

MODELO GERENCIAL PARA LA GESTION DE LA INTERVENTORIA EN EL
MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE BOMBEO EN UN CAMPO DE
PRODUCCION

ALVARO ACEVEDO IBAÑEZ

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

2014

MODELO GERENCIAL PARA LA GESTION DE LA INTERVENTORIA EN EL
MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE BOMBEO EN UN CAMPO DE
PRODUCCION.

ALVARO ACEVEDO IBAÑEZ

Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director: JOSE ALVARO MALDONADO
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2014

DEDICATORIA

A Dios,

A mi esposa por su comprensión y amor,

A mis hijas por ser mi fuente de inspiración constante.

A mi madre por su apoyo constante

A mis amigos que me ayudaron en mi formación como

Profesional, en especial a mis colegas y amigos de la especialización.

Alvaro Acevedo

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero José Alvaro Maldonado, por su valioso tiempo y disponibilidad durante el desarrollo de esta monografía, por sus correcciones y sugerencias para aplicar el conocimiento en casos prácticos de la ingeniería.

A las directivas y los profesores de la Universidad Industrial de Santander por su formación y alto grado de compromiso hacia los estudiantes de postgrado para fomentar y ampliar el grado de conocimiento en esta rama de la ingeniería mecánica.

A todos y cada uno de los compañeros y colegas que durante este último año compartieron sus experiencias laborales, para engrandecer nuestro conocimiento y hacer de la especialización un generador de ideas para aplicar en nuestro campo laboral.

Alvaro Acevedo

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCION	17
CONTEXTUALIZACION DE LA INTERVENTORIA.....	18
1.1 LA INTERVENTORIA.....	18
1.2 NORMATIVAS APLICABLES.....	19
1.3 LA INTERVENTORIA EN EL MANTENIMIENTO.....	19
1.3.1 Alcances de la interventoría.....	23
1.3.2 Aspectos técnicos y administrativos	23
1.3.3 Aspectos de seguimiento y control	24
2. MANTENIMIENTO A BOMBAS DE PROCESO.....	25
2.1 EL CORRECTIVO COMO BASE DEL MANTENIMIENTO.....	27
2.1.1 Ventajas del mantenimiento Correctivo	27
2.1.2 Desventajas del mantenimiento Correctivo.....	28
2.1.3 La externalización del mantenimiento correctivo	28
2.1.4 Contrato para reparación de equipos.....	29
2.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	30
2.3 DESCRIPCIÓN DE FALLAS EN MANTENIMIENTO	31
2.3.1 El objetivo del análisis de fallas	31
2.3.2 Datos que pueden recopilarse al estudiar una falla	31
2.3.3 Causas de las fallas.....	32
2.4 CLASIFICACION DE LAS BOMBAS.....	32
2.4.1 Bombas Centrífugas	34
2.4.2 Bombas de desplazamiento positivo.....	41
2.5 PARTES Y COMPONENTES PRINCIPALES DE LAS BOMBAS DE PROCESO.....	48

2.5.1 El Eje.....	48
2.5.2 Rotor o Impulsor	49
2.5.3 Carcasa.....	51
2.5.4 Cámara de sellado	52
2.5.5 Rodamientos.....	53
2.5.6 Acoples	53
3. ANALISIS DE FALLAS EN BOMBAS DE PROCESO	54
3.1 CONSIDERACIONES GENERALES.....	54
3.2 EL MANUAL DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	54
3.3 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.....	62
4. MANUAL GUIA DE LA INTERVENTORIA	64
4.1 INTRODUCCION.....	64
4.1.1 Objetivos del manual guía.....	64
4.1.2 Alcance de los sistemas de bombeo.....	64
4.1.4 Referencias de normas aplicables	65
4.2 EL ALCANCE DE LA INTERVENTORIA TECNICA	66
4.2.1 Recomendaciones generales.....	66
4.2.2 Documentación empleada por la interventoría.....	66
4.2.3 Trabajos a realizar	67
4.2.4 Diagnostico general	67
4.2.5 Planes de reparación general	68
4.3 EL INTERVENTOR	70
4.3.1 El papel general del interventor	70
4.3.2 Perfil del interventor	70
4.4 EL CONTRATO.....	71
4.4.1 Cumplimiento del contrato	71
4.5 EL PLAN DE LA CALIDAD	72
4.5.1 Fases del desarrollo de un plan de la calidad	72
4.5.2 Contenido de un plan de la calidad	73
4.6 PLAN DE INSPECCION Y PRUEBAS	75

4.6.1 Reglas prácticas (ITP).....	76
4.6.2. Plan de Calidad y Plan de inspección	77
5. ESTRATEGIA METODOLOGICA.....	79
5.1 INDICADORES DE GESTIÓN.....	79
5.2 ESTRUCTURA TIPICA DE UN INFORME TÉCNICO.....	79
6. CONCLUSIONES.....	81
BIBLIOGRAFIA	82
ANEXOS.....	84

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Causas de falla en bombas de proceso.....	39
Tabla 2. Elementos de diagnostico.....	57
Tabla 3. Fallas funcionales en bombas durante la operación.....	57
Tabla 4. Modos de falla presentados en la succión	58
Tabla 5. Modos de falla presentados por la hidráulica.....	59
Tabla 6. Modos de falla presentados por alteraciones mecánicas.....	59
Tabla 7. Modos de falla presentados por sello mecánico.....	59
Tabla 8. Modos de falla presentados por cojinetes.....	60
Tabla 9. Síntomas y modos de falla en bombas centrífugas.....	60
Tabla 10. Síntomas y modos de falla en bombas desplazamiento positivo.....	61
Tabla 11. Programa de inspección en bombas	63

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Gestores del mantenimiento.....	21
Figura 2. Interventoria guía del mantenimiento de bombas.....	23
Figura 3. Categorización del mantenimiento.....	27
Figura 4. Clasificación de las bombas.....	34
Figura 5. Clasificación de las bombas dinámicas.....	35
Figura 6. Clasificación de las bombas centrífugas.....	36
Figura 7. Clasificación de las bombas centrífugas según API 610.....	38
Figura 8. Clasificación de las bombas centrífugas verticales.....	41
Figura 9. Descripción de las bombas verticales según API 610.....	42
Figura 10. Clasificación de las bombas rotativas.....	45
Figura 11. Descripción de las bombas rotativas.....	46
Figura 12. Clasificación de las bombas reciprocantes.....	49
Figura 13. Descripción de las bombas reciprocantes.....	49
Figura 14. Partes principales de una bomba centrífuga.....	50
Figura 15. Tipo de impulsores.....	52
Figura 16. Clasificación de los impulsores por la forma.....	53
Figura 17. Tipo de carcasa o voluta.....	54

Figura 18. Cámara de sello mecánico.....	54
Figura 19. Requerimientos técnicos del interventor.....	73
Figura 20. Formato modelo del plan de inspección y ensayos.....	79
Figura 21. Relación entre plan de calidad y plan de inspección.....	80

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Plan de Calidad.....	86
Anexo B. Evaluación de desempeño a contratistas.....	90
Anexo C. Inspección en la recepción de equipos.....	92
Anexo D. Acta de inicio de mantenimiento.....	93
Anexo E. Acta de terminación de mantenimiento.....	94
Anexo F. No conformidades y acciones correctivas.....	95

GLOSARIO

ACTA: Documento protocolario donde quedan registrados todos los compromisos, acuerdos o discrepancias entre las partes o sus representantes, relacionados con la ejecución del contrato.

OUTSOURCING: (Subcontratación): Se define cómo la contratación de servicios profesionales externos para satisfacer necesidades empresariales específicas.

CLIENTE O PROPIETARIA: Es el inversionista, dueño de las instalaciones, en una empresa, el administrador del contrato (quien firma el contrato).

CONTRATISTA: Es el ejecutor del contrato

INTERVENTORIA: Coordinación y control, representante legal del propietario.

INTERVENTOR: Representante de la interventoría en el sitio del mantenimiento.

CONTRATO: Objeto del mantenimiento.

IOM: Instalación, Operación y Mantenimiento

ITP: Plan de inspección y pruebas (Inspection and Test Plan)

RESUMEN

TÍTULO: MODELO GERENCIAL PARA LA GESTION DE LA INTERVENTORIA EN EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE BOMBEO EN UN CAMPO DE PRODUCCION*.

AUTOR: ALVARO ACEVEDO IBAÑEZ**

PALABRAS CLAVES: Interventoría Técnica, Interventor, Cliente, Contratista, Bomba Centrífuga, Bomba de desplazamiento positive, Mantenimiento, IOM.

DESCRIPCION: Se realizó la monografía con el propósito de diseñar un modelo gerencial para la interventoría al mantenimiento de bombas de proceso en un contrato ejecutado en un campo del sector energético, a través del diagnóstico de la situación actual de la gestión del mantenimiento al servicio de la industria petrolera, para lo cual se elaboró una estrategia organizacional, identificando los gestores del mantenimiento, sus responsabilidades y funciones frente a la ejecución del mismo.

Metodológicamente, se trató de una compilación de información requerida en las normas vigentes para el aseguramiento de la calidad y de los manuales guía de cada fabricante de bombas, para la elaboración de una propuesta de manual guía para la interventoría de bombas de proceso e identificar los documentos entregables por el contratista, relacionando cada una de las actividades críticas en el desarrollo de un mantenimiento de bombas, adicionalmente, como instrumentos se utilizó la observación directa, revisión documental tanto de libros de mantenimiento como de artículos de información técnica emitida por los fabricantes de bombas.

Entre los resultados se pretende definir los conceptos de las actividades técnicas y administrativas en una interventoría ejercida a un contrato de mantenimiento a equipos de bombeo de procesos industriales, aplicando todas las teorías de mantenimiento desarrolladas durante la especialización en gerencia de mantenimiento y validar todos los documentos y registros contractuales para coordinar la vigilancia, ejercer el control y colaboración al contratista durante el desarrollo, para que cumpla con las especificaciones técnicas, administrativas y todas las normas contractuales pactadas con el cliente.

* Monografía

**Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Especialización en Gerencia de mantenimiento, Director: Ing. José Alvaro Maldonado, Ingeniero Mecánico

SUMMARY

TITLE: DEFINITION OF A MODEL TO MANAGEMENT FOR IN PUMPING EQUIPMENT MAINTENANCE FACILITIES OPERATING IN A FIELD OF PRODUCTION*

AUTHOR: ALVARO ACEVEDO IBAÑEZ**

KEY WORDS: Technical Supervision, Supervision, Client, Contractor, Centrifugal Pumps, Positive Displacement Pumps, Maintenance Applied to hydraulic pumps, Maintenance, Installation, Operation Maintenance IOM.

SUBJECT: The purpose for monograph of designing a management model for auditing the maintenance of process pumps in a contract executed in a field of energy sector was conducted through the analysis of the current status of maintenance management in the service industry oil, for which an organizational strategy was developed, identifying maintenance managers, their responsibilities and functions against the execution.

Methodologically, it was a compilation of information required under existing standards for quality assurance and guidance manuals for each pump manufacturer, to prepare a proposal for a manual guide to the auditing of process pumps and identify deliverables by the contractor, linking each of the critical activities in the development of maintenance of pumps, additionally, as instruments direct observation was used, document review both maintenance books as items of technical information issued by manufacturers pumps.

Among the results are intended to define the concepts of technical and administrative activities in a interventoria exerted a maintenance contract to pumping equipment industrial processes, applying all the theories developed during maintenance expertise in maintenance management and validate all documents and contractual records to coordinate monitoring, exercise control and collaboration to the contractor during development to comply with the technical specifications, administrative rules and all contractual agreements with our clients.

*Monograph

**School of Mechanical Engineering. Maintenance management Specialization. Director: Eng. José Alvaro Maldonado, Mechanical Engineer

INTRODUCCION

LAS EMPRESAS del sector de hidrocarburos, actualmente implementan el modelo de outsourcing, que significa entre otros, el recurrir a una empresa externa para operar una función que anteriormente se realizaba dentro de la compañía, para las labores de mantenimiento a todos los equipos que intervienen en los procesos productivos.

De allí que, los equipos serán encomendados al contratista, quien incorporará un plan de mantenimiento con todos los recursos necesarios en la realización de las actividades de mantenimiento correctivo y/o preventivo, para garantizar la confiabilidad y la disponibilidad de los equipos, siempre bajo el concepto de la optimización de los recursos humanos, técnicos y económicos en las instalaciones del cliente.

De continuar con este plan, se debe incluir una estrategia específica de acuerdo a la criticidad del equipo, un plan de inspección y ensayos, un plan para determinar el tipo de falla y sus correctivos, programación de los repuestos originales para este mantenimiento, y procedimientos de acuerdo al tipo y fabricante del equipo.

Lo anteriormente expuesto evidencia la necesidad de establecer un manual guía para la interventoría de las labores de mantenimiento, es así como el objetivo principal de esta monografía es diseñar un modelo gerencial aplicado a la interventoría del mantenimiento a equipos de bombeo caracterizados en un campo de producción, asegurando con este trabajo los requisitos fundamentales de aseguramiento de calidad que debe presentar y aplicar el contratista para el desarrollo de actividades propias de un mantenimiento.

CONTEXTUALIZACION DE LA INTERVENTORIA

1.1 LA INTERVENTORIA

En la actualidad, con el desarrollo del sector de hidrocarburos en nuestro país, la interventoría, está presente en todos los proyectos que se consideren organizados o labores que impliquen un proceso de ingeniería para la realización de su ejercicio profesional, y que estén incluidos temas normativos, funciones, alcances, aspectos técnicos y servicios y lo más importante la responsabilidad que se generan del ejercicio.

Es así, como en las diferentes bibliografías encontramos términos que definen la interventoría como: una actividad mediadora, participativa y que está en medio y a la vez en favor de otro, como representante del cliente o propietario del negocio, ó “Etimológicamente hablando, su origen: viene del latín “INTERVENIRE” que significa: participar o tomar parte en un asunto, interponer autoridad, intervenir, mediar, interceder”¹

El objeto de la interventoría consiste en supervisar, controlar y vigilar las acciones del contratista para hacer cumplir las especificaciones técnicas, las actividades administrativas, legales y presupuestales o financieras establecidas en el contrato o convenio celebrado de una orden, servicio, consultoría, obra, trabajo, compra, suministro, que se ejerce a partir de la firma, hasta la liquidación definitiva, que se establecen en los términos y condiciones del contrato.

EL INTERVENTOR se constituye así en un facilitador del Cliente en la ejecución de proyectos o contratos que a éste último le corresponde adelantar, su papel es vital, ya que de su buena gestión depende la calidad y la buena relación que se debe mantener entre el propietario y el contratista, con buenos resultados en los servicios que ofrece el contratista y de esa manera satisfacer las necesidades del objetivo principal así como el control técnico, administrativo y financiero de acuerdo con la naturaleza del contrato buscando satisfacer el fin para el cual se ha planteado.

El interventor debe ser una persona idónea, con conocimientos, experiencia y perfil apropiado al objeto de la interventoria, para tal efecto, el interventor deberá tener en cuenta que su perfil profesional se ajuste al objeto del contrato, así como la disponibilidad y logística para desarrollar las funciones

¹ VIDAL VANEGAS, HERIBERTO. Interventoría de edificaciones: para arquitectos, ingenieros, constructores y tecnólogos. Medellín, 2002, p.21.

1.2 NORMATIVAS APLICABLES

En el artículo 32 de la ley 80 de 1993², describe los contratos estatales de la siguiente manera: “Son contratos estatales, todos los actos jurídicos generadores de obligaciones que celebren las entidades a que se refiere el estatuto, y que están previstos en el derecho privado o en disposiciones especiales, o derivados del ejercicio de la autonomía de la voluntad...”

