas más los tiempos fuera de servicio debido a reparaciones (también producto de consultas a los supervisores de los taladros) se llega a construir las curvas de la bañera de las dos bombas

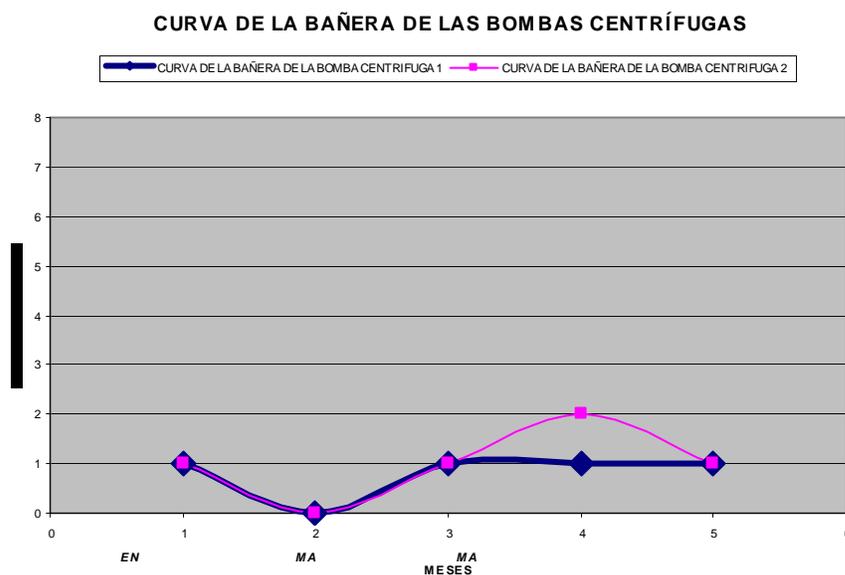


Figura 3.1 Curva de la bañera de las bombas centrífugas

3.1.2 Bombas de Cavidad Progresiva

3.1.2.1 Bomba de Cavidad Progresiva 1:

Esta bomba se encarga de alimentar de lodo a las centrífugas decantadoras. Se le tomaron datos de trabajos realizados, así como de fallas sufridas en un período de aproximadamente tres meses. Éstos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3.5. Fallas de bomba de cavidad progresiva n°1

Fecha de ajuste	Trabajo realizado
17/01/02	Se colocó un sello para corregir una fuga de lodo
25/01/02	Cambio del punto de grasa 1
9/02/02	Se le cambió el protector del acoplamiento por desgaste
11/03/02	Cambio de sello para corregir una fuga de lodo

1/04/02	Cambio sello para corregir una fuga de lodo
13/04/02	Cambio de sello para corregir una fuga de lodo al piso.

Tabla 3.6. Tiempo entre fallas para la bomba de cavidad progresiva n°1

n	Tiempo entre fallas (horas)
1	192
2	360
3	720
4	504
5	288

3.1.2.2 Bomba de Cavidad Progresiva 2:

Impulsa el lodo producto de la unidad de deshidratación (unidad de dewatering). En la siguiente tabla se muestran los trabajos que se le realizaron durante un periodo aproximado de 4 meses.

Tabla 3.7 Fallas de bomba de cavidad progresiva n°2

Fecha de ajuste	Trabajo realizado
22/01/02	Se le instaló una caja reductora reparada ya que se le habían salido los satélites.
11/03/02	Se cambió (por desgaste) el estator, el rotor, la caja reductora, así como el acoplamiento entre el motor y la bomba.
17/03/02	Se le cambió el cuerpo de la bomba la cual se había partido
4/04/02	Se le colocó una reducción para inyectar Lipesa 790 de forma independiente antes de la succión.
13/04/02	Se le cambió el empaque para corregir una fuga de lodo al piso.

Tabla 3.8. Tiempo entre fallas para la bomba de cavidad progresiva n°2

N	Tiempo entre fallas (horas)
1	1152
2	144
3	432
4	216

3.1.2.4 Bomba de Cavidad Progresiva 3:

Ésta se encarga de bombear lodo hacia la unidad de deshidratación.

Tabla 3.9 Tabla de frecuencia de fallas de bomba de cavidad progresiva n°3

Fecha de ajuste	Trabajo realizado
24/01/02	Se le colocó un prisionero en el ensamble del eje. Tenía un tornillo muy grande lo cual le producía desbalance.
1/03/02	Se le cambió el empaque para corregir una fuga de lodo
7/03/02	Se le cambió el rotor y el estator

Continuación de la tabla 3.9

4/04/02	Se le colocó una tubería "Y" para inyectar el polímero Lipesa 790 antes de la succión
13/04/02	Se le cambió la empaquetadura para evitar fuga de lodo al piso.
14/05/02	Se le cambió el aceite a la caja reductora.
19/05/02	Se pintó de azul intenso y mantenimiento general.

Tabla 3.10. Tiempo entre fallas para la bomba de cavidad progresiva #3

n	Tiempo entre fallas (horas)
1	864
2	144
3	672
4	216
5	744
6	120

3.1.2.3 Bomba de Cavidad Progresiva 4:

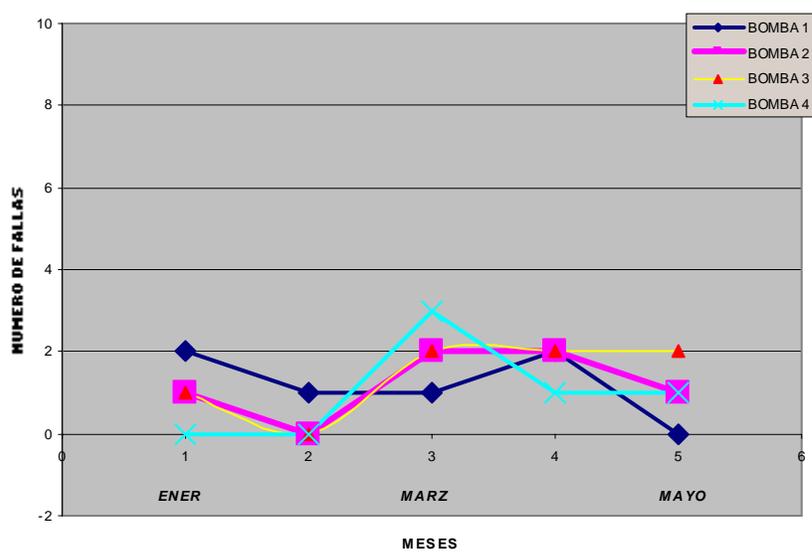
Impulsa polímero hacia la unidad de deshidratación. Durante un período aproximado de 2 meses sufrió las siguientes modificaciones:

Tabla 3.11 Fallas de bomba de cavidad progresiva n°4

Fecha de ajuste	Trabajo realizado
11/03/02	Se le cambió caja reductora y el sello interno (llamado a veces araña de goma) del acoplamiento
13/03/02	Se le cambió empaque para corregir fuga de lodo al piso
28/03/02	Se le cambió empaque para corregir fuga de lodo al piso.
13/04/02	Se le cambió empaque para corregir fuga de lodo al piso
11/05/02	Se le cambió empaque para corregir fuga de lodo al piso

Tabla 3.12. Tiempo entre fallas para la bomba de cavidad progresiva n°4

n	Tiempo entre fallas (horas)
1	48
2	360
3	384
4	672

CURVA DE LA BAÑERA DE LAS BOMBAS DE CAVIDAD PROGRESIVA**Figura 3.2** Curva de la bañera de las bombas de cavidad progresiva

3.1.3 Centrífuga de fluidos

3.1.3.1 Centrífuga de fluidos:

Como ya se ha explicado anteriormente, este equipo se encarga de separar los sólidos del lodo que no pueden ser separados utilizando las zarandas. Durante un período de aproximadamente de 5 meses, se le realizaron los siguientes trabajos en procura de mantenerla en buen estado de funcionamiento.

Tabla 3.13 Fallas de decantadora de fluidos n°1

Fecha de ajuste	Trabajo realizado
25/01/02	El enchufe presentó recalentamiento. Se le realizó mantenimiento eléctrico.
4/02/02	Se reparó el interruptor principal que estaba partido
6/02/02	Se reemplazó el interruptor principal con uno nuevo.
7/02/02	Se colocó el tambor de la centrífuga.
9/02/02	Se hizo un lavado general y engrase
25/03/02	Se cambió la parte lateral del empaque de la tapa por fugas.
26/03/02	Se cambió el aceite de la caja reductora
3/05/02	Se le cambió el contactor LCD12 del tornillo transportador ya que presentaba recalentamiento de la bobina y los contactos estaban fundidos.
15/05/02	Se cambió el breaker de 50 amperios perteneciente al freno del motor del tornillo transportador

Tabla 3.14. Tiempo entre fallas para la decantadora de fluidos n°1

n	Tiempo entre fallas (horas)
1	240
2	48
3	24
4	48
5	1056
6	24
7	912
8	288

3.1.3.2 Centrífuga de la unidad de deshidratación (dewatering).

Entre los meses de enero y mayo del presente año esta unidad presentó los siguientes inconvenientes o modificaciones.