El capítulo III, también, establece los diferentes contratos y para nuestro caso nombraremos el **Contrato de Obra**, que celebran las entidades estatales para: la construcción, MANTENIMIENTO, instalación y, en general, para la realización de cualquier otro trabajo material sobre bienes inmuebles, cualquiera que sea la modalidad de ejecución y pago.

Igualmente la Interventoría debe estar atenta al cumplimiento de las obligaciones de los contratistas frente al Sistema de Seguridad Social Integral, Parafiscales (Cajas de compensación familiar, ICBF y SENA) durante toda la vigencia del contrato, de acuerdo con lo preceptuado en el artículo 50 de la Ley 789 del 27 de diciembre de 2002 modificado parcialmente por el artículo 1 de la Ley 828 de Julio 10 de 2003, en el cual se consagra que el eventual incumplimiento constituye causal para la imposición de multas sucesivas.

1.3 LA INTERVENTORIA EN EL MANTENIMIENTO

Actualmente, el direccionamiento estratégico y operacional del mantenimiento es una función principal e indelegable y por tanto esta debe ser desarrollada de manera directa por el cliente o propietario, adicionalmente los procesos de planeación de largo plazo, la gestión de inventarios de mantenimiento y la validación de iniciativas de inversión dentro de la gestión del mantenimiento y la confiabilidad operacional, deben ser direccionados, ejecutados y asegurados por el cliente.

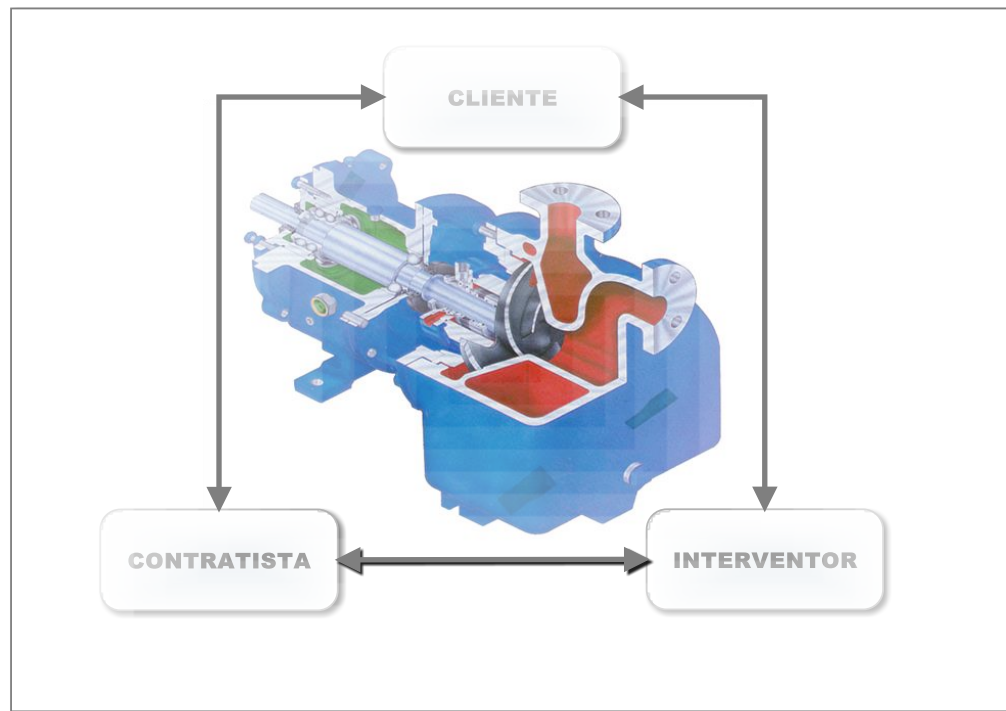
La ejecución, tanto de mantenimiento correctivo y preventivo, y para equipos críticos, esenciales y de soporte, deberá ser desarrollada a través de las opciones de contratación del mantenimiento, buscando con ello la estandarización de procedimientos de trabajo, la intercambiabilidad de equipos, partes y repuestos, la optimización de los inventarios y de los costos, haciendo uso del listado de equipos desarrollado por el cliente y sin que esto afecte la confiabilidad de los equipos. Un esquema común para la relación que se genera entre propietario y

² COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 80. (1993). Por la cual se crea contratos estatales. Bogotá, DC. , 1993. capítulo III. artículo 32. P. 28 - 29.

contratista para el desarrollo del contrato de mantenimiento es definir el modelo contractual, donde se estipula que los activos objeto de mantenimiento son del cliente, los cuales serán intervenidos por el contratista. El alcance del contratista es precisamente el de mantener los activos bajo las órdenes del cliente.

En la figura 1 se puede apreciar la relación de los gestores de mantenimiento alrededor de la función principal que es el mantenimiento de bombas de proceso.

Figura 1. Gestores del contrato de mantenimiento



Fuente: El autor

Una descripción para este tipo de contrato es que los activos y la operación corren por cuenta del cliente, la cual es autónoma en cuanto a la gestión y el seguimiento, orientando la prestación del servicio por parte del contratista.

El interventor debe consultar permanentemente el contrato motivo de su interventoría y los documentos necesarios para ejercer sus funciones, estos contratos han ido evolucionando desde un punto en donde el alcance estaba limitado al esfuerzo, es decir a la actividad, y se han orientado hacia el resultado, es decir hacia la consecución de resultados más globales y los tiempos para ejecución del contrato.

Los siguientes son los documentos que sirven de referencia al interventor para su interpretación:

1. El contrato
2. Especificaciones y alcances del mantenimiento
3. La propuesta presentada por el CONTRATISTA

Teniendo como referencia lo antes mencionado, nuestra propuesta a la interventoría del mantenimiento de bombas de proceso, quiere plantear una alternativa guía de los límites en los que la interventoría, actúa como representante del cliente.

En el diagrama de flujo propuesto en la figura 2 de la Interventoría guía del mantenimiento a bombas de proceso, se describe de una manera gráfica los principales pasos que sigue cada gestor en el desarrollo de su función principal.

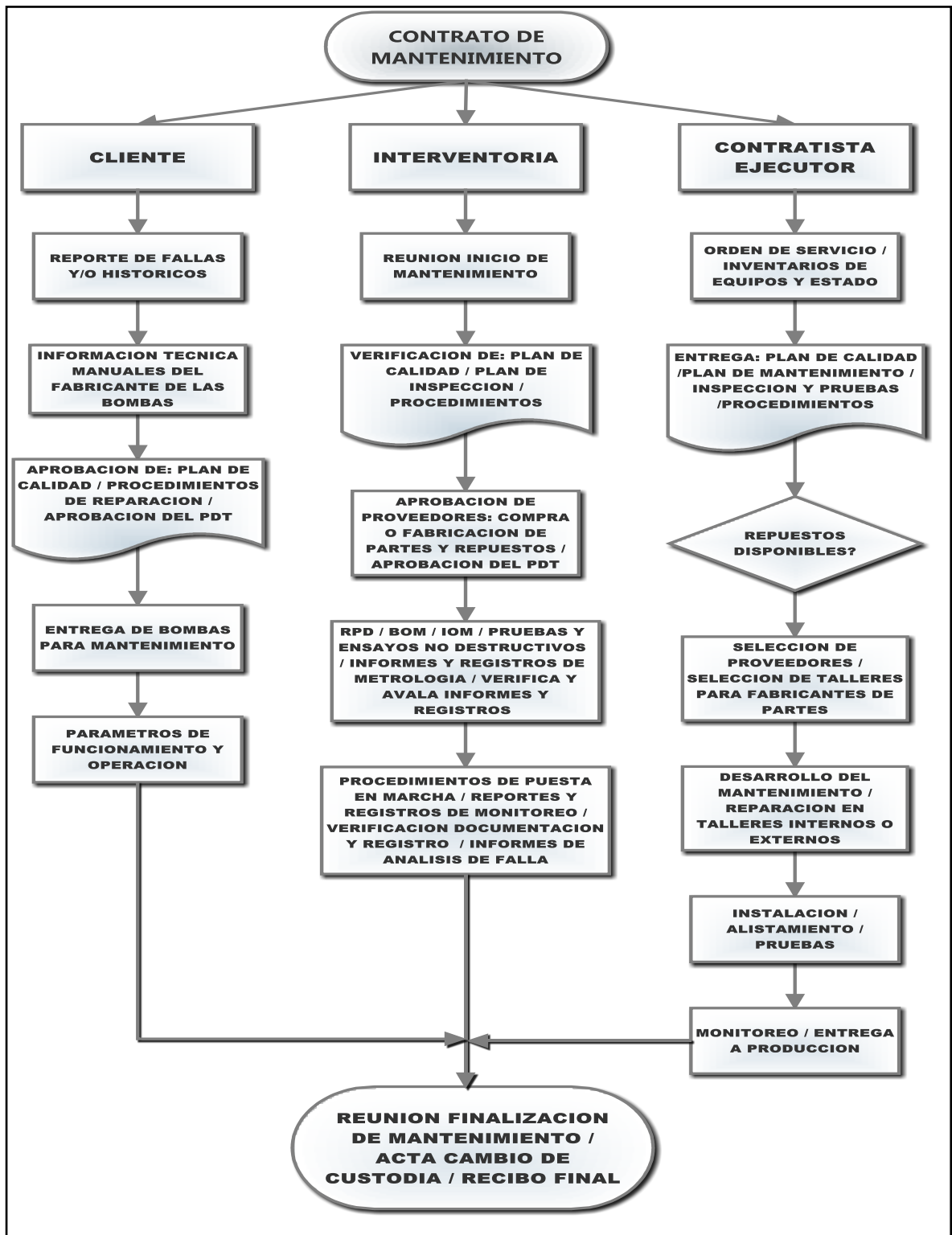
Como se describió anteriormente partimos del hecho que ya existe un contrato de mantenimiento a las bombas de proceso y la Interventoría que es nuestro actor central participa activamente de este lanzamiento verificando toda la documentación solicitada al contratista y que tiene que ver con los documentos de gestión de sus procesos, enfocados a la calidad, por su parte el cliente o propietario aprueban esta información y tiene la responsabilidad de suministrar información importante como es el histórico de fallas, inventario de equipos, repuestos y es la encargada de definir en la mayoría de los casos por la entrega de los equipos para reparación.

La interventoría como eje mediador, representante de uno para el otro y que comprende todas y cada uno de los controles y seguimientos a cada una de las actividades principales entre otras de la interventoría y que son requisito fundamental para soportar y asegurar el proceso de mantenimiento en cada una de las fases que el contratista requiera para la gestión del mantenimiento y será el enlace de comunicación y avance entre el contratista y cliente.

Como normalmente este tipo de contratos de mantenimiento no son limitados o medidos a un solo tipo de bomba, programados y no programados, se hace un diagrama para cada proceso o intervención, pero teniendo en cuenta que los documentos de referencia siempre son el mismo y que varían de acuerdo a lo definido en el contrato. En cada proceso o reparación se debe seguir este modelo de diagrama.

Es importante también, conocer el alcance de la gestión, administración y dirección de la interventoría en este tipo de aplicaciones, ya que existe poca información teórica, pero si hay suficiente información y amplia experiencia en

Figura 2. Interventoría guía en un contrato de mantenimiento.



Fuente: El autor

Trabajos similares, tales como en la interventoría de obras de construcción del sector hidrocarburos.

1.3.1 Alcances de la interventoría

Desde los siguientes tópicos se pueden medir los alcances de la interventoría: Técnico, financiero, administrativo y legal; para lo cual el interventor deberá ceñirse a:

1. Términos de referencia o pliego de condiciones: Contienen las reglas del proceso de contratación, el objeto, presupuesto, características, condiciones y especificaciones técnicas y económicas de las obras, bienes o servicios, derechos y obligaciones de las partes, plazo de ejecución, forma de pago, entre otros.
2. Propuesta: además de los documentos que acreditan la representación legal (cámara de comercio, NIT, cedula de ciudadanía) y facultades para contratar, contiene las cantidades de obra, bienes o servicios ofrecidos (cantidades, especificaciones técnicas y el valor de los mismos, la forma de pago, cronograma de actividades).
3. Contrato, adiciones, modificaciones: La ejecución del contrato se rige por lo estipulado en estos documentos.
4. Garantía Única: Respalda el cumplimiento de todas las obligaciones a cargo del contratista, los amparos cubiertos dependen de lo que se determine en el contrato aplicable a contratos del estado.
5. Actos administrativos que se produzcan en desarrollo del contrato. Mediante los cuales se imponen multas, modificación o interpelación unilateral.

1.3.2 Aspectos técnicos y administrativos

Supervisar y verificar la ejecución física del contrato y los criterios de administración, de acuerdo con el objeto del mismo, los términos de referencia, y la propuesta y que hacen parte de las funciones de los interventores:

1. Asesorar a quienes realizan presupuestos y elaboración de términos de referencia o pliegos de condiciones para que las condiciones reales de construcción y los materiales, tiempos y demás requerimientos de la obra estén acordes con los que se consignan en los contratos.
2. Realizar visita previa al sitio de la obra o de ejecución del contrato, en compañía de quienes realizaron los presupuestos y los diseños con el fin de conocer las características del sitio, su ubicación, vecindades y accesos,

áreas de trabajo y de almacenamiento y todas las demás condiciones de la obra, los servicios domiciliarios y aspectos de ocupación.

3. Conocer plenamente el objeto del contrato, el taller ó área donde habrá de ejecutarse el mantenimiento, los manuales técnicos y listados de partes y repuestos de equipos que emiten los fabricantes, con el fin de asegurar la total coordinación entre ellos, para su debida aplicación en la ejecución del objeto del contrato.
4. Establecer que las cantidades de equipos del contrato y las especificaciones particulares del proyecto estén debida y completamente definidas.
5. Vigilar el cumplimiento de las condiciones fijadas en los términos de referencia, planos y especificaciones generales para la debida ejecución del contrato, teniendo en cuenta que en caso de discrepancias prevalecerán los términos de referencia o pliegos de condiciones.

1.3.3 Aspectos de seguimiento y control

El protocolo de cambio de custodia es el primer control que se establece en un acta de Inicio y es el documento que marca el inicio del desarrollo físico del contrato y por tanto, el punto de partida para el control del plazo y seguimiento por parte el interventor.

El objetivo del Control es establecer con rapidez y facilidad eventuales inconvenientes que se puedan presentar durante la ejecución del contrato, para aplicar las medidas correctivas que sean necesarias, tendientes a que se cumplan los principios de Economía, Eficiencia y eficacia. que establece el propietario.

Los controles del interventor pueden ejercerse sobre:

1. El presupuesto
2. Los costos
3. La programación
4. Los materiales
5. La mano de obra
6. Herramientas y equipo
7. Los aspectos financieros
8. Los aspectos legales
9. La calidad
10. La cantidad

2. MANTENIMIENTO A BOMBAS DE PROCESO

El mantenimiento está reaccionando ante nuevas expectativas, incluye mayor importancia a los aspectos de seguridad y del medio ambiente, conocimiento creciente en la conexión entre mantenimiento y calidad del producto y un aumento de la presión ejercida para conseguir alta disponibilidad de maquinaria al mismo tiempo que optimizar el recurso.

Frente a esta avalancha de cambios el personal que dirige el mantenimiento busca nuevos caminos, quiere evitar equivocarse cuando se toma alguna acción de mejora, encontrar un marco de trabajo estratégico que sintetice las nuevas técnicas en un modelo coherente que pueda ser evaluador y aplicar aquellos que sean de mayor valía en las estrategias de la compañía.

La referencia principal para el mantenimiento correctivo a las bombas de proceso, son los manuales guía de cada uno de los fabricantes de bombas en el mundo, quienes han seguido las recomendaciones documentadas en el Instituto Hidráulico, y todas las normas API de acuerdo al tipo de aplicación de las bombas.

El modelo de gestión de la presente monografía provee, justamente en el esquema de trabajo, que todo equipo de bombeo por su importancia en el proceso dentro del campo de producción debe tener mínimo otro equipo de respaldo (Back-up) con las mismas característica y capacidad incorporada.

El marco teórico expone los conceptos a manejar por la interventoría y en donde el interventor debe tener gran experiencia para manejar esta situación en que los planes y procedimientos persiguen métodos que unifican criterios dentro de la organización, criterios basados en la lógica operacional, en el conocimiento de los equipos y de su funcionalidad.

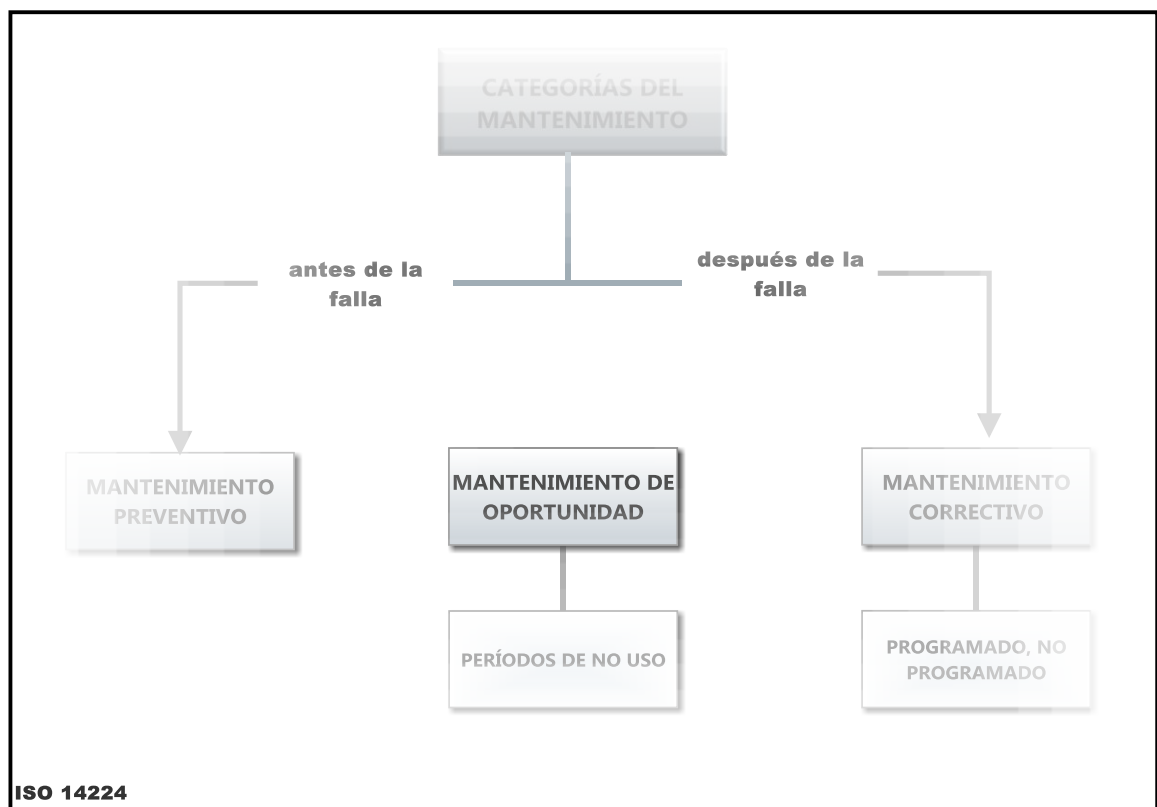
Son los mismos parámetros que se aplican a diario dentro del mantenimiento, pero sistematizados para obtener mayor uniformidad en el proceso, siendo así, la monografía puede ser un buen punto de partida para que posteriormente sea afinada y retocada con aportes de mayor nivel.

El Mantenimiento referenciado en los manuales guías y documentos entregados por cada uno de los fabricantes de bombas en el mundo, muestran que se han seguido las recomendaciones documentadas por el Instituto Hidráulico, y todas las normas API de acuerdo al tipo de aplicación de las bombas.

De acuerdo a la Norma estándar ISO 14224:2006³ se definen básicamente dos clases de categorías en el mantenimiento:

- El mantenimiento correctivo, como aquel que se realiza para corregir un equipo después de que haya fallado,
- El mantenimiento Preventivo, aquel que se hace para evitar que un elemento falle. A parte de esto sólo puede ser chequeados (inspecciones, pruebas) para verificar el estado de los equipos para decidir si se requiere algún tipo de mantenimiento preventivo o no.

Figura 3. Categorización del mantenimiento



Fuente; ISO 14224

³ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum and natural gas industries-Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224:2006. 2ed. Genève, Suiza: ISO, 2006. p 44

2.1 EL CORRECTIVO COMO BASE DEL MANTENIMIENTO

En el mantenimiento CORRECTIVO, existen dos formas diferenciadas, el programado y no programado. La diferencia entre ambos radica en que mientras el no programado supone la reparación de la falla inmediatamente después de presentarse, el mantenimiento correctivo programado o planificado supone la corrección de la falla cuando se cuenta con el personal, las herramientas, la información y los materiales necesarios y además el momento de realizar la reparación se adapta a las necesidades de producción.

La distinción entre correctivo programado y correctivo no programado afecta en primer lugar a la producción, no tiene la misma afección el plan de producción si la parada es inmediata y sorpresiva que si tiene cierto tiempo para reaccionar.

El mantenimiento de OPORTUNIDAD es el que se realiza aprovechando, las paradas o periodos de no uso de los equipos para realizar las operaciones de mantenimiento, realizando las revisiones o reparaciones necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los equipos en el nuevo periodo de utilización, evitando de este modo parar los equipos o las instalaciones cuando están en uso.

Muchas empresas optan por el mantenimiento correctivo, es decir, la reparación de las fallas cuando surgen, como base de su mantenimiento: más del 90% del tiempo y de los recursos empleados en mantenimiento se destinan a la reparación de fallas.

2.1.1 Ventajas del mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo como base del mantenimiento tiene algunas ventajas indudables:

- En realidad este tipo de mantenimiento corrige las fallas cuando se presentan,
- Se dan sobre una base no planificada y dando cumplimiento a una solicitud de reparación.
- Si el equipo está preparado la intervención en el fallo es rápida y la reposición en la mayoría de los casos será con el mínimo tiempo,
- No es necesario una infraestructura excesiva, un grupo de operarios competentes será suficiente,
- El costo de mano de obra será mínimo, será más prioritaria la experiencia y pericia del operario,
- Es rentable en equipos que no intervienen de manera instantánea,

Esas son las razones que en muchas empresas inclinan la balanza hacia el correctivo.

2.1.2 Desventajas del mantenimiento Correctivo

- La producción se vuelve impredecible y poco fiable, Las paradas y fallos pueden producirse en cualquier momento.
- Supone asumir riesgos económicos que en ocasiones pueden ser importantes,
- Se puede producir una baja calidad en las reparaciones debido a la rapidez en la intervención,
- Impide el diagnostico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si falló por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo, por desgaste natural, por ello, la falla puede repetirse una y otra vez.
- Hay tareas que siempre son rentables en cualquier tipo de equipo, difícilmente pueden justificarse su no realización en base a criterios económicos: los engrases, las limpiezas, las inspecciones visuales y los ajustes.
- Los seguros de maquinaria o de grandes fallas suelen excluir derivados de la no realización del mantenimiento programado indicado por el fabricante del equipo.
- Las fallas y los comportamientos anormales no sólo ponen en riesgo la producción: también pueden suponer accidentes con riesgos para las personas o para el medio ambiente.
- Basar el mantenimiento en la corrección de fallos supone contar con técnicos muy cualificados, con un stock de repuestos importante, con medios técnicos muy variados.

En la mayor parte de las empresas difícilmente las ventajas del correctivo puro superaran a sus inconvenientes. La mayor parte de las empresas que basan su mantenimiento en las tareas de tipo correctivo no han analizado en profundidad si esta es la manera más rentable y segura de abordar el mantenimiento, y actúan así por otras razones.

2.1.3 La externalización del mantenimiento correctivo

Las empresas deciden externalizar la reparación de los equipos en los siguientes cinco casos:

- Cuando está incluido en el contrato: cuando el servicio está incluido dentro de un contrato de gran alcance, como un contrato integral o un contrato de operación y mantenimiento, por ejemplo.
- Cuando no existe un departamento de mantenimiento: cuando no se dispone de ningún tipo de estructura de mantenimiento. En estos casos, cualquier problema que no sea sencilla ha de ser contratado a una empresa de mantenimiento.
- Cuando se supone una carga inadmisibles de trabajo adicional: cuando disponiendo de una estructura de mantenimiento está infra dimensionada, está desbordada de trabajo o cuando supone un aumento puntual de la carga de trabajo insostenible.
- Cuando no se tienen los medios o los conocimientos necesarios: cuando no se dispone de conocimientos o medios técnicos suficientes para abordar o por haber recibido la información y entrenamiento necesario.
- Cuando el equipo está en garantía: en el caso de equipos en garantía se prefiere contar con el servicio técnico de suministrados para evitar conflictos de responsabilidad.

2.1.4 Contrato para reparación de equipos

Los contratos que se pueden establecer para la reparación de equipos pueden ser los siguientes:

- Contratación de una reparación puntual sin presupuesto previo. Se trata en general de fallas graves y urgentes, de un costo menor que las pérdidas de producción que provoca. Por esa razón se encarga el trabajo a una empresa con capacidad para dar la asistencia técnica sin conocer siquiera el importe de la reparación: el factor más importante es pues el tiempo de intervención.
- Contratación de una reparación puntual con presupuesto previo. O bien no se trata de intervenciones tan urgentes como las anteriores o bien se prevé un importe elevado que es necesario conocer con antelación. La preparación del presupuesto y su posterior aceptación supone retrasar mucho la intervención, ya que será necesario que el contratista compruebe el trabajo, haga su valoración, redacte una oferta, la envíe al cliente, que éste la estudie y la acepte y le comunique la aceptación al contratista. El factor más importante en este tipo de contratación es el precio, por encima del tiempo de inicio de los trabajos o de intervención.
- Contratación de asistencias técnicas puntuales pero a precio pactado bien por servicio (también llamado 'por precios unitarios') o bien por hora de intervención y materiales empleados. Las frases de presupuesto y aceptación de éste se realizan una sola vez para muchas intervenciones,

de manera que cuando se necesita un servicio se solicita sin más, conociendo el cliente más o menos qué costo supondrá. El factor importante vuelve a ser el precio, pero el cliente trata de evitar los tiempos muertos derivados del proceso de oferta y aceptación, negociando de una vez todos los servicios que pueda necesitar en un periodo determinado.

- Contratación de un número de servicios de reparación anual. Es decir, por un precio pactado se incluyen por intervenciones anuales de un determinado tipo, o por horas de intervención.
- Contratación del mantenimiento correctivo dentro de un contrato de mayor alcance, como un contrato integral o un contrato de operación y mantenimiento.

2.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento PREVENTIVO a corto plazo incluye las actividades periódicas y rutinarias definidas por el fabricante para preservar dentro del desempeño esperado, la función de los equipos o sistemas.

El tradicional mantenimiento preventivo se basa en el concepto de prevenir la falla antes de que ocurra. Son series de actividades realizadas para prevenir y detectar condiciones que lleven a interrupciones en la producción, averías y deterioro acelerado del equipo.

Las actividades realizadas en los mantenimientos preventivos incluyen las siguientes actividades, pero que para este trabajo no se incluirá:

- Inspección periódica del equipo de la planta, para descubrir las condiciones que conducen a paros imprevistos de producción, o depreciación perjudicial.
- Conservar la planta para anular dichos aspectos, adaptarlos o repararlos, cuando se encuentren aun en etapa incipiente.

Los programas de mantenimiento preventivo tienen entre otros los siguientes objetivos:

- Minimizar las fallas imprevistas del equipo,
- Prolongar la vida útil del equipo,
- Incrementar la eficiencia, calidad y seguridad de la operación del equipo,
- Minimizar gastos de reparaciones de emergencia,
- Minimizar riesgos para el personal, el equipo y el ambiente.

2.3 DESCRIPCIÓN DE FALLAS EN MANTENIMIENTO

2.3.1 El objetivo del análisis de fallas

El análisis de fallas tiene como objetivo determinar las causas que las han provocado (sobre todo las repetitivas y aquellas con un alto costo) para adoptar medidas preventivas que las eviten, de ese modo, es importante destacar esa doble función del análisis de fallas:

- Determinar las causas de una falla,
- Proponer medidas que las eviten, una vez determinadas estas causas.

La mejora de los resultados de mantenimiento pasa, necesariamente, por estudiar los incidentes que ocurren en la planta y aportar soluciones para que no ocurran.

2.3.2 Datos que pueden recopilarse al estudiar una falla

Cuando se estudia una falla es importante recopilar todos los datos posibles disponibles, entre ellos, siempre deben recopilarse los siguientes:

- Relato pormenorizado en el que se cuente qué se hizo antes, durante y después de la falla. Es importante detallar la hora en que se produjo, el turno que estaba presente (incluso los operarios que manejaban el equipo) y las actuaciones que se llevaron a cabo en todo momento).
- Detalle de todas las condiciones ambientales y externas a la máquina: temperatura exterior, humedad (si se dispone de ella), condiciones de limpieza del equipo, temperatura del agua de refrigeración, humedad del aire comprimido, estabilidad de la energía eléctrica (si hubo cortes, micro cortes, o cualquier incidencia detectable en el suministro de energía), temperatura del vapor (si el equipo necesita de este fluido), y en general, las condiciones de cualquier suministro externo que el equipo necesite para funcionar.
- Últimos mantenimientos preventivos realizados en el equipo, detallando cualquier anomalía encontrada.
- Otros fallos que ha tenido el equipo en un recorrido determinado. En equipos de alta fiabilidad, con un MTBF alto, será necesario remontarse a varios años atrás. En equipos con un MTBF bajo, que presentan bastantes incidentes, bastará con detallar los fallos ocurridos el último año. Por supuesto, será importante destacar aquellos fallos iguales al que se estudia, a fin de poder analizar la frecuencia con la que ocurre.
- Condiciones internas en que trabaja el equipo. Será importante destacar datos como la temperatura y presión a que trabajaba el equipo, caudal que

suministraba, y en general, el valor de cualquier variable que podamos medir. Es importante centrarse en la zona que ha fallado, tratando de determinar las condiciones en ese punto, pero también en todo el equipo, pues algunos fallos tienen su origen en puntos alejados de la pieza que ha fallado. En ocasiones, cuando el fallo es grave y repetitivo, será necesario montar una serie de sensores y registradores que nos indiquen determinadas variables en todo momento, ya que en muchos casos los instrumentos de medida que se encuentran instalados en el equipo no son representativos de lo que está ocurriendo en un punto determinado. El registro de valores a veces se convierte en una herramienta muy útil, pues determinadas condiciones que provocan un fallo no se dan en todo momento sino en periodos muy cortos (fracciones de segundo por ejemplo). Es el caso de los golpes de ariete: provocan aumentos de presión durante periodos muy cortos que llegan incluso a superar en 1000 veces la presión habitual.

Una vez recopilados todos los datos descritos, se puede estar en disposición de determinar la causa que produjo el fallo.