Tabla 3.15 Fallas de decantadora de fluidos n°2

Fecha de ajuste	Trabajo realizado
14/01/02	Se le cambió el rotor (tambor) ya que la anterior presentaba las rolineras dañadas lo cual causaba exceso de ruido y vibración.
26/01/02	Se le cambió el rotor (tambor) ya que la anterior presentaba las rolineras dañadas lo cual causaba exceso de ruido y vibración.
31/01/02	Se conectó el cable del sistema de seguridad de sobrecarga. Se graduó la palanca que abre el contacto del interruptor de sobrecarga.
21/02/02	Se cambió una correa y un rodamiento de la caja reductora
19/03/02	Se cambió rolinera del rotor y la caja reductora
26/03/02	Se hizo cambio de aceite a la caja reductora.
5/04/02	Se revisaron las lámparas colocadas en dicha unidad.
17/05/02	Se bajó y se desarmó el rotor para hacerle limpieza interna así como también al tornillo transportador
18/05/02	Se armó el rotor y se colocó nuevamente

Tabla 3.16. Tiempo entre fallas para la decantadora de fluidos n°2

n	Tiempo entre fallas (horas)
1	288
2	120
3	504

Continuación de la tabla 3.16

4	624
5	168
6	240
7	1008
8	24

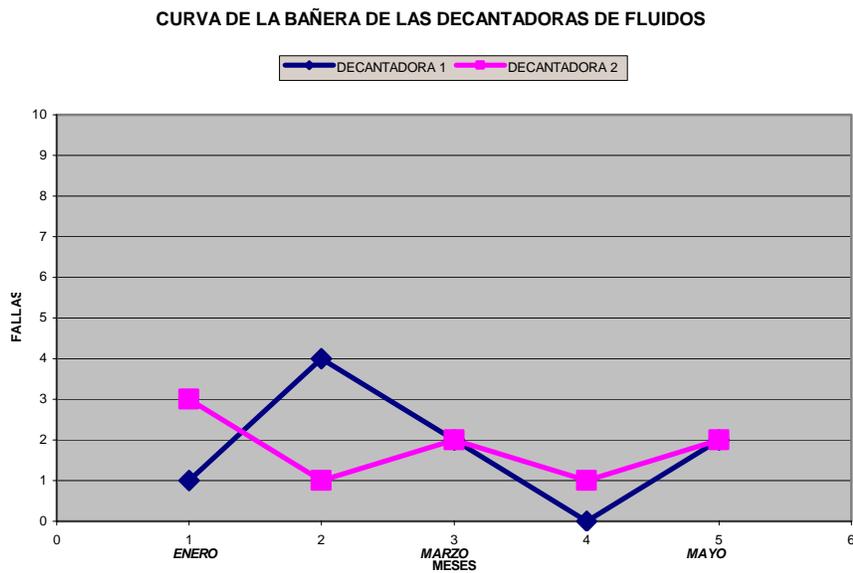


Figura 3.3 Curva de la bañera de las centrífugas decantadoras

3.1.4. Zarandas

Se usan en la mayoría de los casos a la hora de separación de los sólidos del lodo, por el hecho de poder manejar una mayor cantidad de lodo comparado con la centrífuga y además por ser un equipo más económico en su uso, tanto en consumo como a la hora de reparación, es decir, es un equipo más económico que las centrífuga decantadora.

3.1.4.1 Zaranda 1.

Entre los meses junio y septiembre a la zaranda #1 se le realizaron los siguientes trabajos de mantenimiento, los cuales se muestran en la tabla 3.17.

Tabla 3.17 Fallas de la zaranda 1

Fecha de ajuste	Trabajo realizado
15/06	Cambio de goma aislante
28/06	Gato hidráulico
4/08	Cambio de goma aislante

Tabla 3.18. Tiempo entre fallas para la zaranda 1

n	Tiempo entre fallas (horas)
1	312
2	888

3.1.4.2 Zaranda 2.

Durante el período entre el mes de marzo hasta el mes de agosto esta zaranda tuvo los siguientes registros de mantenimiento o daños.

Tabla 3.19. Fallas de la zaranda 2

Fecha de ajuste	Trabajo realizado
15/03	Ajuste de tornillos de motor
7/04	Cambio de goma aislante
28/05	Engrase del sistema de cambio de ángulo
9/08	Instalación frenos

Tabla 3.20. Tiempo entre fallas para la zaranda 2

n	Tiempo entre fallas (horas)
1	552
2	1224
3	1032

Por lo que se puede apreciar en las respectivas curvas (salvo con las zarandas en donde por razones de más datos archivados fue poco práctico analizar y construir las curvas) estos equipos se encuentran en la etapa de operación normal, debido a que la variación entre el número de fallas por mes no fue significativo y además se tomó en cuenta las consultas de los supervisores de los taladros (por lo general, la mayoría de los equipos están sobre lo cinco (5) años de operación).

3.2 Cálculos de las confiabilidades de los equipos de control de sólidos.

En procura de hallar la confiabilidad de los equipos se utilizó el método analítico de Weibull con sus respectivos gráficos para analizar los resultados y así sacar conclusiones de las mismas.

Para determinar la confiabilidad de los equipos por medio de la evaluación analítica se ejecutó el siguiente procedimiento:

$$(1) \quad P_{(s)} = \text{EXP} - (t/v)^k$$

El tiempo promedio entre fallas y la desviación estándar estarán dados por :

$$(2) \quad \text{TMEF} = v * \Gamma (1 + 1/k)$$

$$(3) \quad \sigma = v * \sqrt{\Gamma(1 + 2/k) - \Gamma^2(1 + 1/k)}$$

Calculando la función gamma.

Los valores de k y v se pueden calcular por las siguientes fórmulas:

$$(4) \quad k = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i b_i}{\sum_{i=1}^N b_i - Lnv \sum_{i=1}^N b_i^2}$$

$$(5) \quad Z_i = \frac{1}{Lnt_i} \left| \{LnLn\left(\frac{1}{Ps(t_i)}\right)\} \right|$$

$$(6) \quad b_i = \frac{1}{Lnt_i}$$

$$(7) \quad v = \exp \left| \frac{N \sum_{i=1}^N Z_i b_i - \sum_{i=1}^N Z_i \sum_{i=1}^N b_i}{\sum_{i=1}^N Z_i b_i \sum_{i=1}^N b_i - \sum_{i=1}^N Z_i \sum_{i=1}^N b_i^2} \right|$$

siendo i = consecutivo de ordenamiento

N = Máximo consecutivo de ordenamiento

t_i = tiempo entre fallas

$s(t_i)$ = probabilidad de supervivencia para cada TEF y que se puede calcular a través de la fórmula: $Ps(t_i) = [(N-i) + 1] / (N + 1)$

Por lo complejo de los cálculos se creará el siguiente procedimiento:

1.- Se construye una tabla con 10 columnas y tantas filas como t_i hayan

- ⇒ Columna n°1, se coloca el número de ordenamiento desde 1 hasta N
- ⇒ Columna n°2, los t_i ordenados de menor a mayor (orden creciente)
- ⇒ Columna n°3, se calculan y colocan los $Ln t_i$ o sea los logaritmos neperianos de los valores de la columna 2.
- ⇒ Columna n°4, se calculan los b_i como el inverso del valor de la columna anterior y colocamos en esta columna ese valor
- ⇒ Columna n°5, se coloca el cuadrado del valor correspondiente de la columna 4 o sea (b_i^2)
- ⇒ Columna n°6, la probabilidad de supervivencia para cada t_i y calculada según la fórmula dada.

- ⇒ Columna n°7, el logaritmo neperiano del inverso de la probabilidad de supervivencia $\text{Ln}(1 / \text{Ps}(t_i))$, $\text{Ps}(t_i)$ es el valor de la columna 6
- ⇒ Columna n°8, el logaritmo neperiano de los valores de columna 7
- ⇒ Columna n°9, Z_i que esta dado por el cociente entre cada valor de la columna 8 entre cada valor de la columna 3.
- ⇒ Columna n°10, el producto $Z_i b_i$, que es el producto entre los valores de la columna 4 y la columna 9

2.- Luego de construida la tabla y calculados todos los valores correspondientes, se realizan las siguientes sumatorias:

- ⇒ $\sum_{i=1}^N b_i$ (sumatoria de la columna 4)
- ⇒ $\sum_{i=1}^N b_i^2$ (sumatoria de la columna 5)
- ⇒ $\sum_{i=1}^N Z_i$ (sumatoria de la columna 9)
- ⇒ $\sum_{i=1}^N Z_i b_i$ (sumatoria de la columna 10)

Con los valores de estas sumatorias y aplicando las fórmulas (7) y (4) se pueden calcular v y k .

3.- Con las ecuaciones (1), (2) y (3) y los datos obtenidos en los pasos anteriores, se puede conocer la probabilidad de supervivencia, $\text{Ps}(t_i)$ del equipo en estudio, el período de su vida a través del valor de k (β) y la media de tiempo entre fallas (MTEF) y la desviación estándar de los TEF (σ)

Tabla 3.21A Bomba centrífuga #2

N	t _{ef}	P _f	ps	ln(t _i)	b _i	b _i ²	Ln (1/Ps)	Ln (ln(1/Ps)	Z _i	Z _i *b _i
1	672	0,25	0,750	6,510	0,154	0,024	0,288	-1,245	-0,191	-0,0294
2	960	0,5	0,500	6,870	0,146	0,021	0,693	-0,366	-0,053	-0,008

3	1104	0,75	0,250	7,010	0,143	0,020	1,386	0,327	0,046	0,007	
Σ	-	-	-	-	0,442	0,0652	-	-	-	0,198	0,035

Tabla 3.21B Bomba centrífuga #2

v	k	σ	Ln de gamma	TMEF	p(s)
1029,596	3,0124	332,981	- 0,113	919,576	0,491

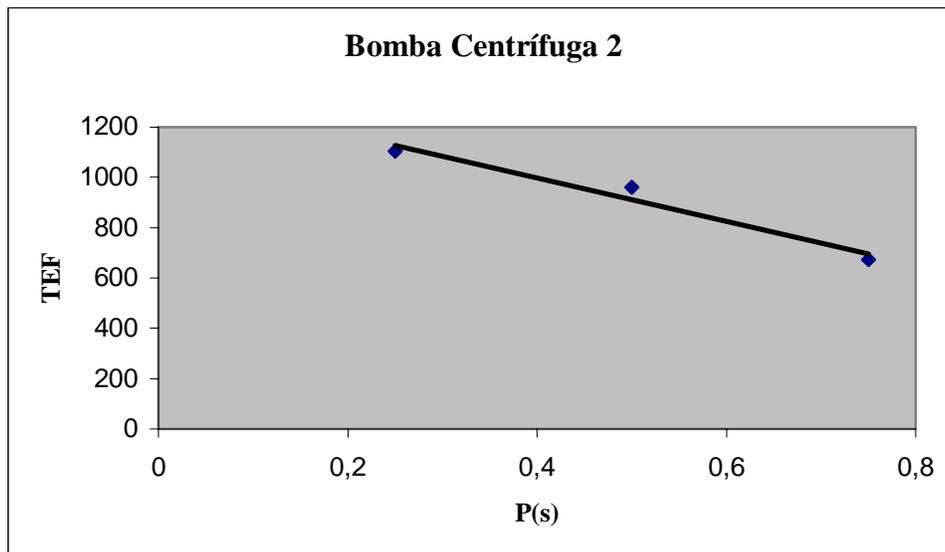


Figura 3.4. Ajuste lineal de la probabilidad de supervivencia en función del tiempo entre falla de la bomba centrífuga 2.

3.3 Registros de funcionamiento.

Además de los equipos de los cuales se tienen historiales, también se tienen registros de revisiones generales en donde se anotan las partes de los equipos que se encuentran en mal estado de funcionamiento o partes de ellas que se encuentran en mal estado (o que faltan).

Durante el período del 15 de enero y el 13 de mayo del año 2002 la **centrífuga n°3 (BV/CENT/004)** presentó los siguientes síntomas de mal funcionamiento en las veces en las que se le hizo revisión de ella (seis veces):

- Tornillería de la tapa incompleta (cuatro veces).
- Indicadores luminosos (2 veces).
- Tornillos de los platos de nivel (media lunas) (una vez)
- Torque de los tornillos del rotor.(una vez)
- Rotación en ambos sentidos del backdrive. (una vez).
- Bote de aceite en el sistema (caja reductora) (una vez).

Durante el período del 15 de enero y el 24 de abril del año 2002 la **centrífuga n°4 (BV/CENT/005)** presentó los siguientes síntomas de mal funcionamiento en las veces en las que se le hizo revisión de ella (seis veces).

- Niveles de vibración (tres veces).
- Niveles de ruido (dos veces).
- Bote de aceite (caja reductora) (una vez)
- Tornillería de la tapa (dos veces)
- Desgaste de los tubos de salida de los sólidos (bushings de salida) (una vez)
- Cable de alimentación.
- Cable para la bomba de alimentación.
- Plug de alimentación.
- Regleta de alimentación.

➤ Contactores.

Las últimas cinco mencionadas correspondieron al mismo día de revisión, día que se escogió para hacerle al equipo una completa revisión en el sistema eléctrico. A continuación se mostrará en la siguiente tabla el resumen de todos los imperfectos en el funcionamiento en un orden de mayor a menor en cuanto a la frecuencia de aparición:

Tabla 3.22. Fallas totales de las dos centrifugadoras

Tipo de falla	Frecuencia total de ellas
Tornillería de la tapa incompleta	6 veces
Niveles de vibración	3 veces
Indicadores luminosos	2 veces
Niveles de ruido	2 veces
Bote de aceite de la caja reductora	2 veces
Rotación del backdrive (en ambos sentidos)	1 vez
Desgaste de los tubos de salida de sólidos	1 vez
Torque de los tornillos del rotor	1 vez
Tornillos de los platos de nivel	1 vez
Cable de alimentación.	1 vez
Regleta de alimentación	1 vez
Plug de alimentación	1 vez
Contactores	1 vez
Cable para la bomba de alimentación	1 vez

De las bombas de cavidad progresiva también se obtuvieron registros de revisión en los cuales se indica el estado o condición en que se encuentran cada una de ellas. Comenzaremos con la que denominaremos **bomba de cavidad progresiva n°5 (BV/NP/008)**, a la cual durante el período comprendido entre 19 de marzo del 2002 y el 11 de mayo del 2002 se le realizaron dos revisiones generales y se le registraron los siguientes mal funcionamientos o partes en mal estado:

- Calentamiento de la caja reductora. (dos veces)
- Calentamiento de los rodamientos. (dos veces)

- Calentamiento de los rodamientos del motor. (dos veces)
- Altos niveles de ruido.
- Lubricación de los rodamientos.(dos veces)
- Plug de alimentación. (1 vez)
- Estado de los contactores. (Una vez) (misma fecha que la anterior).
- Regleta de alimentación. (una vez) (misma fecha que la anterior).
- Bote de aceite. (una vez).

La siguiente bomba de cavidad progresiva a la que se le tomaron registros de una manera similar es la **bomba de cavidad progresiva n°6 (BV/NP/005)**. Se le realizaron dos revisiones generales durante el período comprendido entre 9 de marzo y el 13 de mayo del año 2002 (precisamente en esas fechas) y se le registraron los siguientes mal funcionamientos:

- Bote de aceite. (una vez).
- Lubricación de los rodamientos. (Una vez).
- Estado del prensaestopa. (Una vez).

En la siguiente tabla se presenta la totalidad de las fallas, es decir, tipo y la frecuencia de ellas:

Tabla 3.23. Fallas totales de las dos bombas de cavidad progresivas.

Tipo de falla	Frecuencia total de ella
Lubricación de los rodamientos	3 veces
Bote de aceite	2 veces
Calentamiento de la caja reductora.	2 veces
Mal estado del prensaestopa	1 vez
Lubricación de los rodamientos.	1 vez
Plug de alimentación.	1 vez
Estado de los contactores	1 vez
Regleta de alimentación.	1 vez

Por último se tienen las bombas centrífugas y de las cuales también se tienen registros de tres de ellas. La primera es la **bomba centrífuga n°3 (BV-002)** la cual les realizaron chequeo los días 19/03/02 y el 11/05/02 y presentó los siguientes síntomas de mal funcionamiento o partes en mal estado:

- Goteo de aceite de los rodamientos de la bomba (2 veces).
- Falta de lubricación de los rodamientos (1 vez).
- Empaque o sello (1 vez).
- Altos niveles de ruido y vibración (1 vez).
- Problemas con la regleta de alimentación (sistema eléctrico) (1 vez).

Bomba Centrífuga n°4 (BV-003). Presentó las siguientes fallas entre el 19/03/02 y el 11/05/02:

- Calentamiento de los rodamientos de la bomba, el cual fue un problema constante a lo largo del período (3 veces).
- Calentamiento de los rodamientos del motor, el cual se produce como consecuencia de la anterior (2 veces).
- Altos niveles de ruido y vibración (1 vez).
- Fugas de producto por el sello mecánico (1 vez).
- Baja presión de descarga (1 vez).
- Goteo de aceite de los rodamientos (1 vez).
- Problemas con la regleta de alimentación (1 vez).

Bomba Centrífuga n°5 (BV-005). Presentó las siguientes fallas entre el período del 19/03/02 y el 11/05/02:

- Calentamiento de los rodamientos de la bomba, el cual fue un problema constante a lo largo del período (3 veces).
- Calentamiento de los rodamientos del motor, el cual se produce como consecuencia de lo anterior. También fue constante durante el período (3 veces)

- Niveles de ruido y vibración (2 veces)
- Fugas de producto por el sello mecánico (1 vez).
- Goteo de aceite de los rodamientos (1 vez).
- Problemas con el enchufe de alimentación (1 vez).

A continuación se presenta un resumen en donde se señala el total de todas las fallas ocurridas de las tres últimas bombas para de ésta forma ver la frecuencia de cada una de ellas:

Tabla 3.24. Fallas totales de las tres bombas centrífugas

Tipo de falla	Frecuencia
Calentamiento de los rodamientos de la bomba	6 veces.
Calentamiento de los rodamientos del motor	5 veces
Niveles de ruido y vibración	4 veces
Goteo de aceite por los rodamientos	4 veces
Fugas de producto por el sello mecánico	2 veces
Problemas con la regleta de alimentación	2 veces
Problemas con el enchufe de alimentación	1 vez
Baja presión de descarga	1 vez
Empaque o sello	1 vez
Falta de lubricación de los rodamientos	1 vez

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Resultados

A continuación se presenta en la tabla 4.1 las confiabilidades de los diez equipos estudiados:

Tabla 4.1. Resultados de los cálculos de confiabilidades

Equipos	Probabilidad de supervivencia
Bomba centrífuga 1	0,421
Bomba centrífuga 2	0,491
Bomba de cavidad progresiva 1	0,443
Bomba de cavidad progresiva 2	0,378
Bomba de cavidad progresiva 3	0,367
Bomba de cavidad progresiva 4	0,289
Decantadora de fluidos 1	0,289
Decantadora de fluidos 2	0,225
Zaranda 1	0,360
Zaranda 2	0,445

4.2 DISCUSIONES

A continuación se realiza el análisis agrupado por tipo de equipos (zarandas, bombas, centrifugadoras)

4.2.1 Bombas

Como se pudo observar los resultados de confiabilidad de los dos tipos de bombas fueron similares aunque se nota una confiabilidad levemente superior de las bombas centrífugas con respecto a las de cavidad progresiva debido a que estas últimas son de un uso mucho más frecuentes.

4.2.1.1 Bombas de cavidad progresiva.

Como las bombas peristálticas, estas bombas transportan todo tipo de medios no homogéneos, gaseosos y abrasivos, así como aquellos que no son de consistencia líquida o contengan sólidos y/o materiales fibrosos. Una de sus principales características es su capacidad de transportar medios de altas viscosidades como de hecho, lo hacen en la compañía Baroid de Venezuela.

Datos generales

.- La máxima emisión de ruido permitido en lugar de trabajo es de 70 dB, aquí no está incluido el ruido del eje y de los tubos (por seguridad y condiciones de trabajo).

.- El nivel de ruido fue medido de acuerdo al DIN STANDARD 45635-24-01-KL2 para asegurar que la bomba no exceda los 70 dB.

.- Un pre-requisito para que el nivel de emisión de ruido sea ≤ 70 dB es que la bomba sea operada en un régimen de cavidad libre y que esté anclada en una base de concreto.

El arranque de la bomba de cavidad progresiva requiere estricta atención en lo siguiente:

- Nunca arrancar la bomba seca, unas cuantas rotaciones en condiciones secas y se le dañará el rotor.
- Si la bomba fue guardada y la grasa del rotor protegida, se debe: Primero, remover la grasa antes de instalar el rotor, y segundo, limpiar con profundidad el rotor para evitar que la grasa se haga infuncional con el material del estator y el medio de bombeo.
- Antes de arrancar la bomba por primera vez, llenar la bomba con medio. Si este es de una viscosidad muy elevada, llenarla con un líquido menos viscoso (por ejemplo, agua).
- Vigilar constantemente el procedimiento para evitar que se produzca una explosión de tuberías ya que el tren de transmisión (eje, acoplamientos, juntas, rotor) de una bomba puede ser sobrecargada resultando en daños.
- Nunca se debe operar una bomba contra una válvula de entrada o salida que esté cerrada. Se deben abrir las válvulas antes de comenzar a bombear.