2.3.3 Causas de las fallas

Las causas habituales de las fallas son generalmente una o varias, en ocasiones, confluyen en una de las siguientes o si está fuera de estas, complica en cierto modo el estudio de la falla, pues a veces es difícil determinar cuál fue la causa principal y cuales tuvieron una influencia menor en el desarrollo de la avería, las principales causas de falla son:

- Falla por el material
- Por un error humano del personal de operación
- Por un error humano del personal de mantenimiento
- Condiciones externas anómalas

2.4 CLASIFICACION DE LAS BOMBAS

De acuerdo a las directrices generales definidas en la norma ANSI (AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE) y HI (HYDRAULIC INSTITUTE),⁴ sección

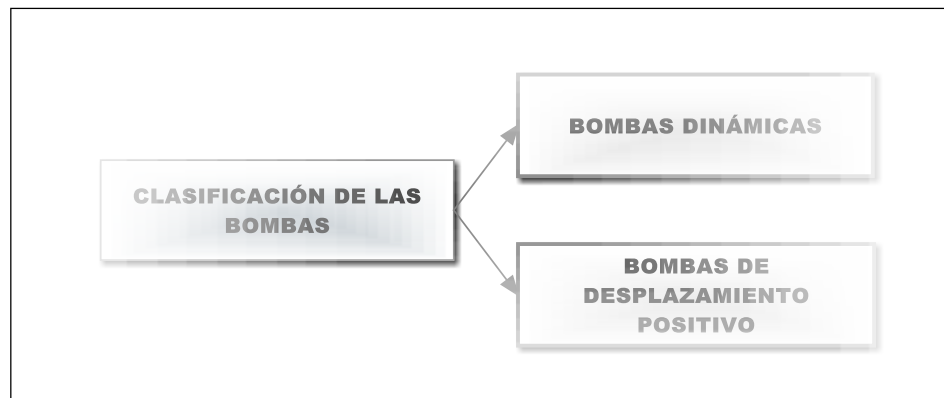
⁴ AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE. HYDRAULIC INSTITUTE. ANSI / HI 9.1 a 9.5:2000. www.pumps.org.

ANSI / HI 9.1 a 9.5, aplicada para clasificar todas las bombas industriales, incluye entre otras: las definiciones, el diseño, las aplicaciones y los tipos de bomba.

Al clasificar las bombas se tienen que tener en cuenta dos consideraciones fundamentales: El método para mover los líquidos y el tipo de servicio de la bomba. Por el movimiento de los fluidos las bombas pueden ser agrupadas en dos categorías: Bombas de Desplazamiento positivo y Bombas Dinámicas. Las bombas dinámicas tienen un eje rotativo y las de desplazamiento positivo ejes con movimiento rotativo o movimiento recíprocante.

Existen muchas variaciones de diseño con cada tipo y categoría.

Figura 4. Clasificación de las bombas



Fuente: Instituto Hidráulico ANSI/HI:2000

Las Bombas dinámicas se caracterizan por que agregan energía cinética al líquido mediante ruedas giratorias o impulsores a alta velocidad y pertenecen a las siguientes categorías, definidas en la norma ANSI/HI5.

Las bombas dinámicas pueden clasificarse por la configuración del impulsor o de la carcasa, la aplicación final de la bomba se define por la velocidad específica y la configuración mecánica.

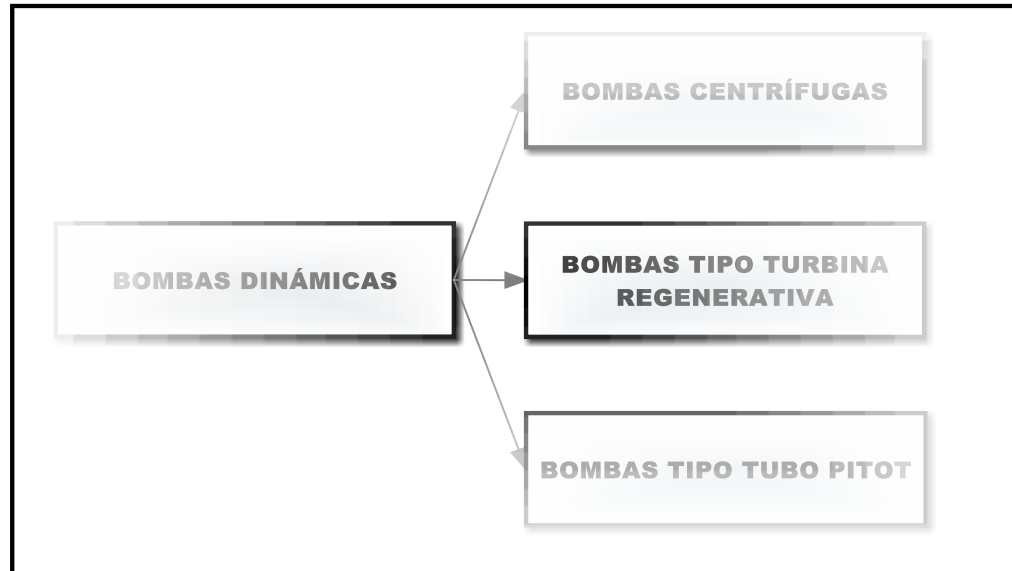
Esta norma cubre bombas rotodinámicas con flujo centrífugo (radial), mezclado, y los impulsores de flujo axial, así como de la turbina regeneradora y bombas de tipo tubo de Pitot, de todos los tipos industriales y comerciales, excepto bombas de

⁵ HYDRAULIC INSTITUTE. ANSI/HI 2000 Edition pump standard, Centrifugal pumps for Nomenclature and Definitions: ANSI/HI 1.1-1.2

turbina difusor suspendido verticalmente. Para nuestro estudio definiremos los tres tipos de bombas clasificadas dentro de las dinámicas:

1. Bombas Centrífugas tipo turbina, tanto horizontales y verticales,
2. Bomba tipo Turbina Regenerativa,
3. Bombas tipo tubo de Pitot.

Figura 5. Clasificación de las bombas Dinámicas



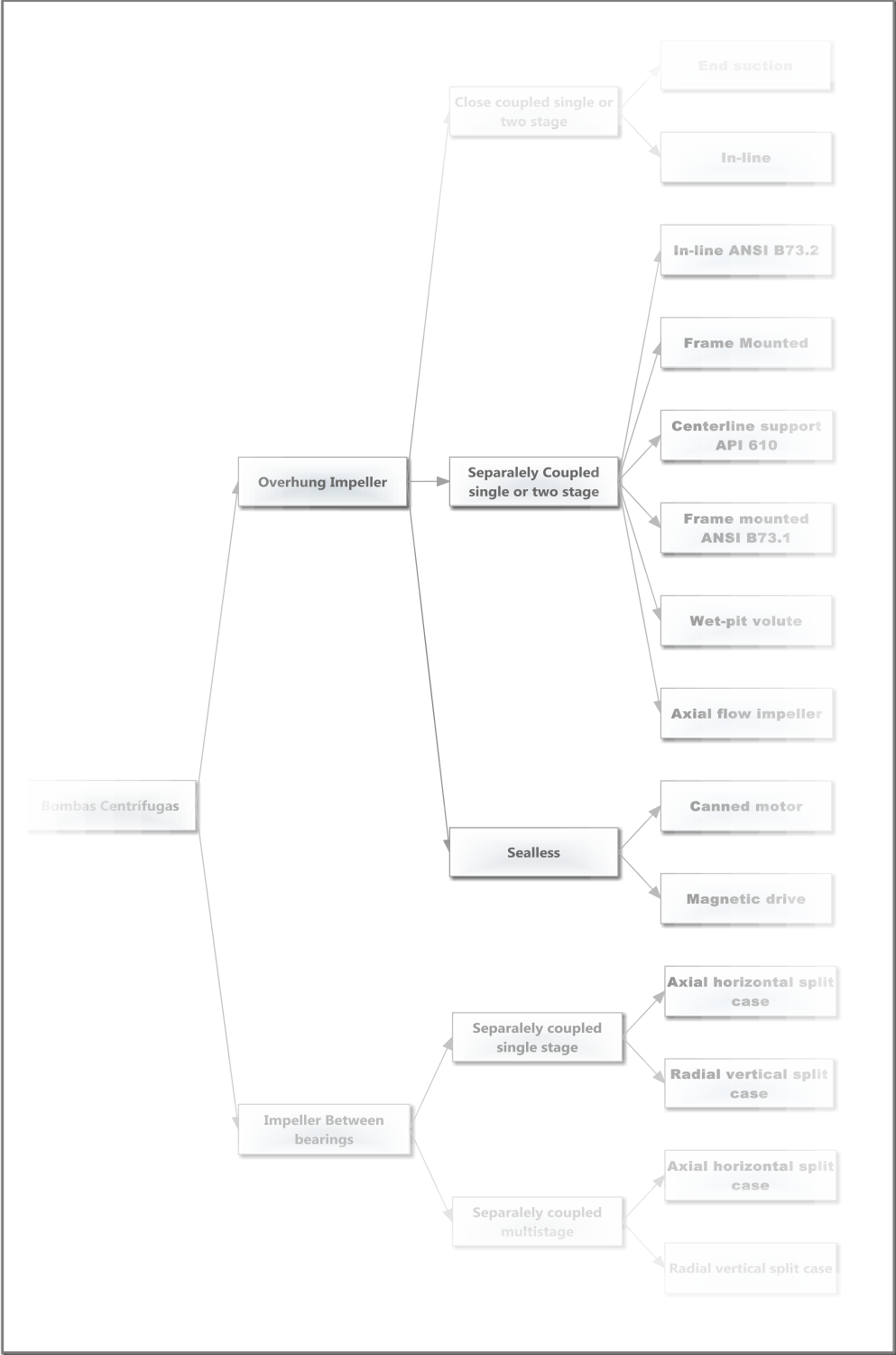
Fuente: Instituto Hidráulico ANSI/HI:2000

2.4.1 Bombas Centrífugas

Se tienen muchos tipos de bombas centrífugas, pero en todas, los movimientos del líquido se efectúan en esencia de igual manera, por la acción de la fuerza centrífuga. La característica principal de una bomba centrífuga es que la entrada del fluido es por el ojo del impulsor y continuar con un movimiento que sigue un patrón circular y ser expulsada en forma tangencial con tal fuerza que causa que el líquido se mueva hacia fuera.

En la siguiente gráfica tomada de la norma ANSI/HI se puede apreciar la clasificación de las bombas centrífugas, detallando que la configuración del impulsor de este tipo de bombas pueden ser de simple-etapa (un impulsor) o multi-etapas (más de un impulsor) y pueden rotar sobre el eje horizontal o sobre el eje vertical, adicionalmente, cada impulsor está contenido dentro de varios tipos de carcasa de la bomba dependiendo de las aplicaciones, pero existen pocas diferencias entre los diseños de bombas centrífugas.

Figura 6. Clasificación de las bombas Centrífugas.



Fuente: Instituto Hidráulico ANSI/HI:2000

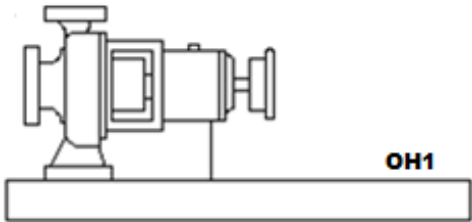
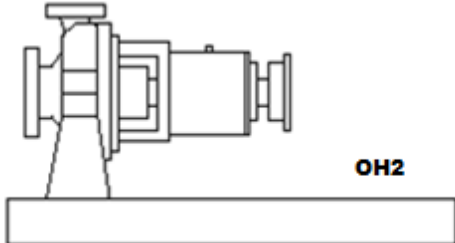
Las Bombas Centrífugas se pueden clasificar de diferentes maneras:

- Por la dirección del flujo en: Radial, Axial y Mixto.
- Por la posición del eje de rotación en: Horizontales, Verticales e Inclinados.
- Por el diseño de la coraza (forma) en: Voluta y las de Turbina.
- Por el diseño mecánico de la carcasa en: Axialmente Bipartidas y las Radialmente Bipartidas.
- Por la forma de succión en: Sencilla y Doble.

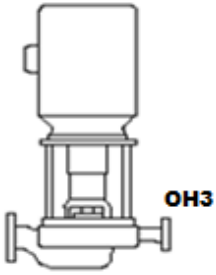
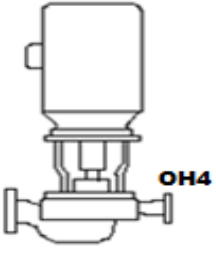
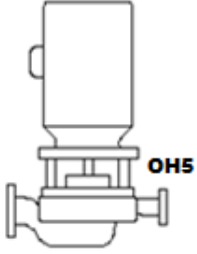
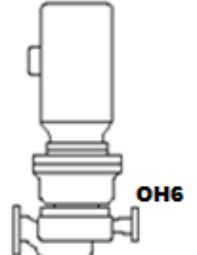
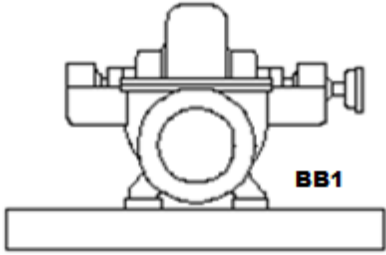
Las bombas de una etapa puede tener el impulsor en voladizo (soportado sobre un solo lado) o con el eje soportado entre rodamientos (Between Bearings).

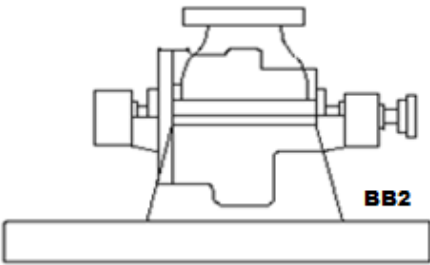
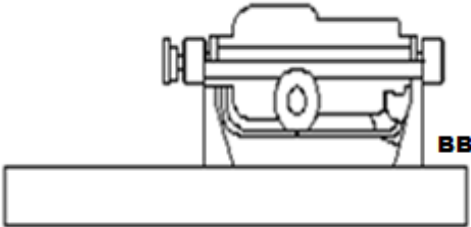
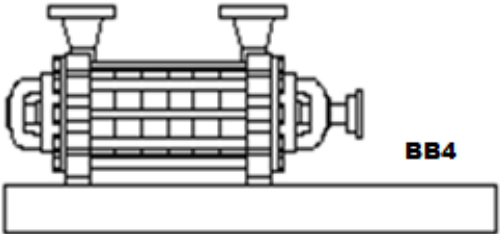
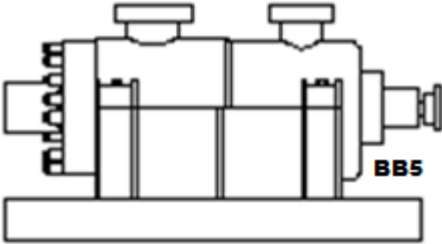
Tomando esta gráfica definida en el ANSI/HI y verificando las especificaciones dadas en la norma API 610⁶, se indicará la clasificación de la bombas centrífugas que se caracterizan por tener el eje con su impulsor apoyado sobre un extremo del cuerpo de la bomba ó en voladizo; llamase a este grupo OH (Overhung). En el siguiente grupo están las llamadas BB (Between Bearings), clasificadas así porque su eje sobre el cual está el impulsor está apoyado sobre los cojinetes de la carcasa de la bomba, en este caso se identifican con uno o varios impulsores sobre el mismo eje.

Figura 7. Clasificación de las bombas Centrífugas de acuerdo a API 610

CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS SEGÚN API 610	
<p>BOMBA TIPO OH1 Diseño en voladizo, simple etapa, montaje de pie. Este tipo de bomba no aplica dentro de la norma API 610, normalmente aplica dentro de la norma ANSI B73.1.</p>	 <p style="text-align: right;">OH1</p>
<p>BOMBA TIPO OH2 (Flexiblemente acopladas) Diseño en voladizo, simple etapa, montaje centrado, presenta una caja de rodamientos simple para absorber todas las fuerzas impuestas, la bomba y el motor tiene ejes separados conectados por un acople flexible, la bomba tiene una carcasa de rodamiento propio para absorber todas las cargas de empuje.</p>	 <p style="text-align: right;">OH2</p>

⁶ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Centrifugal Pumps for refinery, Heavy duty chemical, and gas industry services. API 610: 10Ed. Washington, 2010, www.api.org.