- Revisar la dirección de rotación encendiendo brevemente el motor de bombeo.
- Después de parar la bomba, esta se debe vaciar y enjuagar para evitar que el medio (en este caso lodo) se solidifique o endurezca, además de enlodar el sello del eje.
- Cuando se almacena por un largo período de tiempo el elastómero alrededor de la línea de contacto entre el estator y el rotor puede distorsionarse permanentemente, lo cual incrementará el torque de rotura. Por esta razón el estator debe ser removido y almacenado en un lugar seco y fresco en un paquete sellado para darle protección contra la luz y el aire.
- En cambio los rotores deben ser almacenados sostenidos con bloques de madera y cubiertos para protegerlos contra daños mecánicos. Los rotores hechos de materiales RCC (resistentes contra la corrosión) se deben proteger contra la corrosión utilizando grasa protectora.

En general estas bombas tienen que ser enjuagadas regularmente o limpiadas ya que el depósito del medio tiende a acumularse y/o sedimentarse.

Como se pudo observar en el capítulo III, la mayoría de las fallas de estas bombas fueron de parte de los empaques o empaaduras los cuales posiblemente fueron causados por:

1. Una vez cuando se dañaban se sustituían por otros que eran usados y los cuales se les consideraban que se encontraban en buen estado.
2. También se ha de tener en cuenta que estas se desgastaban con más frecuencia de lo debido por el hecho de que el fluido a bombear (lodo) era altamente erosivo y denso.
3. Se ajustaban con un torque por encima de lo necesario lo cual es una opción que escogen los operarios para asegurarse de un buen apriete ya que las vibraciones son en muchas ocasiones elevadas.

Como rutina de mantenimiento se acordó seguir las siguientes instrucciones (tabla 4.2), los cuales pueden cambiar y variar según el sitio, sobretodo si existe un cambio apreciable en las propiedades del lodo.

Tabla 4.2 Rutina de mantenimiento de las bombas de cavidad progresivas

Trabajo a realizar	Horas de operación
Chequeo del nivel de aceite de la caja reductora	100
Cambio de aceite de la caja reductora	5000
Chequeo y tensión de la correa	100
Revisión de la caja eléctrica	500
Lubricación del motor	1000
Revisión del estado del eje	500
Chequeo del rotor y estator	500
Engrase de la prensa estopa del cuerpo de la bomba	500
Trasladar el equipo a planta para servicio mayor	5000
Chequeo del variador de velocidad	100

4.2.1.2 Bombas centrífugas:

En el caso de las bombas centrífugas, éstas no llevaban un sistema de mantenimiento preventivo que con llevaban mucha vigilancia mas allá del aseo de la bomba en sí, de hecho con ellas se practicaba más el mantenimiento correctivo que el preventivo. Si se pudo observar que el recalentamiento de los rodamientos, tanto de la bomba en sí como del motor de la misma, se presentó en la mayoría de las veces. Esto quizás se deba a los siguientes factores:

- a. La necesidad de colocar la bomba en localidades elevadas y lo cual implique que la plataforma correspondiente no tenga la horizontalidad adecuada.
- b. No hubo cuidado en la colocación de la bomba.
- c. No se revisaron los rodamientos antes de comenzar a operar la bomba.

- d. Muy cerca de la centrifugadora de fluidos la cual tiene altos niveles de vibración (comparado con la bomba) y la cual puede afectar el rendimiento de esta.

Este defecto en la colocación e instalación de la bomba trajo a su vez otras consecuencias como el aumento de los niveles de ruido y vibración de la misma.

En procura de mejorar las confiabilidades de las bombas centrífugas se llegó a hacer ciertas modificaciones al plan de mantenimiento original para una mejor operación y a su vez alargar la vida útil de ellos (ver tabla 4.3), por lo que se se propuso un nuevo sistema de revisión o rutina de mantenimiento:

Tabla 4.3 Rutina de mantenimiento de las bombas centrífugas

Trabajo a realizar	Horas de operación
Chequeo de aceite en el cuerpo	500
Cambio de aceite en el cuerpo	1000
Chequeo del acople	500
Chequeo de la caja eléctrica	500
Lubricación del motor	Varía según sup. Mant.
Chequeo del impulsor	1000
Chequeo del sello mecánico	1000
Trasladar el equipo a planta para servicio mayor	4000 o al año
Engrase del prensa estopa	50

4.2.2. Centrifugadora de fluidos

En cuanto a la revisión a las partes de la centrifugadora de fluidos, todas ellas deben ser de cuidado ya que este es el equipo de control de sólidos más costoso de la compañía, no sólo por sus partes y repuestos, sino también por el hecho de que es el que maneja el trabajo de separación más difícil, el cual es la de hacer la separación que no puede ser realizada por las zarandas. Tanto el rotor (tambor) como el tornillo transportador están fabricados de distintos materiales y sufren daño a consecuencia del lodo de diferentes

maneras por lo que sus tratamientos de mantenimientos deben de ser llevadas a cabo con el fin de evitar en lo posible interrupciones imprevistas en su operación. A continuación se darán las partes a revisar y las consecuencias o razones de sus posibles fallas.

a) El tambor.

.- Éste se debe revisar al principio y al final de su funcionamiento para evitar que empiece a operar con sólidos sedimentados o en todo caso que quede lodo por sedimentar para otra ocasión. También se debe revisar la tornillería del tambor la cual puede traer consecuencias muy peligrosas si son ignoradas, ya que esta gira a altas velocidades. Se debe alinear cada vez que se le haga overhaul a la máquina, es decir, cada 8000 horas o una vez al año, lo primero que se cumpla.

.- El estado de las empaaduras debe ser óptimo. Se debe ajustar usando un torquímetro para darle el torque adecuado para evitar un desgaste prematuro.

.- **Chequeo de los tubos de salida.** Por aquí es por donde salen los sólidos removidos del lodo, están colocadas a un extremo del tambor y dada la naturaleza abrasiva de estos, deben presentar una elevada resistencia al desgaste, razón por la cual están hechos de carburo de tungsteno. Se deben revisar en caso de desgaste, incluso con más frecuencia que la especificada dependiendo del peso del lodo. A medida que el peso del lodo sea mayor, así como la velocidad de giro del tambor, mayor será el desgaste.

.- **Estado de las media lunas.** Son denominadas también placas de nivel, ya que son las que indican o le dan el nivel de lodo deseado dentro de la centrifugadora. Es importante que éstas estén bien alineadas (bien ajustados y con los tornillos con el torque apropiado). Deben ser limpiadas todas después del funcionamiento para evitar sedimentación de los sólidos que afectarían el área de salida del lodo así como también podría ser un factor importante en el desgaste de la pieza.

.- Tornillos de las media lunas. Estos deben de estar completos para darle estabilidad a la posición de ajuste de las media lunas. Es importante que estos estén apretados con el torque apropiado para que pueda soportar la presión del lodo que sale del tambor. Un tornillo flojo puede afectar la posición de la media luna lo cual afecta el volumen de lodo que sale de la centrifugadora.

.- Calentamiento de las chumaceras. Las causas de este inconveniente en la mayoría de los casos se deben a la falta de lubricante (grasa).

.- Desgaste del tornillo transportador. Este es quizás una de las piezas de mayor cuidado en el sentido de que es imperativo limpiarlo después del uso, ya que es el que tiene mayor contacto con el lodo y por lo tanto sufre mayor desgaste. El desgaste de esta pieza debe ser medido periódicamente sobretodo al principio del área cónica que es donde se desgasta más el tornillo. La consecuencia de un tornillo desgastado es un menor transporte de fluido, lo que significa una menor separación del lodo.

b) Motores.

.- El motor principal. Transmite la potencia a través de correas en V hacia la polea del rotor para manejarlo. Su calentamiento se debe en la mayoría de los casos a una posible sobrecarga o que los agujeros para ventilar estén bloqueados. Otra puede ser el que esté abierta una sola fase y entonces el voltaje terminal esté desbalanceado

.- El motor opuesto (backdrive). Controla la velocidad de la caja reductora y en consecuencia, la velocidad diferencial entre el rotor (tambor) y el tornillo sin fin. Su calentamiento posiblemente sea por el hecho de que la velocidad diferencial sea muy elevada.

.- La caja reductora. Normalmente no requiere mucho mantenimiento, para prevenir, se le lleva un control sistemático, es decir, un cambio de aceite cada 4000 horas o cada año (el que se cumpla primero). Si se debe supervisar la acumulación de sólidos en

ella cada vez que se cambie el aceite. Cuando exista una acumulación muy grande de sólidos, se debe llevar la caja a planta para mantenimiento general. Por lo general en este momento se le hace el cambio de aceite, si es que el equipo no ha sufrido de botes de aceite.

.- **Las correas.** Se deben guardar en sitios cerrados y frescos, no se deben enrollar y su tensión debe ser probada aunque sea una vez a la semana y no debe presentar una deflexión de más de 5 cm. En sitios de trabajo cercanos a lo ideal éstas deben ser cambiadas cada 16000 horas, pero tomando en cuenta las condiciones reológicas en donde trabajan las centrifugas decantadoras (cercano a El Tigre, la cual se caracteriza por una alta aridez) las correas se deben cambiar cercano de las 12000 horas.

.- **Calentamiento de las chumaceras:** Esto se debe en la mayoría de los casos a la falta de grasa para lubricar.

c) Operaciones.

.- El consumo eléctrico bajo en los terminales de algunos de los motores se deba quizás a la caída de una de las líneas. Deben revisarse en esos casos las conexiones, o utilizarse un voltaje más elevado. Cualquiera de estas causas puede traer como consecuencias que el motor no opere con la velocidad apropiada. Se puede decir que la causa es la baja frecuencia en voltajes o bajo voltaje en los terminales del motor o problemas en las conexiones ya que en la mayoría de los casos se presentó el mismo problema de consumo eléctrico en vacío y con carga.

.- Regleta de alimentación. Los contactores (junto con los breakers y relés) deben ser revisados mensualmente, para asegurar que estén bien posicionados y en buen estado ya que de otro modo se corre el peligro de que ocurra un corto circuito.

.- Se deben unir los conectores con el sistema de cableado y la tierra.

.- Las luces y las tablillas de los indicadores pertenecientes a los paneles deben ser revisados cada vez que se le realice servicio o semestral.

A continuación se mostrará en una tabla el chequeo de rutina para llevar el seguimiento de sus partes:

Tabla 4.4 Rutina de mantenimiento de las centrifugadoras decantadoras

Trabajo a realizar	Horas de operación
Chequear los rodamientos principales del rotor	8
Engrase de los rodamientos principales del rotor	24
Engrase de los rodamientos del tornillo transportador	100

Continuación de la tabla 4.3

Trabajo a realizar	Horas de operación
Engrase de los rodamientos de la polea del acople	100
Chequear el tapón magnético y goteo de aceite del reductor	100
Cambiar el aceite del reductor	750
Lubricar el motor	2000
Chequeo y tensión de las correas	750
Cambiar las correas	4000
Chequear las empaaduras de la tapa del rotor	2000
Chequear los amortiguadores de vibración	4000
Chequear las conchas de desgaste de la tapa	750
Chequear el desgaste de los tubos de salida	750
Chequeo del interruptor de vibración	2000
Chequeo del interruptor de la tapa	2000
Chequeo de los componentes del tablero	2000
Condición del tubo de alimentación	100
Chequear el estado de las medias lunas	100
Chequeo de las guardas de las correas	100
Limpieza del rotor	50
Chequear el aceite del acoplamiento	4000

Trasladar el equipo a planta para servicio (overhaul)	8000
Cambiar el aceite del acoplamiento	8000

4.2.3 Las zarandas

Se podría decir que los problemas más comunes de las zarandas, son los que están asociadas a las mallas ya que existe un gran número de problemas los cuales están vinculados a ellas entre los cuales se podrían citar los siguientes:

1. Pérdida de lodo sobre las mallas. La pérdida de lodo sobre el extremo de descarga de la zaranda puede ser el resultado de varias posibles causas.

- **Tapado de las mallas:** Es una de las causas más comunes de la pérdida de lodo sobre las zarandas debido a la acumulación de sólidos, sales y conchas entre los agujeros de las mallas. Se recomiendan que las mallas sean limpiadas diariamente usando lavado con agua a alta presión.
- **Partículas de tamaño parecido:** Cuando se taladra en arenas finas, las mallas pueden ser bloqueadas algunas veces por partículas que son del mismo tamaño de las aberturas de las mallas. En este caso se recomienda una malla con aberturas más pequeñas para que así se quede la arena atrapada en la malla y pueda dejar pasar el líquido proveniente del lodo.
- **Ángulo de la cubierta muy bajo:** La pérdida de lodo puede prevenirse simplemente elevando el ángulo de la cubierta. Se recomienda que el ángulo de la cubierta sea elevada hasta que las dos primeras mallas sean cubiertas por flúidos.
- **Una selección equivocada de malla:** Mientras las condiciones de taladro y propiedades del lodo cambien, la especificación de la malla tendrá que ser cambiadas también para poder compensar el cambio en las propiedades del lodo. Típicamente las mallas son más finas a medida que se filtra más el lodo. En algunos casos el incremento de tanto el peso del lodo como la viscosidad pueden

dictaminar el uso de unas mallas con unos agujeros más grandes para prevenir la pérdida de lodo.

2. Transporte pobre de los sólidos

Una vez que se arranca la zaranda, los sólidos deberían ser arrastrados desde la trasera del tanque hasta el extremo de descarga. El transporte pobre de los sólidos es usualmente causado por tensión inapropiada de las mallas o por una falla en el motor vibrador:

- **Tensión en las mallas:** Revisar que todas las mallas estén con la tensión apropiada y de que no existan puntos muertos debido a la falta de goma en la cubierta.
- **Falla en el motor vibrador:** Si uno de los motores vibradores falla, la unidad se mantendrá en funcionamiento, pero funcionará como una zaranda que utiliza un movimiento circular. Los sólidos no se transportarán hacia la descarga a menos que la cubierta se baje a un ángulo por debajo de la horizontal. Se debe revisar que los dos motores estén en funcionamiento encendiéndolos independientemente.
- **Fallas en la contra-rotación:** El motor vibrador está conectado de manera que los dos vibradores roten en direcciones opuestas. Si el motor o la caja de arranque han sido reconectados o reemplazados es posible que los vibradores roten en la misma dirección. Se recomienda que el electricista de la compañía revise el motor de rotación y de rotación inversa de un motor, de manera que los dos vibradores funcionen de sentido opuestos unos al otro.
- **Fallas prematuras de las mallas:** Estas son usualmente el resultado de una tensión inapropiada de las mallas, o debido al daño o falta de gomas de cubiertas. Se recomienda que se revisen las condiciones de las mallas así como las condiciones de las gomas de las cubiertas.
- **Dificultad en el ajuste de ángulo de la cubierta:** El mecanismo de elevación debe dar años de servicio sin problemas algunos por lo que se le hace

mantenimiento correctivo a la hora de la falla con revisiones en el momento que le toque overhaul.

- **Ambos motores fallan:** Como la falla de los dos motores independientes no es común, se debe revisar por la conexión de los fusibles o el breaker del circuito que le suministra potencia a la caja de arranque.
- **Si un motor falla en arrancar:** Revisar el regulador de sobrecarga en el arranque del motor. Reiniciar el regulador de sobrecarga e intentar de encenderlo. Si el problema persiste el electricista de la compañía debe sacar el motor que esté fallando para verificar la existencia de un corto en el embobinado. Debido a que no hay partes utilizables en un motor vibrador, se debe reemplazar el vibrador si el embobinado ha sufrido un corto circuito o los rodamientos han fallado.

En la siguiente tabla (4.5) se presentan los resultados la rutina de mantenimiento y revisión (en base a los resultados de confiabilidades obtenidos más las consultas de los operadores) que se le deben hacer a las zarandas:

Tabla 4.5 Rutina de mantenimiento de las zarandas

Trabajo a realizar	Horas de operación
Lubricación del mecanismo de cambio de ángulo	100
Lubricación de los rodamiento del motor	4000
Revisión de las gomas de aislamiento	24
Limpieza de la cuna o canasta	24
Chequeo de los tornillos tensores	24
Engrase de los tornillos tensores	100
Inspección de los tornillos soportes del motor	2000
Inspección de los cableados eléctricos	2000
Inspección de los tableros eléctricos	2000

4.2.4. Beneficios que se podrán obtener a través de las mejoras al plan de mantenimiento preventivo.

A través del presente plan de mantenimiento se podrá obtener un rendimiento más elevado de los equipos de control de sólidos, ya que se mantendrán los equipos bajo una mejor observación del rendimiento de los equipos y de las partes de ellas. En algunos casos tomando en cuenta la naturaleza del equipo y del trabajo que efectúa, es casi inevitable por lo impredecible de algunas fallas, realizar el mantenimiento de manera correctivo, lo que si se puede y debe hacer es vigilar su rendimiento y momento en que comienza a menguar su rendimiento. Manejando eficientemente el plan de mantenimiento preventivo sobre todo en cuanto al aseo de los equipos y llevando sistemáticamente el historial de sus partes reemplazadas, se podrá reducir significativamente el número de fallas. Esto permitirá que ellos trabajen durante una mayor cantidad de horas, lo cual se traducirá en producción para la compañía. Este factor de hecho tendrá un efecto beneficioso adicional ya que la compañía se ahorra el traslado de los equipos a la planta en donde se corrigen sus defectos y no en los taladros en los cuales operan, estando estos últimos cuando menos a treinta minutos de distancia y a veces hasta dos horas de viaje.

Esto trae como consecuencia en la mayoría de los casos no solo las horas de viaje sino que se pierde a veces un día de trabajo (para trasladar ida y vuelta) y no solamente el tiempo que se necesita para habilitar de nuevo al equipo que ha fallado.

También se debe puntualizar que las mejoras no tienen en la mayoría de los casos planteados consecuencias a nivel económico, es decir, elevación exagerada de costo, ya que muchas de las medidas son a nivel de revisión del estado o condición en que se encuentran las diferentes partes de los equipos. más si se tienen consecuencias beneficiosas en el plano de producción ya que significaría una mayor cantidad de horas de trabajo lo cual tan solo requerirá un mayor cuidado y vigilancia por parte del personal, tanto del de mantenimiento como de los operadores.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Al finalizar el presente trabajo, se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

1. En la mayoría de las bombas se pudo observar que el desgaste de los empaques provocó muchas interrupciones en el funcionamiento.
2. En las bombas se buscaron soluciones concretas por haber sufrido fallas de manera repetitivas, la cual no se cubría con el plan de mantenimiento original.
3. En cuanto a las centrifugadoras de fluidos se hizo muy difícil enfrentar los problemas de fallas en base a los resultados arrojados del cálculo de confiabilidad ya que no se presentó un patrón de fallas repetitivas.
4. La reciente instalación de la división de mantenimiento influyó de manera directa en el corto historia obtenidos de los equipos.
5. Se encontró que todos los equipos trabajaban bajo un rango de confiabilidad aceptable aunque con espacios para mejoras.
6. La mayoría de las fallas están en el rango de súbitos, no peligrosos y no predictivos ya que no se pudo contar con un historial lo suficientemente largo conque hallar un patrón de fallas, tomando en cuenta repuestos que no fuesen desechables.
7. El ahorro producido por el plan de mantenimiento es significativo si las fallas son atacadas con eficiencia, sobre todo desde el punto de vista de producción por el hecho de que estos equipos trabajan a distancia y se pierden valiosas horas de trabajo para corregir una falla que bien ha podido ser prevenida.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda una mejor comunicación en cuanto a los reportes de las fallas (a nivel de rapidez).
- Agregar ordenadamente todos los reportes de las fallas ocurridas a cada uno de los equipos de modo que se construya el historial de ellos sin que se pierda detalles.
- Establecer a nivel de gerencia un programa de recuperación de la mayor cantidad de los equipos de manera que estén habilitados o en su defecto para tenerlos en los taladros para poder así sustituir cuando otro se dañe.
- Poner al día a todos los operadores sobre los equipos que reciben cada vez que estos llegan a los taladros, cuestión que se sepa que trabajo reciente se le ha hecho.
- Mantener en lo posible la mayor cantidad de los equipos de la compañía en estado disponible cuestión de que en casos de emergencias se pueda suplir una con otra, ya que la compañía posee un número suficiente de cada uno de los equipos para esos casos, más no un alto porcentaje de ellos en buen estado, es decir, se juega al mantenimiento del mínimo de los equipos requeridos para el funcionamiento de la compañía
- Se recomienda que en las listas de revisión se le añada una columna en la cual se especifique si se revisó o no el equipo en la fecha en particular.