<p>BOMBA TIPO OH3 Diseño en voladizo, simple etapa, montaje vertical "In line" con soportes separados, presenta una caja de rodamientos integrada a la bomba para absorber todas las cargas del impulsor. El elemento conductor está montado en un soporte integrado a la bomba. La bomba y el elemento conductor están conectados por un acople flexible.</p>	
<p>BOMBA TIPO OH4 Diseño en voladizo, simple etapa, montaje vertical "in line" con acople rígido, el acople rígido mantiene el eje de la bomba unido firmemente al eje del elemento conductor (No reúne todos los requerimientos la norma API 610).</p>	
<p>BOMBA TIPO OH5 Diseño en voladizo, simple etapa, montaje vertical "in line" con acople cerrado, con el acople cerrado, el impulsor se monta directamente sobre el eje del elemento conductor (No reúne los requerimientos de la norma API 610).</p>	
<p>BOMBA TIPO OH6 Bombas en voladizo de una etapa con caja de engranajes de alta velocidad integrales. El impulsor se monta directamente en el eje de salida del reductor. No hay acoplamiento entre la caja de engranajes y la bomba, sin embargo, la caja está acoplada elásticamente a su conductor. Estas bombas pueden estar orientadas vertical u horizontalmente.</p>	
<p>BOMBA TIPO BB1 Bomba de diseño de carcasa axialmente partida (en dirección del eje), el eje es soportado entre rodamientos, de una o dos etapas.</p>	

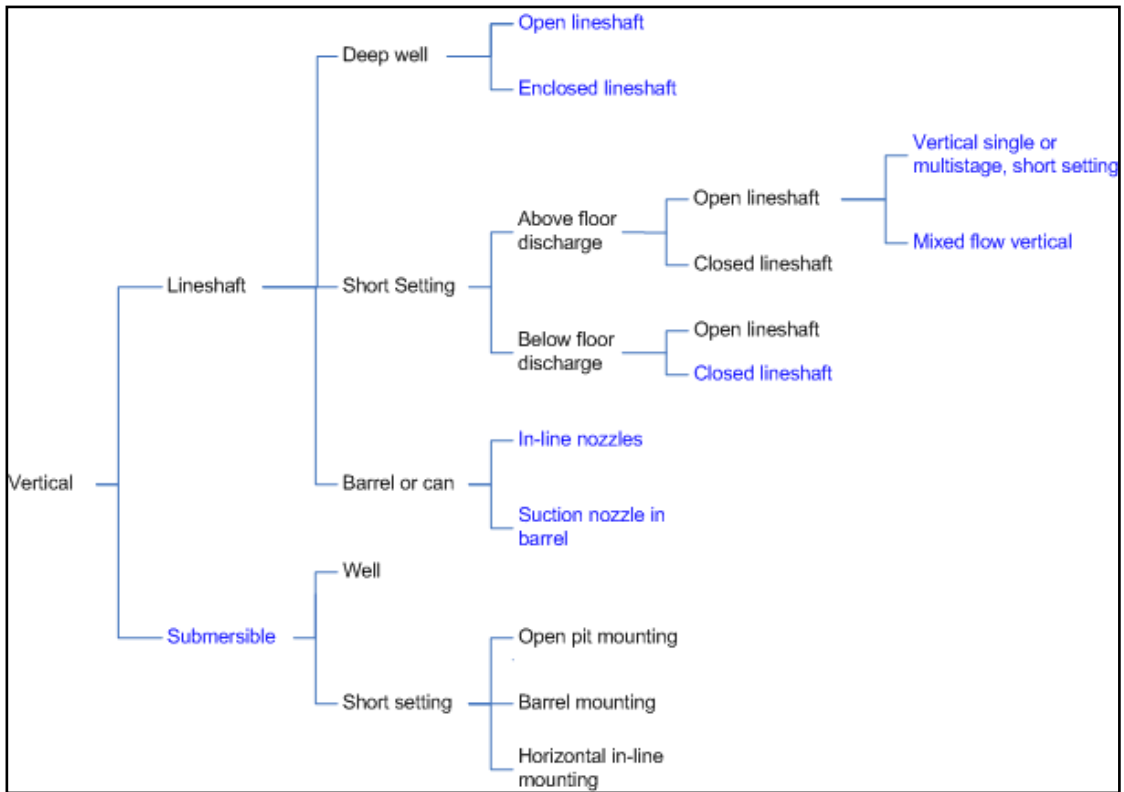
<p>BOMBA TIPO BB2 Bomba de diseño radialmente partida (en dirección perpendicular) con una o dos etapas con eje soportado entre rodamientos</p>	
<p>BOMBA TIPO BB3 Bomba multi-etapa apoyada entre rodamientos con carcasa partida axialmente (en dirección del eje).</p>	
<p>BOMBA TIPO BB4 Bomba multi-etapa apoyada entre rodamientos con carcasa partida radialmente (en dirección perpendicular al eje). También denominadas de bombas de anillos seccionadas, bombas de sección anular tienen conductos comunicados y no cumplen con la totalidad de los requisitos solicitados en esta norma.</p>	
<p>BOMBA TIPO BB5 Bomba multi-etapa apoyada entre rodamientos, diseño de doble carcasa radialmente partida.</p>	

Fuente: API 610 10Ed:2010

En el siguiente grupo de bombas centrífugas se describirán las verticales⁷, caracterizadas por la disposición del eje.

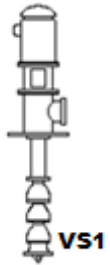
⁷ ANSI/HI Pump Standard *Vertical Pumps for Nomenclature and Definitions* (ANSI/HI 2.1 - 2.2):

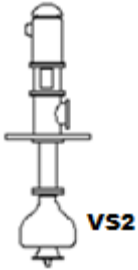

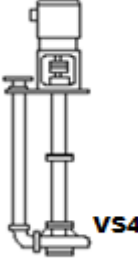

Figura 8. Clasificación de las Bombas Centrífugas Verticales

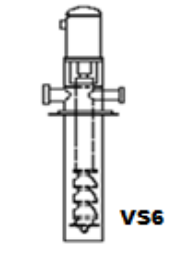
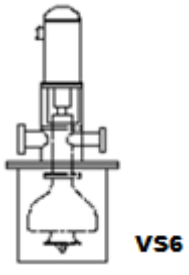


Fuente: ANSI/HI 2.1-2-2

Figura 9. Descripción de las bombas Verticales según API 610

<p>BOMBA TIPO VS1</p> <p>Bomba de profundidad verticalmente suspendida, carcasa simple con difusores de descarga a través de la columna.</p>	
<p>BOMBA TIPO VS2</p> <p>Bomba de profundidad verticalmente suspendida, carcasa simple con la voluta descarga a través de la</p>	

<p>columna.</p>	
<p>BOMBA TIPO VS3</p> <p>Bomba de profundidad verticalmente suspendida, carcasa simple de flujo axial con descarga a través de la columna..</p>	
<p>BOMBA TIPO VS4</p> <p>Bomba de sumidero verticalmente suspendida, carcasa simple y descarga conducida a través de la voluta por la columna.</p>	
<p>BOMBA TIPO VS5</p> <p>Bomba de sumidero verticalmente suspendida en voladizo.</p>	
<p>BOMBA TIPO VS6</p> <p>Bomba doble carcasa con difusores verticalmente suspendida.</p>	

	
<p>BOMBA TIPO VS7</p> <p>Bomba doble carcasa con voluta verticalmente suspendida.</p>	

Fuente: API 610 10Ed.

2.4.2 Bombas de desplazamiento positivo

Son bombas giratorias o de movimiento alterno, con una o varias cámaras que se llenan o vacían en forma cíclica, desplazando “paquetes” de flujo a intervalos regulares, de tal forma que ese volumen de líquido es constante, esta acción se realiza de acuerdo a tres diseños o métodos definidos:

Bombas de tipo Rotativas, que por la acción rotatoria de dispositivos mecánicos como engranajes, tornillos, paletas y otros,

Bombas de movimiento recíprocante, por la acción alternativa de pistones, fuelles o diafragmas,

Por acción de arreglos utilizando aire a presión para desplazar el líquido.

2.4.1.1 Bombas Rotativas

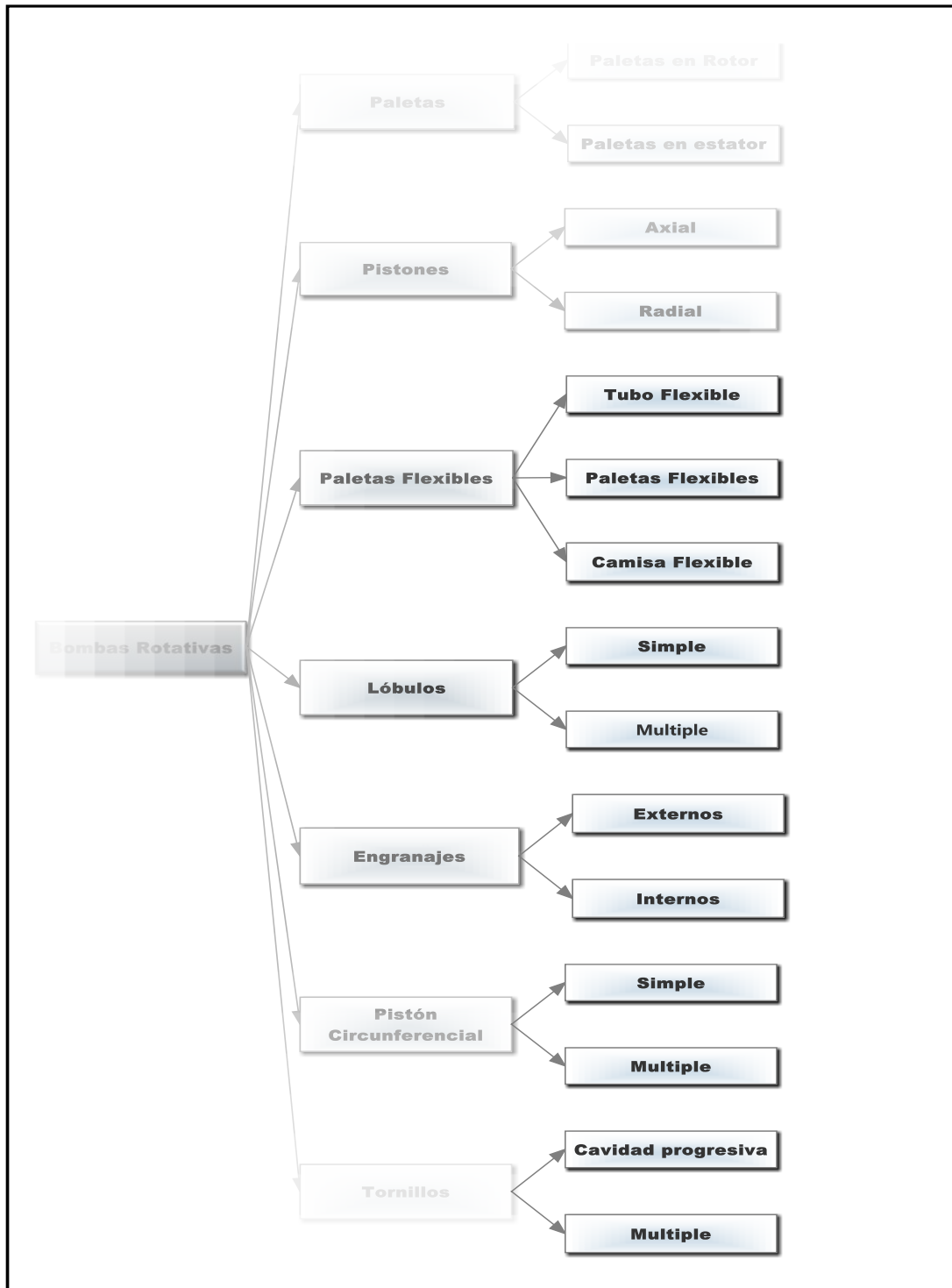
Esta norma ANSI / HI 3.1 a 3.5⁸, aplica a las bombas volumétricas rotativas industriales y comerciales. Incluye: tipos y nomenclatura, las definiciones, el diseño, la aplicación y la instalación, operación y mantenimiento. En las bombas rotativas el líquido es atrapado y luego empujado de su alojamiento a través del

⁸ ANSI/HI Pump Standard 3.1-3.5 Rotary Pumps for nomenclature, definitions, applications and Operations.

puerto de descarga, estas bombas son utilizadas para servicios muy viscosos y libres de abrasivos.

En la siguiente figura se muestra la clasificación de las bombas rotativas:

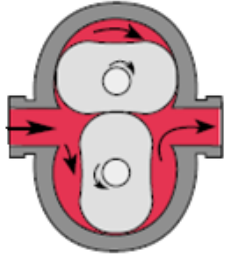

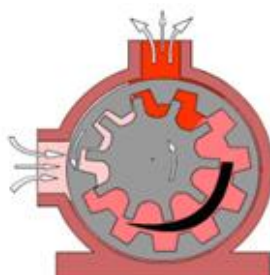
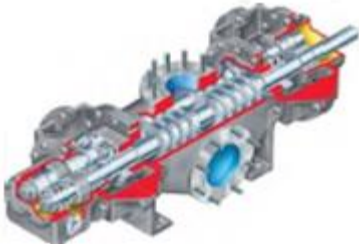

Figura 10. Clasificación de las bombas Rotativas.



Fuente: ANSI/HI 3.1-3.5

Figura 11. Descripción de las bombas Rotativas

DESCRIPCION DE LAS BOMBAS ROTATIVAS	
<p>BOMBA DE PALETAS RIGIDAS</p> <p>Un diseño común tiene un rotor con paletas deslizantes que llevan el fluido dentro de una cámara excéntrica de bombeo. Mientras gira el rotor, el líquido es transferido al puerto de salida donde es descargado. El contacto de las paletas puede ser mantenido por: fuerza centrífuga, varillas de empuje conectando paletas opuestas o presión de la cámara de la bomba.</p>	
<p>BOMBA DE PISTONES AXIALES</p> <p>En este tipo de bomba se caracteriza por que el fluido es arrastrado y forzado a salir por varios pistones que se desplazan alternativamente dentro de los cilindros. El movimiento alternativo se crea por la existencia de una placa de leva que está inclinada un ángulo con respecto a la línea central de la bomba y que no gira. Un extremo de cada pistón se mantiene en contacto con la placa de leva y como el cilindro y pistón giran con el eje de transmisión hace que los pistones se muevan en vaivén dentro de los cilindros.</p>	
<p>BOMBA DE PALETAS FLEXIBLES</p> <p>Este tipo de bombas poseen un impulsor de paletas flexibles de material plástico alimentario. Las paletas son flexibles y su centro es excéntrico con respecto a la carcasa, durante el giro se doblan por lo que se reduce la cámara debajo de dos de las aletas, realizándose de esta forma la impulsión.</p>	
<p>BOMBA PERISTÁLTICA</p> <p>El tipo más común de bomba con miembro flexible es la bomba peristáltica que tiene un tubo flexible de material plástico y que es comprimido progresivamente por un sistema de rodillos o sinfín. En el caso más frecuente, tres rodillos impulsores giran a baja velocidad, efectuando el aplastamiento progresivo de un elemento tubular generando una continuidad de línea de cierre estático. La alternancia entre la compresión y la expansión del elemento tubular genera una aspiración continua del fluido y un flujo constante de impulsión.</p>	