ANEXOS

Tabla A-1A Bomba centrífuga n°1

n	TEF	P(f)	P(s)	Ln(ti)	bi	bi2	ln(1/Ps)	ln(ln(1/Ps)	Zi	Zi*bi
1	432	0,25	0,750	6,068	0,164	0,027	0,287	-1,245	-0,191	-0,029
2	768	0,5	0,500	6,643	0,150	0,022	0,693	-0,367	-0,053	-0,008
3	1272	0,75	0,250	7,148	0,139	0,012	1,386	0,327	0,047	0,008
Σ					0,453	0,061	-	-	-0,215	-0,030

Tabla A-1B Bomba centrífuga n°1

v	k	σ	Inde gamma	TMEF	P(s)
1005,573	1,462	633,221	-0,099	910,756	0,421

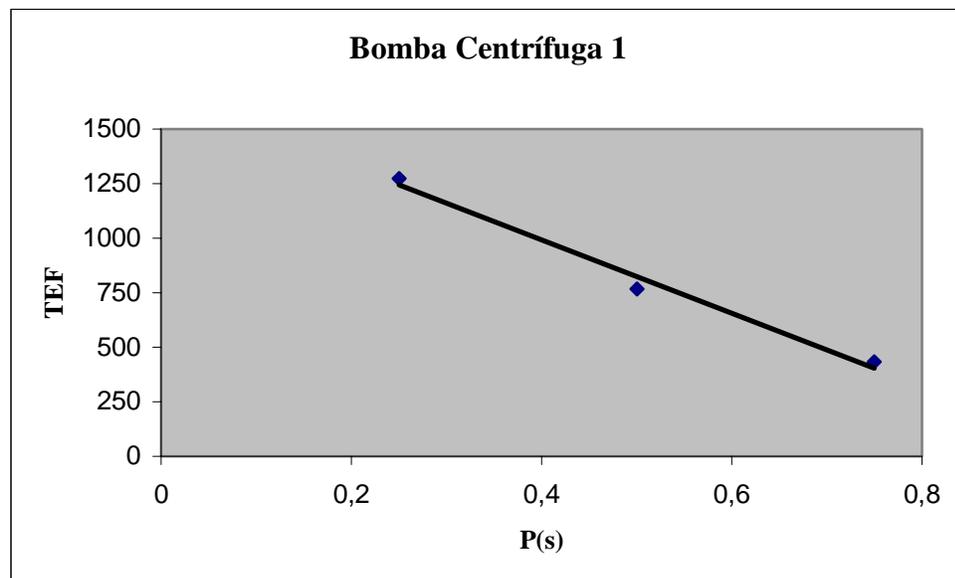


Figura A-1 Ajuste lineal de la probabilidad de supervivencia en función del tiempo entre falla de la bomba centrífuga 1

Tabla A-3A Bomba de cavidad progresiva n°1

N	TEF	P(f)	P(s)	ln(ti)	hi	Bi2	ln(1/Ps)	Ln (ln(1/Ps)	Zi	Zi*bi
1	192	0,1667	0,833	5,257	0,190	0,036	0,182	-1,702	-0,324	-0,062
2	288	0,333	0,667	5,663	0,177	0,031	0,405	-0,903	-0,159	-0,028
3	360	0,500	0,500	5,886	0,170	0,029	0,693	-0,367	-0,062	-0,011
4	504	0,667	0,333	6,223	0,161	0,026	1,099	0,094	0,015	0,002
5	720	0,833	0,167	6,579	0,152	0,023	1,792	0,583	0,09	0,013
Σ					0,849	0,145			-0,442	-0,084

Tabla A-3B Bomba de cavidad progresiva n°1

v	k	σ	ln de gamma	TMEF	P(s)
484,087	1,759	253,022	-0,116	431,012	0,443

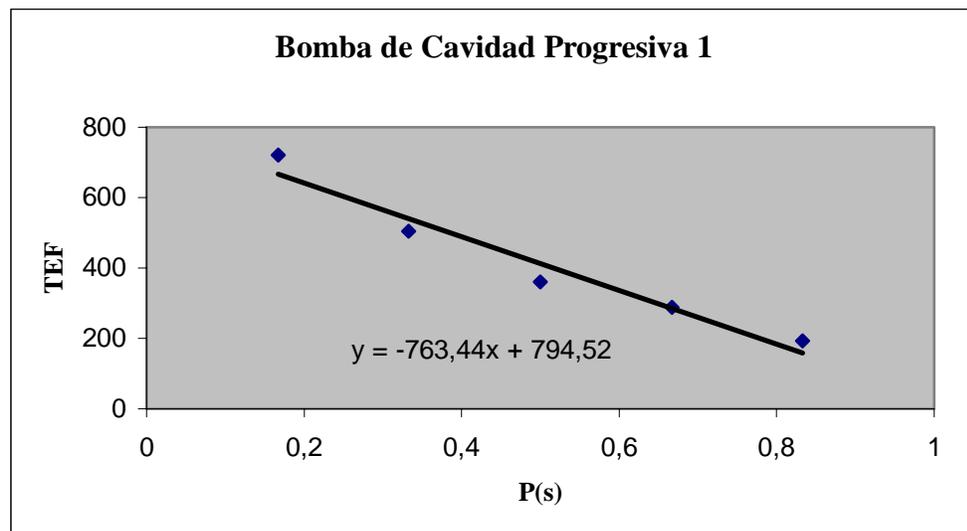
**Figura A-3** Ajuste lineal de la probabilidad de supervivencia en función del tiempo entre falla de la bomba de cavidad progresiva 1

Tabla A-4A Bomba de cavidad progresiva n°2

n	TEF	P(f)	P(s)	ln(ti)	bi	bi2	ln(1/Ps)	Ln(ln(1/Ps))	Zi	Zi*bi
1	144	0,167	0,833	4,970	0,201	0,040	0,182	-1,702	-0,342	-0,069
2	216	0,333	0,667	5,375	0,186	0,035	0,405	-0,903	-0,168	-0,031
3	432	0,500	0,500	6,068	0,165	0,027	0,693	-0,367	-0,060	-0,009
4	672	0,667	0,333	6,510	0,154	0,024	1,099	0,094	0,014	0,002
5	1152	0,833	0,167	7,049	0,142	0,020	1,791	0,583	0,083	0,012
Σ					0,848	0,146			-0,474	-0,100

Tabla A-4B Bomba de cavidad progresiva n°2

V	k	σ	ln de gamma	TMEF	P(s)
616,536	1,066	564,707	-0,025	601,434	0,378

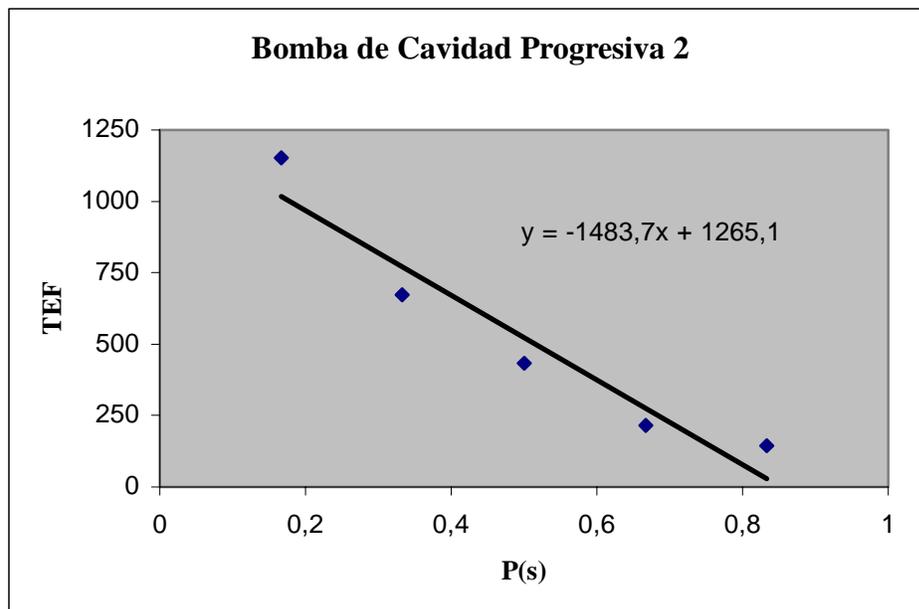
**Figura A-4** Ajuste lineal de la probabilidad de supervivencia en función del tiempo entre falla de la bomba de cavidad progresiva 2

Tabla A-5A Bomba de cavidad progresiva n°3

n	TEF	P(f)	P(s)	Ln(ti)	bi	bi2	ln(1/Ps)	Ln (ln(1/Ps)	Zi	Zi*bi
1	120	0,143	0,857	4,787	0,209	0,044	0,154	-1,871	-0,391	-0,082
2	144	0,286	0,714	4,970	0,201	0,040	0,336	-1,089	-0,219	-0,044
3	216	0,428	0,571	5,375	0,186	0,035	0,560	-0,581	-0,108	-0,020
4	672	0,571	0,429	6,510	0,154	0,024	0,847	-0,166	-0,025	-0,004
5	744	0,714	0,286	6,612	0,151	0,023	1,253	0,225	0,034	0,005
6	864	0,857	0,143	6,762	0,148	0,022	1,946	0,666	0,098	0,014
Σ					1,049	0,187			-0,611	-0,130

Tabla A-5B Bomba de cavidad progresiva n°3

v	k	σ	ln de gamma	TMEF	P(s)
548,853	0,991	555,842	0,004	550,935	0,367

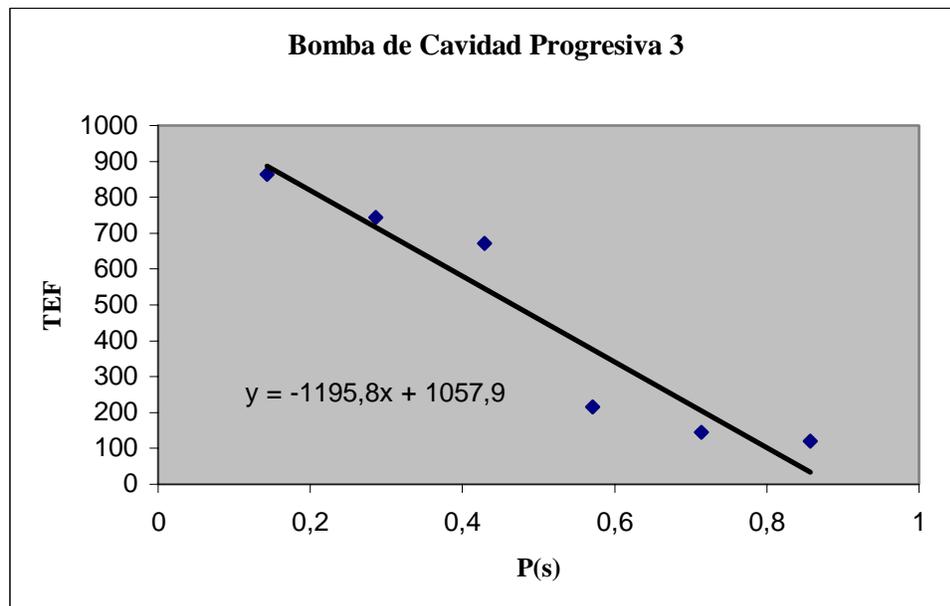
**Figura A-5** Ajuste lineal de la probabilidad de supervivencia en función del tiempo entre falla de la bomba de cavidad progresiva 3

Tabla A-6A Bomba de cavidad progresiva n°4

N	TEF	P(f)	P(s)	ln(ti)	bi	bi2	ln(1/Ps)	ln(ln(1/Ps))	Zi	Zi*bi
1	48	0,2	0,800	3,871	0,258	0,067	0,223	-1,500	-0,387	-0,100
2	360	0,4	0,600	5,886	0,170	0,029	0,511	-0,672	-0,114	-0,019
3	384	0,6	0,400	5,951	0,168	0,028	0,916	-0,087	-0,015	-0,002
4	672	0,8	0,200	6,510	0,154	0,024	1,609	0,476	0,073	0,011
Σ					0,750	0,147			-0,443	-0,111

Tabla A-6B Bomba de cavidad progresiva n°4

V	k	σ	ln de gamma	TMEF	P(s)
276,177	0,634	637,240	0,340	388,010	0,289

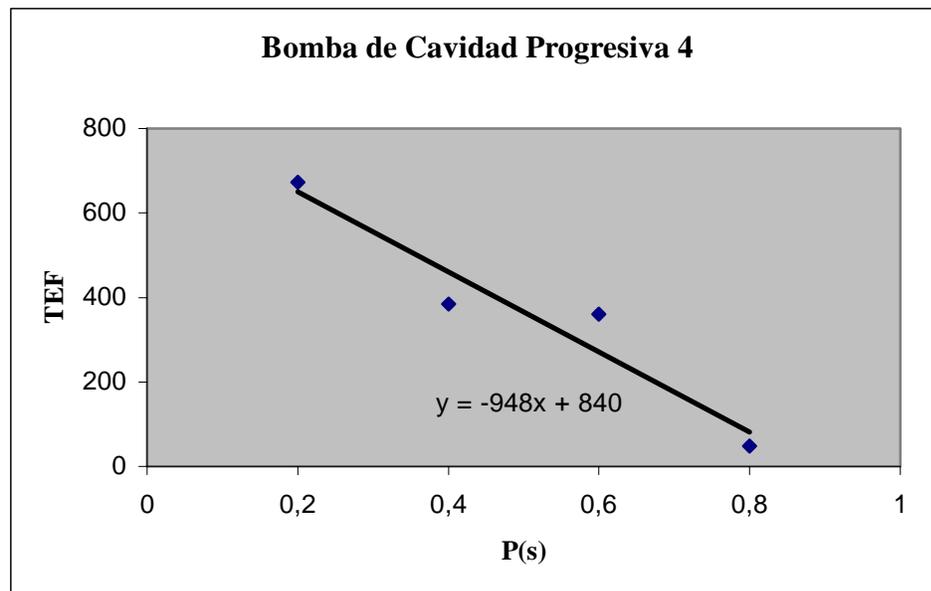
**Figura A-6** Ajuste lineal de la probabilidad de supervivencia en función del tiempo entre falla de la bomba de cavidad progresiva 4

Tabla A-7A Decantadora de fluidos n°1

n	TEF	P(f)	P(s)	Ln(ti)	bi	bi2	ln(1/Ps)	ln(ln(1/Ps))	Zi	Zi*bi
1	24	0,111	0,889	3,178	0,315	0,099	0,118	-2,139	-0,673	-0,21
2	24	0,222	0,778	3,178	0,315	0,099	0,251	-1,381	-0,435	-0,137
3	48	0,333	0,667	3,871	0,258	0,067	0,405	-0,903	-0,233	-0,060
4	48	0,444	0,556	3,871	0,258	0,067	0,588	-0,531	-0,137	-0,035
5	240	0,556	0,444	5,481	0,182	0,033	0,811	-0,210	-0,038	-0,007
6	288	0,667	0,333	5,663	0,177	0,031	1,099	0,094	0,017	0,003
7	912	0,778	0,222	6,816	0,147	0,021	1,504	0,408	0,060	0,009
8	1056	0,889	0,111	6,962	0,144	0,021	2,197	0,787	0,114	0,016
Σ					1,795	0,438			-1,327	-0,423

Tabla A-7B Decantadora de fluidos n°1

v	k	σ	ln de gamma	TMEF	P(s)
276,177	0,634	637,240	0,340	388,011	0,28919335

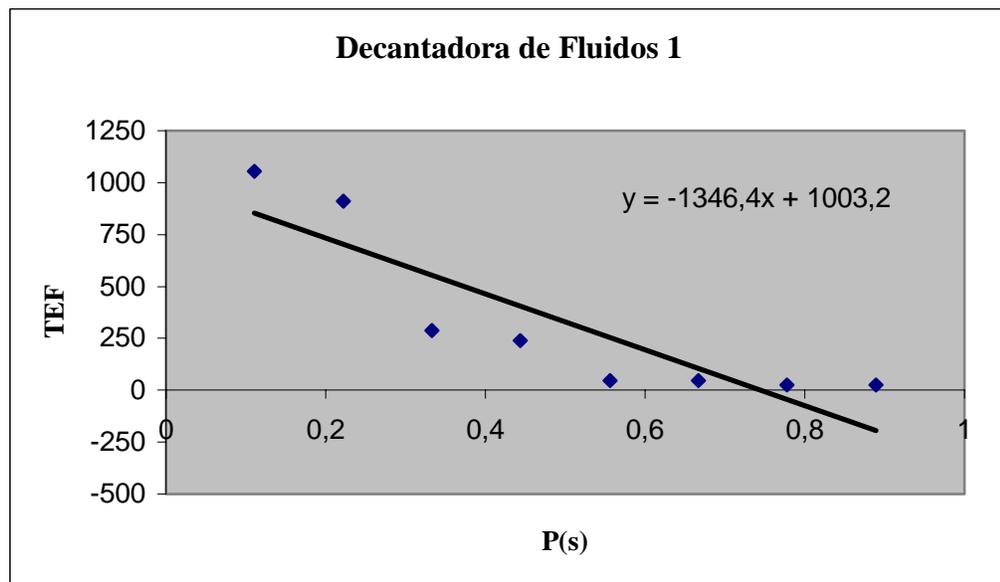
**Figura A-7** Ajuste lineal de la probabilidad de sobrevivencia en función del tiempo entre falla de la decantadora de fluidos 1

Tabla A-8A Decantadora de fluidos n°2

n	TEF	P(f)	P(s)	ln(ti)	bi	bi2	n(1/Ps)	ln(ln (1/Ps))	Zi	Zi*bi
1	24	0,125	0,875	3,178	0,315	0,099	0,134	-2,013	-0,634	-0,199
2	12	0,25	0,750	2,485	0,402	0,162	0,288	-1,246	-0,501	-0,202
3	168	0,375	0,625	5,124	0,195	0,038	0,470	-0,755	-0,147	-0,028
4	240	0,5	0,500	5,4806	0,182	0,033	0,693	-0,367	-0,067	-0,012
5	288	0,625	0,375	5,663	0,177	0,031	0,981	-0,019	-0,003	-0,001
6	504	0,75	0,250	6,222	0,161	0,026	1,386	0,326	0,052	0,008
7	624	0,875	0,125	6,436	0,155	0,024	2,079	0,732	0,114	0,017
8	1008	0,889	0,111	6,915	0,144	0,021	2,198	0,788	0,114	0,016
Σ					1,587	0,413			-1,186	-0,417