<p>BOMBA DE LOBULOS</p> <p>En este diseño, la forma redondeada de los rotores les permite estar en contacto continuo mientras giran. Cada lóbulo transfiere líquido del puerto de entrada al de salida donde es descargado mientras el líquido es apretado ente los lóbulos. Se requieren engranes de coordinación para sincronizar los lóbulos.</p>	
<p>BOMBA DE ENGRANAJES EXTERNOS</p> <p>La bomba de engranajes más simple consta de dos engranajes rectos engranados entre sí y girando en sentidos opuestos dentro de una carcasa. Cualquier líquido que rellene el espacio existente entre los dientes del engranaje y la carcasa debe seguir junto con los dientes cuando gire el engranaje. La rotación de los engranajes es tal que el líquido entra en el puerto de entrada y fluye alrededor de la periferia exterior de los dos engranajes rotativos.</p>	
<p>BOMBA DE ENGRANAJES INTERNOS</p> <p>Estas bombas de engranajes internos disponen de dos engranajes, uno interno cuyos dientes miran hacia el exterior, y otro externo con los dientes hacia el centro de la bomba, el eje motriz acciona el engranaje interno. En este tipo de bombas existe entre los dos engranajes, una pieza de separación en forma de media luna (semiluna). Esta pieza está situada entre los orificios de entrada y salida, donde la holgura entre los dientes de los engranajes interno y externo es máximo. Ambos engranajes giran en la misma dirección, pero el interno, al tener un diente más, es más rápido que el externo.</p>	
<p>BOMBA DE TORNILLO</p> <p>En este tipo de bomba, se lleva a cabo en espacios formados por el tornillo (s) y la carcasa del tornillo y es desplazado axialmente de succión para descargar a medida que engranan fluido</p>	
<p>BOMBA DE CAVIDAD PROGRESIVA</p> <p>Tienen un rotor con roscas externas y un estator con roscas internas. Es la forma más simple de bomba de cavidad progresiva de un miembro interior (rotor) gira</p>	

<p>dentro de un miembro exterior de doble rosca (estator). En cada revolución del rotor de las dos cavidades están formadas de que el progreso de un extremo del par de rotor y estator para el otro extremo. La geometría del rotor y del estator también hace que el rotor gire excéntrico con respecto al eje de rotación.</p>	
<p>BOMBAS MULTIPLES TORNILLOS</p> <p>De dos o tres tornillos, diseñadas con engranajes sincronizados para transmitir el movimiento entre sí y evitar su contacto. La succión inicia por los extremos y el fluido se desplaza hacia el centro, ideal para bombeo de líquidos no lubricados.</p>	

Fuente: ANSI/HI 3.1-3.7

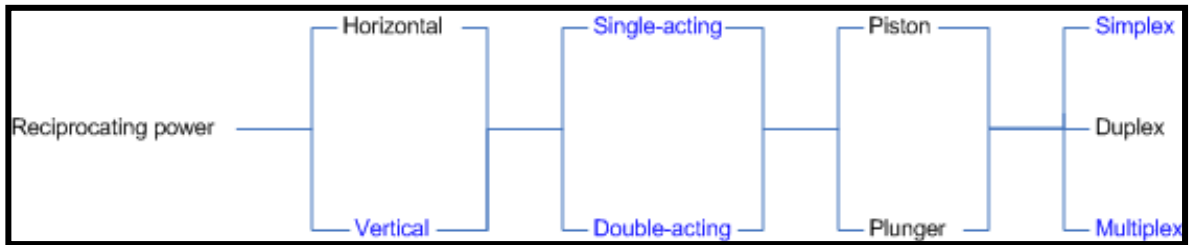
2.4.1.2 Bombas de movimiento alternativo (Reciprocantes)

Esta Norma se aplica a las bombas ANSI / HI 6.1 a 6.5 de movimiento alternativo⁹. Incluye tipos y nomenclatura, las definiciones, el diseño y la aplicación, y la instalación, operación y mantenimiento. Una bomba de movimiento alternativo o reciprocante que usan un pistón o diafragma para remover el espacio que ocupa el líquido en la cavidad y dirigirlo con fuerza al puerto de descarga.

Se tienen tres tipos de bombas reciprocantes: Directas, de energía y de diafragma, una bomba de pistón directa puede clasificarse por el número o juego de pistones, un juego de pistones es referido como simplex, dos juegos como dúplex, tres juegos como triplex y cuatro juegos como cuádruplex.

Figura 12. Clasificación de las bombas Reciprocantes

⁹ ANSI/HI Pump Standard 6.1-6.5 Rotary Pumps for nomenclature, definitions, applications and Operations.



Fuente ANSI/HI:2000

Figura 13. Descripción de las bombas Reciprocantes

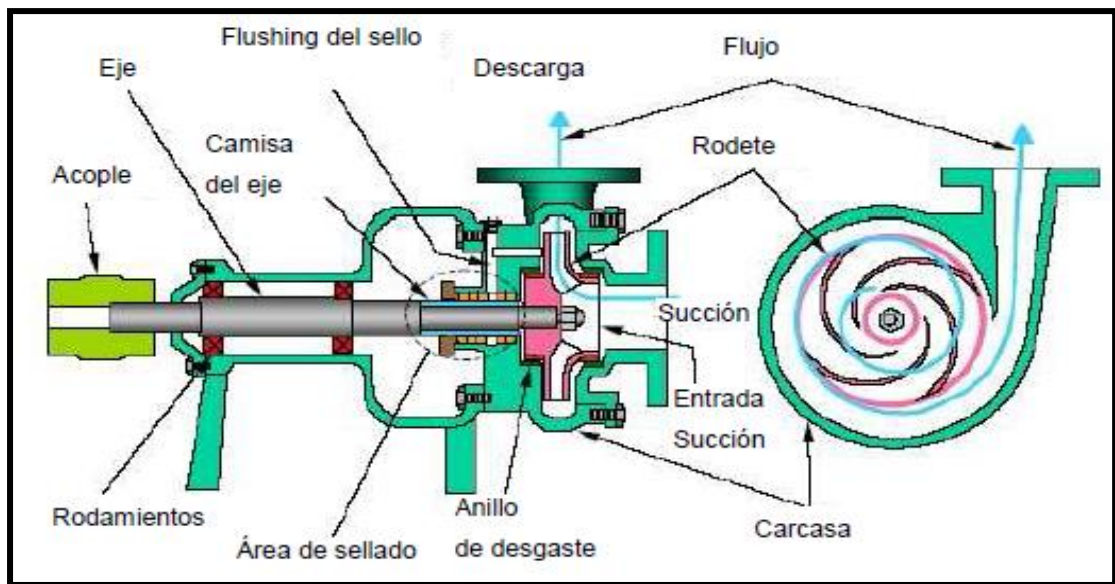
CLASIFICACION BOMBAS RECIPROCANTES	
La línea central axial del cilindro es horizontal.	BOMBA HORIZONTAL
La línea central axial del cilindro es vertical.	BOMBA VERTICAL
Este tipo de bombas se caracteriza por velocidad constante, torque constante y máquina de capacidad recíproca casi constante. El pistón es manejado a través de un cigüeñal desde un motor, o manejado por la acción directa de vapor.	BOMBA DE PISTON
La unidad de transporte contiene émbolos.	BOMBA DE EMBOLO
Líquido se descarga sólo durante la carrera de avance del émbolo o pistón, es decir, durante una media de la revolución del cigüeñal.	BOMBA DE SIMPLE EFECTO
Líquido se descarga tanto durante la carrera de retorno hacia adelante y del pistón o un par de émbolos opuestos. Eso es, la descarga se lleva a cabo durante toda la revolución del cigüeñal.	BOMBA DE DOBLE EFECTO
Contiene un pistón o un émbolo o un par de émbolos opuestos accionados por una varilla de conexión.	BOMBA SIMPLEX
Contiene dos pistones o émbolos de dos o dos pares	BOMBA DUPLEX

de pistones opuestos accionados por dos bielas.	
Contiene más de dos pistones o dos pistones de simple o de oposición.	BOMBA MULTIPLEX

Fuente ANSI/HI:2000

2.5 PARTES Y COMPONENTES PRINCIPALES DE LAS BOMBAS DE PROCESO

Figura 14. Partes principales de una bomba centrífuga



Fuente: Flowserve pumps

2.5.1 El Eje

La eje de una bomba centrífuga tiene como función transmitir el torque que recibe del motor durante la operación de bombeo, además sujeta al impulsor y las partes giratorias¹⁰. La fabricación del eje de una bomba centrífuga debe contar con alta precisión debido al grado de ajuste que existe entre las partes giratorias de la bomba y

¹⁰ KENNETH Mc. NAUGHTON. Bombas Selección, Uso y Mantenimiento. México: Mc Graw Hill, Primera edición en español, 1989. P140-180.

las partes fijas. Cualquier desviación en el eje, por insignificante que pudiera parecer, causa serios daños al mecanismo y la hidráulica del quipo.

En el diseño del eje, los cálculos deben emplear coeficientes de seguridad altos y considerar condiciones extremas de trabajo. Analicemos los factores que intervienen en el funcionamiento:

- Los torques, el eje tiene que resistir el esfuerzo de arrancar la bomba, la cual va a pasar desde velocidad cero rpm a 2000rpm en cuestión de segundos.
- El peso de las partes y del líquido a impulsar en la línea de bombeo,
- Todas las fuerzas hidráulicas, tanto radiales como axiales,
- La desviación máxima permisible,
- La distancia entre apoyos o de extremo volante,
- La localización de las cargas,
- La velocidad crítica del diseño resultante,
- La temperatura del líquido que se impulsa que también afectará la flexibilidad del eje

2.5.2 Rotor o Impulsor

El rotor, también denominado rodete o impulsor es el corazón de la bomba centrífuga, en el se produce la transferencia de energía entre este y el fluido.

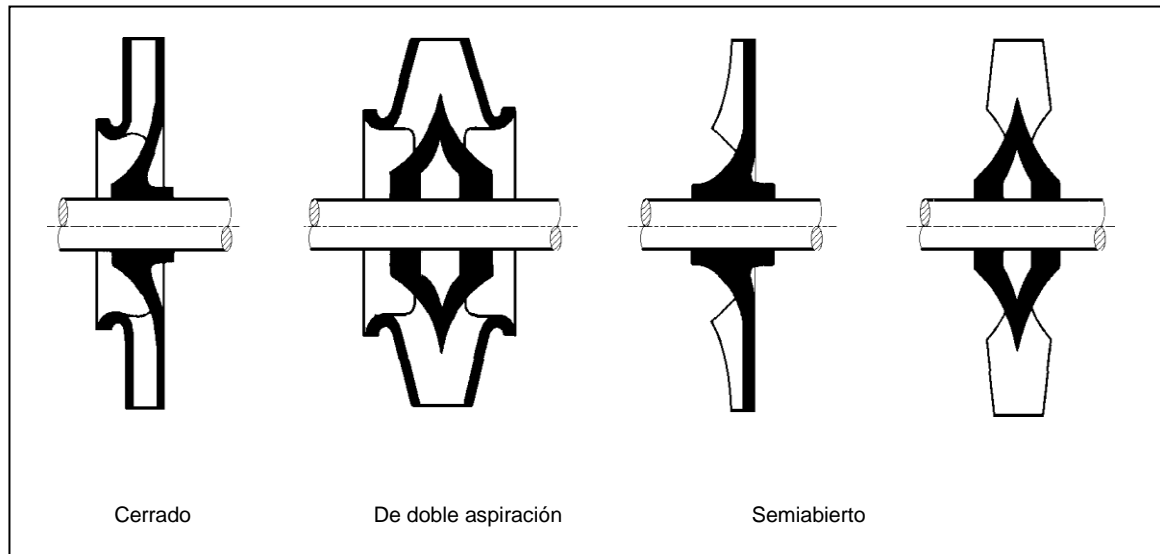
Las bombas centrífugas¹¹, manejan gran variedad de líquidos caracterizados por la densidad, viscosidad, presencia o ausencia de sólidos y deben adaptaren a estas variaciones mediante los diferentes tipos de impulsores. Por el diseño mecánico los impulsores se pueden clasificar en:

- **IMPULSOR ABIERTO:** En esta clase de impulsor los alabes están unidas directamente al núcleo central del impulsor sin forma alguna de pared en las caras. Su uso está limitado a bombas muy pequeñas, pero se puede manejar cualquier tipo de líquido y además inspeccionarlo es muy sencillo.
- **IMPULSOR SEMIABIERTO:** Su diseño varía en un plato o pared en el lado opuesto de la entrada del líquido, la función principal reducir la presión en la parte posterior del impulsor, evitar la entrada y acumulación de material extraño, producto del líquido bombeado, en la parte posterior del impulsor causando así la operación inadecuada de la bomba.

¹¹ IGOR KARASSIK. Bombas centrífugas, Selección Operación y Mantenimiento. México: Mc Graw Hill 1971. Tercera edición en español.

- **IMPULSOR CERRADO:** Se caracteriza por presentar paredes laterales que encierran totalmente las vías del líquido desde la entrada de la succión hasta la periferia, además, lo rodea una corona circular en la parte anterior del impulso por donde el líquido ingresa. Las bombas centrífugas de impulsor cerrado se utilizan en líquidos que no tienen sólidos en suspensión, El impulsor se ilustra en Es un impulsor de alto rendimiento, debido a que el líquido es guiado a través de las paredes del rotor y no por las paredes de la carcasa, reduce el desgaste de la carcasa y la recirculación debido a las pequeñas holguras entre la pared de la carcasa y la succión.

Figura 15. Tipos de Impulsores

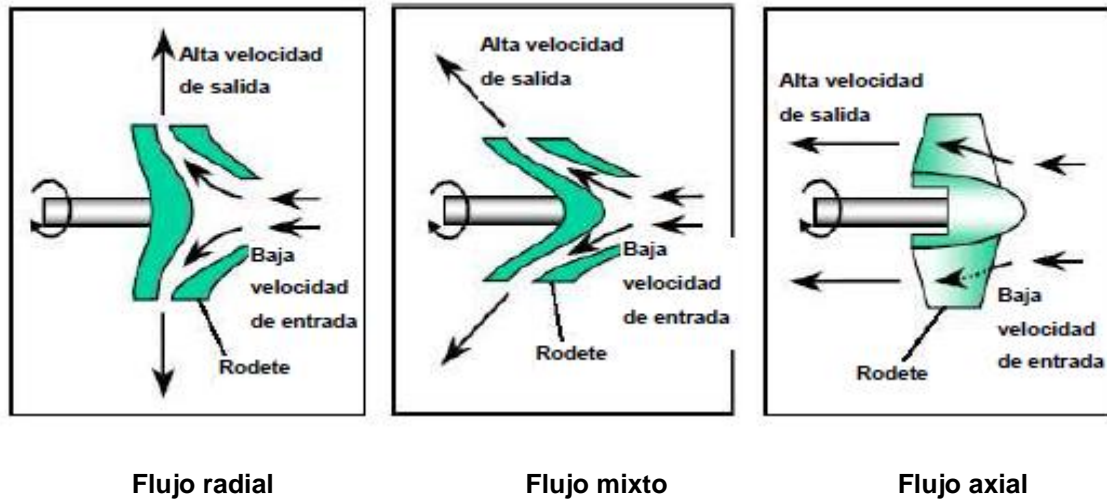


Fuente: IOM Flowserve Pumps

Según la trayectoria del fluido, determinada por la forma y modelado de los alabes, los impulsores se clasifican en:

- **Impulsor de flujo radial,** este impulsor incrementa la energía del fluido en dirección radial al eje de la bomba.
- **Impulsor de flujo mixto,** éste impulsor incrementa la energía del fluido en una dirección que mezcla el flujo perpendicular y paralelo al eje de la bomba.
- **Impulsor de flujo axial,** este impulsor incrementa la energía del fluido en dirección axial al eje de la bomba.

Figura 16. Clasificación de los impulsores por su forma.