Tabla A-8B Decantadora de fluidos n°2

V	k	σ	ln de gamma	TMEF	P(s)
424,069	0,456	2614,807	0,879	1022,345	0,225

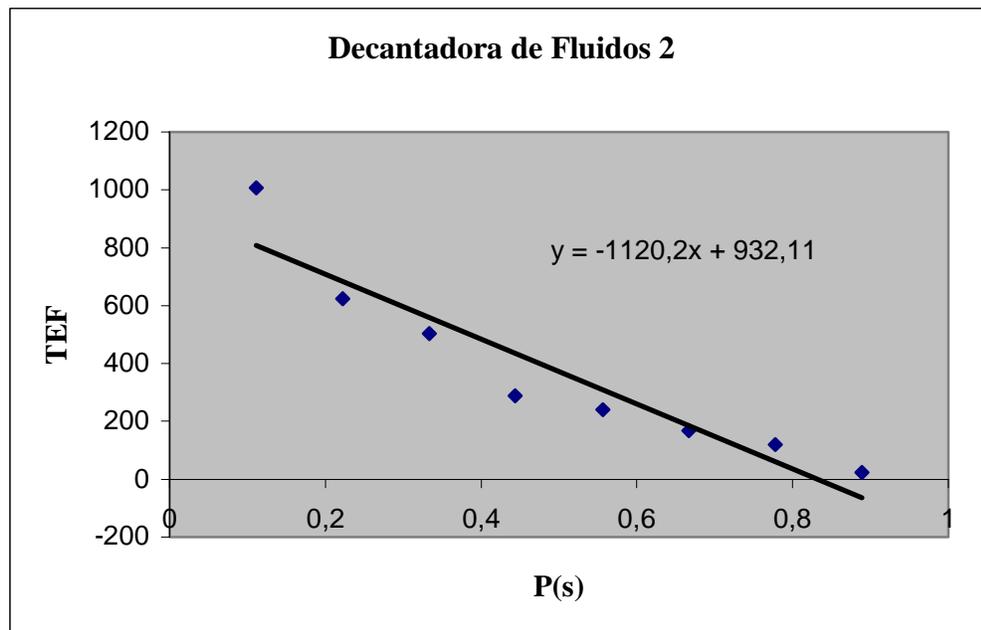


Figura A-8 Ajuste lineal de la probabilidad de sobrevivencia en función del tiempo entre falla de la decantadora de fluidos 2

Tabla A-9A Zaranda n°1

n	TEF	P(f)	Ps	ln(ti)	bi	bi2	ln(1/Ps)	ln(ln(1/Ps))	Zi	Zi*bi
1	312	0,333	0,667	5,743	0,174	0,030	0,405	-0,903	-0,157	-0,027
2	888	0,667	0,333	6,789	0,147	0,022	1,099	0,094	0,014	0,002
Σ					0,321	0,052			-0,143	-0,025

Tabla A-9B Zaranda n°1

V	k	σ	ln de gamma	TMEF	P(s)
804,549	0,953	863,035	0,022	822,154	0,360

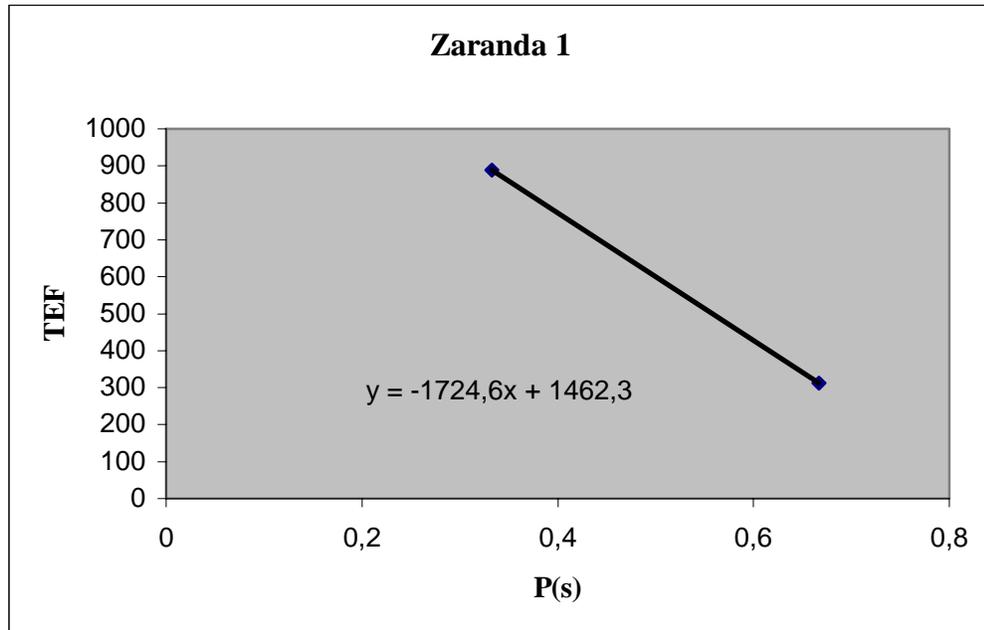


Figura A-9 Ajuste lineal de la probabilidad de supervivencia en función del tiempo entre falla de la zaranda 1

Tabla A-10A Zaranda n^o2

n	TEF	P(f)	P(s)	ln(ti)	bi	bi2	ln(1/Ps)	ln(ln(1/Ps))	Zi	Zi*bi
1	552	0,25	0,750	6,314	0,158	0,025	0,288	-1,246	-0,197	-0,031
2	1032	0,5	0,500	6,939	0,144	0,021	0,693	-0,367	-0,053	-0,008
3	1224	0,75	0,250	7,110	0,141	0,020	1,386	0,327	0,046	0,006
Σ					0,443	0,066			-0,204	-0,032

Tabla A-10B Zaranda n^o2

v	k	σ	ln de gamma	TMEF	P(s)
1124,804	1,803	574,133	-0,117	1000,195	0,445

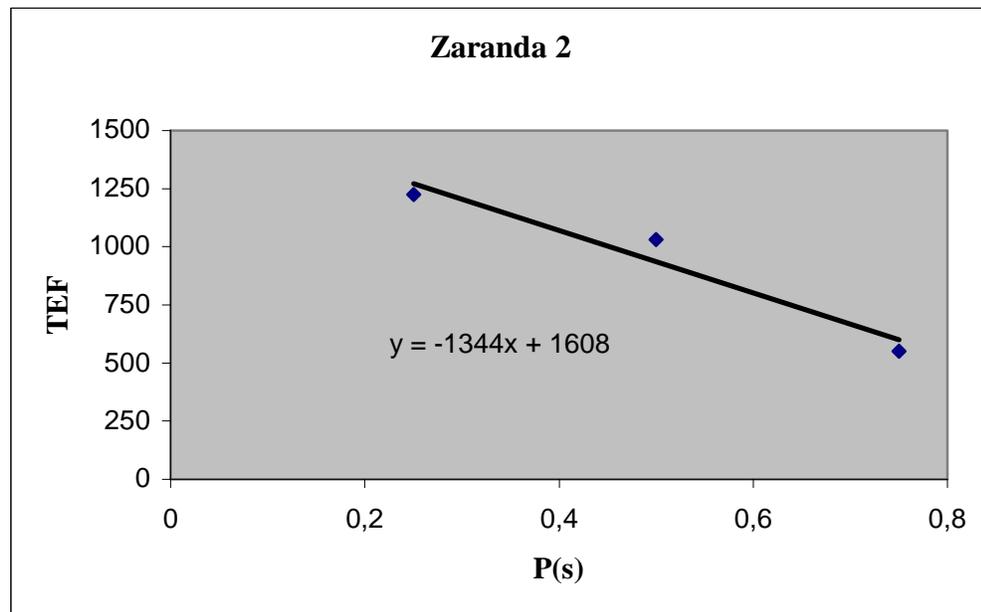


Figura A-9 Ajuste lineal de la probabilidad de supervivencia en función del tiempo entre falla de la zaranda 2

Tabla A-2A Bomba Centrífuga n°2

n	TEF	P(f)	P(s)	ln(ti)	Bi	bi ²	ln(1/Ps)	Ln(ln(1/Ps))	Zi	Zi*bi
1	672	0,25	0,750	6,510	0,154	0,024	0,288	-1,245	-0,191	-0,0294
2	960	0,5	0,500	6,870	0,146	0,021	0,693	-0,366	-0,053	-0,008
3	1104	0,75	0,250	7,010	0,143	0,020	1,386	0,327	0,046	0,007
Σ	-	-	-	-	0,442	0,0652	-	-	-0,198	-0,035

Tabla A-2B Bomba Centrífuga n°2

v	K	σ	ln de gamma	TMEF	P(s)
1029,596	3,0124	332,981	-0,113	919,576	0,491

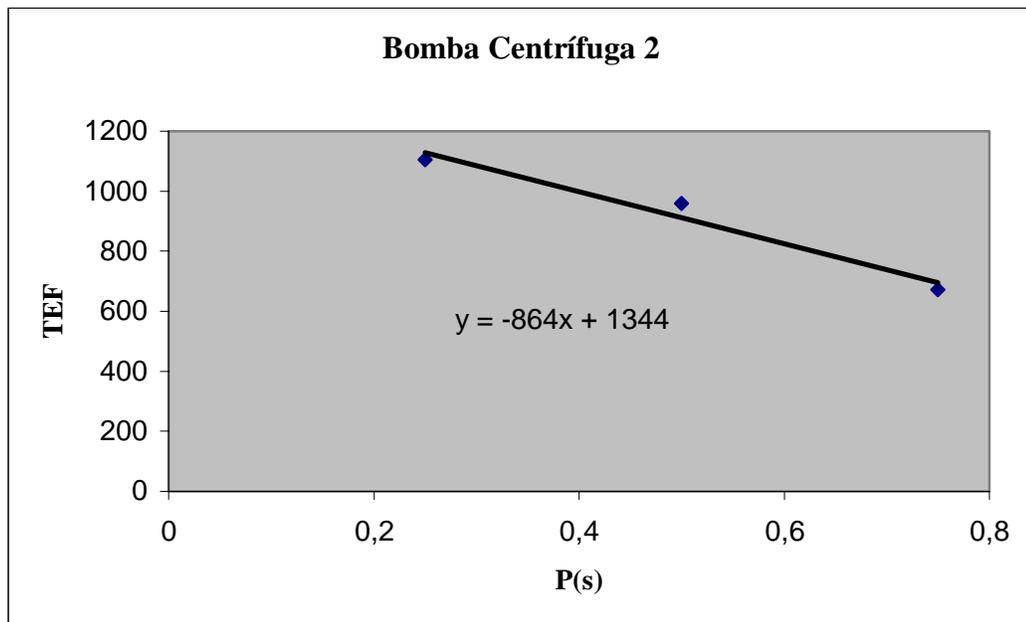


Figura A-2 Ajuste lineal de la probabilidad de supervivencia en función del tiempo entre falla de la bomba centrífuga 2