Fuente: Kenneth

2.5.3 Carcasa

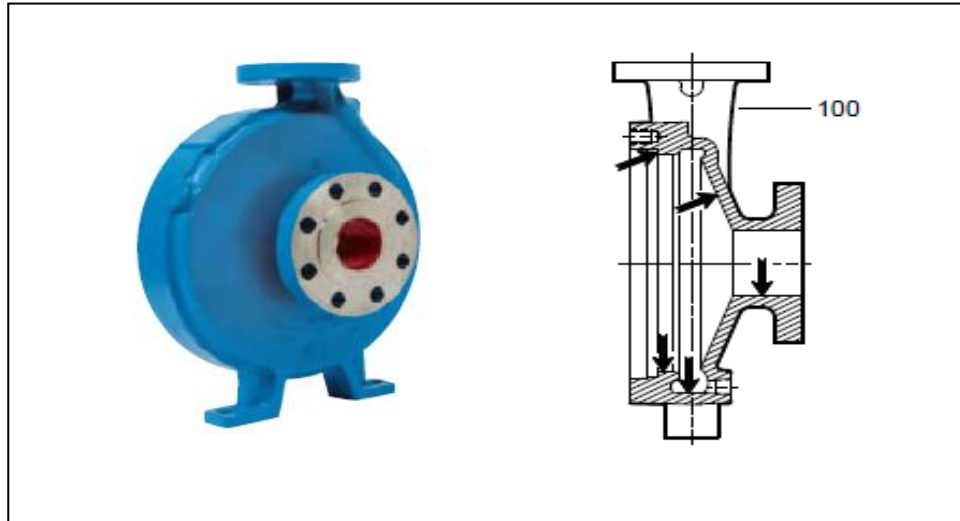
La carcasa o voluta tiene forma de un espiral que rodea al impulsor y direcciona el fluido, el diseño cónico permite transformar parte de la energía cinética en energía potencial.

El área de la sección transversal de la voluta aumenta progresivamente en torno al impulsor formando una cámara recolectora de aumento progresivo, que recibe el líquido del impulsor y lo transporta hasta la descarga.

Debido a que la voluta no es simétrica y el líquido se impulsa en forma progresiva por la sección existe un des-balance de presiones por las fuerzas radiales dispares que actúan sobre el impulso; Estas cargas radial tienen poco efecto cuando la bomba funciona en el punto de mejor eficiencia, sin embargo con elevada carga diferencia causa daños en el eje, rodamientos y sello mecánico.

La magnitud de este empuje radial puede compensarse con un aumento del diámetro del eje con un sobre-dimensionamiento de los cojinetes, lo que encarece la bomba. La opción más adecuada para contrarrestar el efecto de trabajo pesado es una pared delgada para dividir el conducto en dos volutas más pequeñas que generan carga casi uniformes en la circunferencia del impulsor.

Figura 17. Tipo de carcasa o voluta



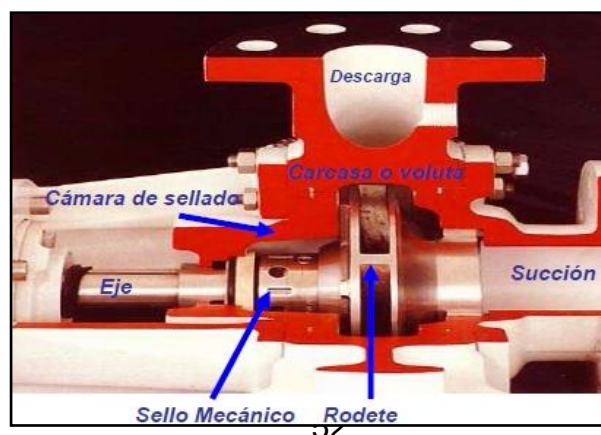
Fuente: Goulds pumps

2.5.4 Cámara de sellado

Denominada también STUFFING BOX, es la parte donde se alojan los mecanismos de sello de la bomba y donde el fluido presenta un comportamiento particular, de acuerdo con el diseño de la cámara.

Para bombas de servicio general la cámara de sellado toma la forma de un cilindro hueco en el punto donde el eje atraviesa la carcasa, puede ser parte integral de la carcasa o un ensamble adicional donde se alojan varios anillos de empaquetadura o el sello mecánico.

Figura 18. Cámara de sello mecánico



El diseño de la cámara de sellado varía de acuerdo con la marca y modelo de las bombas, son modificadas con el objeto de aumentar la circulación de fluido limpio entre las caras y alargar la vida útil del sello.

2.5.5 Rodamientos

La función de los rodamientos en las bombas centrifugas es mantener el eje en correcta alineación con la partes estacionarias bajo la acción de cargas radiales y axiales. Técnicamente los rodamientos tomas la designación de Rodamientos de empuje los encargados de las fuerzas axiales y Rodamientos de alineación encargados de la ubicación del eje.

2.5.6 Acoples

Las bombas centrifugas para el funcionamiento requieren de dispositivos, llamados acoples, capaces de transmitir la energía mecánica o torque externo del eje del motor eléctrico, de combustión interna, turbina, etc al eje de la bomba. Los acoples deben alinear durante el funcionamiento los ejes tanto angular como en paralelo y mantener las tolerancias permisibles

3. ANALISIS DE FALLAS EN BOMBAS DE PROCESO

3.1 CONSIDERACIONES GENERALES

El diseño, materiales y mano de obra incorporados en la construcción de las bombas de proceso, indiferente de la marca, las hacen capaces de prestar un servicio duradero y sin problemas, sin embargo, el servicio duradero de cualquier unidad mecánica se mejora y extiende con la correcta aplicación, adecuada instalación, inspección periódica, vigilancia de la condición y un mantenimiento cuidadoso.

Los manuales de instrucciones generados por los fabricantes de bombas de proceso fueron preparados para asistir a los operadores y técnicos a entender la construcción y los métodos correctos de instalación, operación y mantenimiento.

3.2 EL MANUAL DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El IOM, definido como el manual de Instalación, Operación y Mantenimiento para las bombas, identifican claramente los métodos aceptados para intervenir de forma adecuada las bombas. Estos métodos deben ser atendidos de acuerdo a las especificaciones dadas por el fabricante.

El instituto hidráulico ha compilado para todas las Bombas ANSI / HI las definiciones, terminología de la industria, el diseño, la aplicación, la instalación y el funcionamiento y pautas de mantenimiento, además de las normas de ensayo HI ampliamente aceptadas.

Los fabricantes de bombas en el mundo han realizado el análisis de fallas en bombas de proceso y las han convertido en una rutina universal y con el dominio de los conceptos aplicados al diseño del equipo han logrado interpretar y profundizar en los modos de falla, además mediante las lecciones aprendidas y la búsqueda del conocimiento han logrado facilitar y hacer más eficiente las intervenciones futuras mediante la construcción de los caza fallas, término conocido como el Troubleshooting.

Las causas principales de fallas en las bombas están definidas y relacionadas de la siguiente manera:

Tabla 1. Causas de falla en bombas de proceso, cortesía Goulds pumps

Error de Diseño <ul style="list-style-type: none"> • Defecto de materiales • Error en la fabricación • Defectos de ensamblaje e instalación 	25%
Deficiencias de Mantenimiento	25%
Condiciones de operación diferentes al diseño	25%
Operación inapropiada	25%

Fuente: Documento entrenamiento Goulds pumps

En el proceso de identificación de las fallas en las bombas de proceso, los fabricantes han generado una serie de documentos entregables con cada uno de sus suministros para que sean estos los elementos claves para generar un diagnóstico.

Tabla 2. Elementos de diagnóstico

Curva de la bomba	Aplica para cualquier tipo de bomba
Diámetro del impulsor y rpm	Para bombas centrífugas
Identificación del punto de operación	Crítico para bombas centrífugas
Flujo, presión, corriente del motor	Aplica para cualquier tipo de bomba
Análisis de vibración	Valores dependen del tipo de bomba
Presión, temperatura, niveles, gravedad específica, viscosidad	Aplica para cualquier tipo de bomba

Fuente: Recopilación IOM

A continuación se describen los diferentes síntomas presentados en las bombas de proceso y que han sido recopiladas de diferentes manuales de instalación, operación y mantenimiento de fabricantes de bombas que se encuentran instaladas en Colombia.

Tabla 3. Fallas funcionales en bombas durante la operación

1	La bomba no de flujo
2	Entrega menos flujo del esperado
3	No levanta suficientes presión
4	La forma de la curva H-Q difiere de la original
5	Pierde el cebado después de arrancar
6	Consume demasiada potencia

7	Presenta vibración
8	Presenta ruido
9	Fugas excesivas por la caja de empaques
10	Fugas excesivas por los sellos mecánicos
11	Poca duración de los rodamientos
12	La bomba se sobrecalienta y se pega

Fuente: IOM, recopilación autor

En la siguiente tabla se recopilaron los diferentes modos de falla en bombas de proceso, identificando si se trata por causas en la succión de la bomba, relacionados con la operación del equipo, causas por la hidráulica, relacionados con el diseño del sistema o por causas mecánicas, relacionadas con el diseño del equipo y el mantenimiento.

Tabla 4. Modos de falla presentados en la Succión

CAUSAS POR PROBLEMAS DE SUCCIÓN	
1	La bomba no está cebada.
2	La tubería no está completamente llena de líquido.
3	Insuficiente NPSH disponible.
4	Excesiva cantidad de aire o gas en el líquido.
5	Bolsa de aire en la línea de succión.
6	Fuga de aire en la línea de succión.
7	El aire entra a la bomba a través de empaquetaduras o sellos mecánicos.
8	Tubería de agua de sello obstruida.
9	Mal montaje del sello.
10	Tubería de succión insuficientemente sumergida.
11	Formación de vórtice en la succión.
12	Válvula de succión cerrada parcial o totalmente.
13	Filtro de succión sucio.
14	Obstrucción en la línea de succión.
15	Pérdidas excesivas por fricción en la línea de succión.
16	Impulsor sucio.
17	Codo de succión en el plano paralelo al del eje (para bombas de dobles succión).
18	Dos codos en la línea de succión a 90° uno del otro creando remolino y pre-rotación.
19	Selección de la bomba con velocidad específica de succión demasiado alta.

Tabla 5. Modos de falla presentados por la hidráulica

CAUSAS POR PROBLEMAS HIDRAULICOS	
20	Velocidad de la bomba muy alta.
21	Velocidad de la bomba muy baja.
22	Sentido de giro inverso.
23	Mal montaje del impulsor de doble succión.
24	Instrumentos descalibrados.
25	Diámetro del impulsor más pequeño del especificado.
26	Diámetro del impulsor más grande del especificado.
27	Selección del impulsor con coeficiente anormal de la cabeza alta.
28	Operación de la bomba con válvula de descarga y cerrada sin abertura del bypass.
29	Operación de la bomba por debajo del flujo mínimo.
30	Cabeza estática mayor que la cabeza de apagada (altura del líquido que la bomba resiste en la succión).
31	Pérdida de fricción en la descarga mayor que la calculada.
32	Cabeza total del sistema mayor que la del diseño.
33	Cabeza total del sistema menor que la del diseño.
34	Operación de la bomba a flujo demasiado alto (para bombas de baja velocidad específica).
35	Operación de la bomba a flujo demasiado bajo (para bombas de alta velocidad específica).
36	Tolerancia demasiado pequeña entre el impulsor y la voluta o el difusor.
37	La operación en paralelo de las bombas no es adecuada.
38	Gravedad específica del líquido difiere de las condiciones de diseño.
39	Viscosidad del líquido diferente a la de diseño.
40	Desgaste excesivo de los internos,
41	Obstrucción en la línea de balanceo,
42	Alteración en la succión (desbalanceo entre la presión en la superficie del líquido y la presión de vapor y la brida de succión).

Fuente: Recopilación IOM

Tabla 6. Modos de falla presentados por alteraciones mecánicas

CAUSAS POR PROBLEMAS MECANICOS	
44	Materia orgánica en los impulsores.
45	Desalineamiento
46	Insuficiente rigidez de la fundación (base).

47	Tornillos de anclaje flojos.
48	Tornillos de la bomba o del motor flojo.
49	Grouting no adecuado.
50	Excesivas fuerzas de la tubería en las boquillas de las bombas.
51	Juntas de expansión mal montadas.
52	Arrancada de la bomba sin un adecuado calentamiento.
53	Superficie de los montajes de los internos no están perpendiculares con respecto al eje.
54	Pandeo del eje.
55	Rotor des balanceado.
56	Partes flojas en el eje.
57	Eje descentrado por desgaste de las chumaceras.
58	Operación de la bomba cerca a la velocidad crítica.
59	Luz del eje demasiado larga o diámetro del eje demasiado pequeño.
60	Resonancia entre la velocidad de operación y las frecuencias naturales de la base, Baseplate o tubería.
61	Partes rotativas rozan contra las estacionarias.
62	Incurción de partículas sólidas duras en las tolerancias.
63	Inadecuado material de los empaques de la carcasa.
64	Inadecuada instalación del empaque.
65	Inadecuado apriete de los tornillos de la carcasa.
66	Los materiales de la bomba no son adecuados.
67	Acoples faltos de lubricación.
68	Eje o camisa del eje con altos desgastes en los empaques.

Fuente: Recopilación de IOM

Tabla 7. Modos de falla presentados por sello mecánico

PROBLEMAS MECANICOS AREA DE SELLOS	
69	Tipo incorrecto de empaque para las condiciones de operación.
70	Instalación del empaque del sello inadecuada.
71	Brida demasiada ajustada, impide flujo de líquido.
72	Tolerancia excesiva en la caja de empaquetaduras que hace que esta sea forzada al interior.
73	Suciedad en el líquido de sello.
74	Falla en el enfriamiento de la caja de empaquetaduras.
75	tipo incorrecto de sello mecánico para las condiciones previstas.
76	Sello mecánico inadecuadamente instalado.

Fuente: recopilación IOM

Tabla 8. Modos de falla presentados por cojinetes

PROBLEMAS MECANICOS EN CHUMACERAS	
77	Excesivo empuje radial en bombas de voluta simple.
78	Excesivo empuje axial acusado por desgaste excesivo de los internos o falla de los mismos, o, si se usa, excesivo desgaste del elemento de balanceo.
79	Grasa o aceite erróneos.
80	Excesiva grasa o aceite en las cajas de rodamientos.
81	Falta de lubricación.
82	Instalación inadecuada de la chumacera antifricción, como daño en la instalación, montaje incorrecto o del tipo inadecuado.
83	Entrada de suciedad a los rodamientos.
84	Humedad contaminando el lubricante.
85	Excesivo enfriamiento de los rodamientos.

Fuente: Recopilación IOM

Durante la operación de un sistema de bombeo se presentaran síntomas que en ciertos casos se pueden identificar fácilmente y que dependerán de la habilidad del operador o el técnico responsable, otras requerirán de equipos de medición validándolos con los elementos de diagnóstico definidos en la tabla 2, sin embargo en la tabla siguiente se relacionaran los diferentes síntomas con los modos de falla y así identificar las posibles soluciones o remedios.

En las siguientes tablas 9 y 10 se relacionan los síntomas y modos de falla para los dos grandes grupos de bombas de proceso: Centrífugas y de desplazamiento positivo.

Tabla 9. Síntomas y Modos de falla en bomba Centrífugas

SINTOMAS	SUCCIÓN	HIDRAULICOS	MECANICOS
La bomba no envía líquido.	1,2,3,5,10,12, 13,14,16	21,22,25,30,32,37,39	
Capacidad insuficiente de la bomba.	2,3,4,5,6,7,10,11,12,13,14,15,16,17,18.	21,22,23,24,25,31,32,39,40	44,63,64.
Presión insuficiente de la bomba.	4,6,7,10,11,12,13,14,15,16,18	21,22,23,24,25,34,38,39,40	44,63,64.
La bomba pierde	2,4,6,7,8,9,10,11		

capacidad después de la arrancada.	1.		
La bomba requiere potencia excesiva.		20,22,23,24,26,32,33,34,38,39,40.	44,45,61,69,70,71.
La bomba vibra o emite ruidos a todos los flujos.	2,16.	36,42.	44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,67,78,79,80,81,82,83,84,85.
La bomba vibra o emite ruidos a bajos flujos,	2,3,17,19	27,28,29,35,37.	77
La bomba vibra o emite ruidos a altos flujos.	2,3,10,11,12,13,14,15,16,17,18.	33,34,40	
El eje oscila axialmente.	17,18,19.	27,29,35,37.	77.
Los alabes del impulsor están erosionados en el lado visible.	2,12,13,14,15,16,17.	40.	
Los álabes del impulsor están erosionados en el lado visible.	12,17,19.	29.	
Los álabes del impulsor está erosionados cerca a la descarga.		36.	
Los álabes del impulsor están erosionados cerca a los refuerzos de la descarga.		27,29.	
Los refuerzos del impulsor están fraccionados.		27,29.	
La bomba se sobrecalienta	1,3,12	28,29,37,41,42.	45,50,51,52,53,54,55,57,58,59,60,61,62,77,78,82.
Los internos se corren prematuramente.			66
Desgaste de tolerancias internas demasiado rápido.	3	28,29.	45,50,51,52,53,54,55,57,59,61,62,66,77,
La carcasa de partición axial está rota a lo largo de la línea de división.			63,64,65.

Juntas internas estacionarias están rotas a lo largo de la línea de partición.			53,63,64,65.
Los empaques tienen corta vida o fuga excesiva.	8,9		45,54,55,57,68,69,70,71,72,73,74.
Los empaques se aflojan.	8,9		
Sello mecánico tiene fuga excesiva.			45,54,55,57,58,62,75,76.
Daño por parte del sello mecánico.			45,54,55,57,58,62,75,76.
Los rodamientos tienen corta vida.	3.	29,40,41.	45,50,51,54,55,58,77,78,79,80,81,82,83,84,85.
Falla del acople.			45,50,51,54,67.

Fuente: Autor

Tabla 10. Síntomas y Modos de falla en bombas de desplazamiento positivo.

Bomba Ruidosa	<p>Hidráulica: Fuga aire en la succión Cavitación NPSH insuficiente Presión excesiva</p> <p>Mecánica: Eje desviado Acoplamiento fuera de balance Alineamiento del eje Vibración de la válvula de relevo</p>
Sin flujo	<p>Preparación impropia Tubería de succión no sumergida Trampa o tubería bloqueada Fuga en la válvula de pie Excesiva elevación de la succión El aire se fuga en la succión Rotación incorrecta Velocidad insuficiente Desgaste de la bomba</p>
Pérdida de succión después del arranque	<p>Preparación inapropiada Tubería de succión no sumergida</p>

	Fuga aire en la succión Tubería de succión muy pequeña NPSH insuficiente
Flujo inadecuado	Trampas o tubería bloqueada Velocidad insuficiente Desgaste de la bomba Fuga de aire en la succión Tubería de succión muy pequeña Fuga de aire en el empaque o sello Las válvulas de alivio no asientan Baja viscosidad
Desgaste rápido	Presión excesiva Arenas o suciedad en el bombeado La bomba corre en seco Tensión de la tubería en la caja Corrosión
Excesivo consumo de fuerza	Muy alta viscosidad Obstrucción en la línea de descarga Desviación del eje Tensión de la tubería sobre la carcasa Empacado muy apretado o rotor amarrado

Fuente: IOM bombas Plenty

3.3 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

La siguiente recopilación de información con respecto al programa de mantenimiento corresponde a las recomendaciones dadas por los fabricantes de bombas de proceso y que están definidas en sus manuales de instalación, operación y mantenimiento.

El programa de mantenimiento incluye entre otros los siguientes tipos de inspecciones que son sugeridos y los intervalos variables adecuadamente si el fluido bombeado es abrasivo o corrosivo, ó si el entorno está clasificado como potencialmente explosivo:

- Mantenimiento de rutina
- Inspecciones de rutina
- Inspecciones trimestrales
- Inspecciones anuales

Tabla 11. Programa de inspección en bombas

Mantenimiento de rutina	<ul style="list-style-type: none"> • Lubricar cojinetes • Inspeccionar sellos • Analizar vibraciones • Inspeccionar presión succión/descarga • Inspeccionar la temperatura
Inspecciones de rutina	<ul style="list-style-type: none"> • Controlar el nivel y el estado del aceite a través de la mirilla de vidrio • Controlar ruidos inusuales, vibración y temperatura en rodamientos • Controlar en la bomba y tubería las fugas • Asegurar que no haya fuga en los sellos
Inspecciones trimestrales	<ul style="list-style-type: none"> • Controlar la base y los pernos de sujeción estén ajustados • Controlar el sello mecánico si la bomba estuvo sin funcionar y reemplácelo si es necesario. • Cambie el aceite cada tres meses (2000 horas de funcionamiento) como mínimo. • Cambiar el aceite con más frecuencia si hay condiciones atmosféricas adversas u otras condiciones que puedan contaminar o descomponer el aceite. • Controlar el alineamiento del eje y vuelva a linearlo si es necesario.
Inspecciones anuales	<ul style="list-style-type: none"> • Controlar la capacidad de la bomba. • Controlar la presión de la bomba. • Controlar la potencia de la bomba. • Si el rendimiento de la bomba no satisface los requisitos del proceso, y si éstos no han sido cambiados, desarme la bomba, inspecciónela y reemplace las piezas usadas.

Fuente: Recopilación IOM

4. MANUAL GUIA DE LA INTERVENTORIA

4.1 INTRODUCCION

Este manual guía de la interventoría en mantenimiento es una recopilación de información adquirida en los diferentes procesos de contratación de mantenimiento realizados en diferentes campos de producción del sector petrolero, y que está dirigida a los profesionales que se dedican a este difícil tema de interventoría en mantenimiento. Difícil, porque no existen escritos específicos para la labor, sino que cada mantenimiento tiene algo en particular y al momento de la toma de decisiones depende de la habilidad, experiencia y buen criterio de la interventoría de turno para el logro de los objetivos. En conclusión la interventoría es el resultado de la experiencia adquirida en la práctica y no en las aulas.

4.1.1 Objetivos del manual guía

Definir las tareas generales de la interventoria en un contrato para la reparación general y evaluación posterior de desempeño a las bombas de proceso a ejecutarse en un sitio definido en el contrato.

Mantener la confiabilidad en el mantenimiento mecánico de las bombas de proceso, mediante la supervisión de los trabajos definidos por el CLIENTE, los cuales implican actividades de diagnostico, mantenimiento, y seguimiento operacional hasta su cambio de custodia al cliente.

4.1.2 Alcance de los sistemas de bombeo

En el capítulo 2 se definieron las diferentes clasificaciones de los equipos de bombeo de acuerdo a las normas de construcción vigentes y partes principales de la bomba específicamente de bombas centrífugas por tratarse de equipos con mayor número de aplicaciones.

Normalmente se hace referencia a las bombas o equipos de bombeo, considerando solamente a la bomba como tal, pero es importante resaltar los

componentes del entorno del equipo y que deben ser motivo de aclaración para los gestores del contrato para definir los alcances del trabajo:

EQUIPO CONDUCTOR: Incluye el motor eléctrico

EQUIPO CONDUCTIDO: Comprende cualquier tipo de bomba

EQUIPO ESTÁTICO: Incluye las válvulas de succión, descarga, filtros, cheques, plan soporte para el sello mecánico, enfriador de aceite y tuberías asociadas a la bomba

INSTRUMENTACION Y CONTROL: Incluye instrumentación asociada a la bomba y motor, como los sensores de vibración, sensores de temperatura, sensores de presión, nivel y todas aquellas protecciones que se quieran adicionar

SISTEMA DE LUBRICACION: Incluye las bombas auxiliares de lubricación del equipo, y los planes de sellado.

BASES Y FUNDACIONES: Incluyen las bases de los equipos conductor y conducido.

4.1.4 Referencias de normas aplicables

El mantenimiento y recuperación de las diferentes bombas de proceso que hacen parte del contrato deberán conservar los principios de diseño del fabricante y acogerse no sólo a la última revisión de los siguientes códigos de construcción (depende de la versión original de la fabricación del equipo), reparación, inspección y mantenimiento aplicables para el desarrollo de esta actividad, en la bibliografía se dejaron los datos completos y a continuación se nombraran algunos para que el interventor siempre las tenga presente:

- API 610 Bombas Centrifugas sector petrolero
- API 676 Bombas desplazamiento positivo-Rotativas
- ANSI B73.1 Bombas Centrifugas
- ANSI/HI Especificaciones generales para todas las bombas
- API 686 Buenas prácticas para instalaciones de bombas
- ASTM definición de materiales de construcción
- ASTM E-165 Ensayos por tintas penetrantes
- ASTM E-709 Ensayos por partículas magnéticas
- IOM, manuales de los fabricantes de bombas
- Todos y cada uno de los libros con recomendaciones y prácticas de mantenimiento para bombas.

4.2 EL ALCANCE DE LA INTERVENTORIA TECNICA

4.2.1 Recomendaciones generales

La interventoría debe asegurarse que el contratista tendrá en cuenta las siguientes actividades para toda reparación o reproceso que no haya sido contemplada en el procedimiento inicial y deberá verificar el método de reparación, previa aprobación por el cliente:

- Identificación visible con letras y/o números de las partes desmontadas mientras se realice el mantenimiento, de tal manera que no se pierda su trazabilidad durante el proceso de transporte y/o lavado.
- En el caso de los accesorios (tornillos, espárragos, tuercas), se verificará el estado después de ser limpiados por el contratista, con el fin de determinar si es apta su reutilización.
- Se verificará durante la intervención que todas las placas de identificación no sean retiradas, mal ubicadas o pintadas, adicionalmente, todas aquellas partes no identificadas, se recomendará realizar esta labor previa aprobación por el cliente.
- Las calibraciones y alineaciones posteriores al montaje deberán ser atestiguadas y registradas en los formatos del ejecutor.
- El ejecutor deberá mantener sus registros fotográficos de cada uno de sus intervenciones.

4.2.2 Documentación empleada por la interventoría

El interventor debe consultar el contrato motivo de su interventoria y los documentos necesarios para ejercer sus funciones, entre los cuales nombramos los siguientes:

- Copia del contrato
- Pliegos de condiciones o términos de referencia
- Planos y fotografías

- Memorando de campo con observaciones al contratistas
- Correspondencia cruzada
- Bitácora de interventoria
- Notificaciones
- Aprobación de materiales
- Especificaciones de herramienta, maquinaria y equipo adecuado, según el objeto del contrato y los términos de referencia.
- Actas de inicio
- Actas de liquidación
- Actas de acuerdo
- Actas de pago
- Reclamaciones formales del contratista
- Certificados de disponibilidad y registro presupuestal
- Solicitud de ampliación de términos por parte del contratista
- Informes de programación y seguimiento

4.2.3 Trabajos a realizar

Durante la ejecución de cada una de las labores de mantenimiento realizadas por el contratista, la interventoria debe verificar las siguientes actividades:

- Registros de toda la información de estado de partes y componentes, así como las calibraciones preliminares durante el desensamble de las bombas.
- Informes de justificación de cambios de partes de acuerdo al trabajo desarrollado en cada equipo.
- Registros de toda la información del estado de las partes y componentes nuevos que van a ser instalados, así como las calibraciones finales durante el ensamble del equipo.
- Toda la información referente a calibraciones, estado de componentes, cambio de partes y demás será entregada en el momento de su ejecución al interventor, y se realizará la respectiva comparación con las dimensiones y holguras permitidas por el fabricante de cada bomba.

4.2.4 Diagnostico general

El responsable por definir el diagnostico confiable a cada falla es el contratista, pero en cada una de las etapas de su definición el interventor aportará su mejor

conocimiento, adicionalmente se ayudará de los registros históricos de mantenimiento y operación, normalmente suministrados por el cliente. Para el diagnóstico preliminar es importante tener los manuales de operación y mantenimiento IOM, suministrados por el fabricante, quienes definen sus mejores recomendaciones por referencia de equipo suministrado.

Finalizado el diagnóstico preliminar de la bomba, el ejecutor deberá entregar un informe con el diagnóstico al cliente para su aprobación, incluyendo la definición y un plan detallado para la ejecución del trabajo. El tiempo de garantía de las bombas reparadas será pactado en el contrato entre el cliente y el ejecutor.

4.2.5 Planes de reparación general

Las actividades mínimas a realizar en las bombas enumeradas son las básicas, pero se deben tener en cuenta otras que el contratista considere para garantizar la confiabilidad del equipo:

- Aislar el equipo de sistema principal, en otras palabras instalar bridas ciegas a las líneas asociadas a la bomba. Al instalar los ciegos tener en cuenta que a los filtros se les realizará limpieza mecánica.
- Verificar el estado del aceite de la caja de rodamientos y el aceite de los reservorios del plan de sellado si los hubiere.
- Retirar toda la instrumentación asociada a la bomba necesaria para el desmonte (Switches, termocuplas, indicadores de presión).
- Verificar el estado del sello mecánico, antes de desarmar y definir con el cliente si se requiere mantenimiento adicional, dejarlo en las mismas condiciones y el cambio.
- Es importante verificar que al sello mecánico se le instale los distanciadores y se afloje los tornillos que ajustan la camisa del sello mecánico al eje de la bomba.
- Retirar el acople entre la bomba y el motor, y verificar el estado de los componentes.
- Verificar si es necesario aflojar los espárragos de las bridas de succión y descarga o se repara sin retirar la carcasa.

- Se debe realizar un registro del estado visual de la bomba antes de realizar desensambles, y se deben tener los respectivos archivos fotográficos.
- En el desarme evaluar cada componente visual y dimensionalmente, las calibraciones de las partes principales se registraran en los formatos definidos para esta tarea.
- En los manuales de cada fabricante se definen las partes a inspeccionar en detalle y las tolerancias permitidas para cada una y que se incluyen en el mantenimiento general de la bomba como, deflexión del eje, juego axial, holguras en los alojamientos de los rodamientos, desgastes del impulsor, desgastes de carcasas, entre otras.
- Realizada la inspección visual y dimensional de cada componente se verificará con respecto a los parámetros permitidos por el fabricante y se definirá cuales partes se cambian.
- Se debe verificar toda la metrología a todas las partes rotativas, apoyos internos y externos de los rodamientos, alojamientos de sellos mecánicos, y partes principales de acuerdo al tipo de bomba.
- Durante el proceso de armado se debe verificar las tolerancias entre partes, juegos axiales, de acuerdo a recomendaciones del fabricante, y siempre tener en cuenta de instalar durables nuevos.
- Consultar los valores de torqueo recomendados y aplicarlos, dejar registro de cada uno y/o solicitar atestiguamiento al realizar la actividad.
- Es necesario que se programe en cada una de las intervenciones el respectivo tratamiento de superficie y la pintura adecuada a cada bomba.
- En el momento del ensamble de la bomba es necesario realizar el procedimiento de alineación entre ejes, primero con los espárragos de las bridas libres y luego ajustarlos, verificando que no existan esfuerzos entre tuberías y la bomba.
- El contratista y en presencia de la interventoría realizará el arranque y monitoreo de desempeño del equipo por un tiempo definido entre el cliente y contratista, no menor a 6 horas, durante las cuales tomará datos operativos, que serán el punto de referencia para futuros registros.
- Al pasar el tiempo recomendado se realizará el cambio de custodia entre el contratista al cliente, la interventoría cumplirá un papel importante, para llevar estos datos como registros para determinar los indicadores de gestión correspondientes.

4.3 EL INTERVENTOR

4.3.1 El papel general del interventor

El interventor tendrá las siguientes funciones, además de las consignadas en el manual de administración de interventoría del cliente.

- Vigilar que las partes cumplan lo pactado en el contrato,
- suscribir las diferentes actas,
- elaborar la ficha técnica del contrato,
- hacer seguimiento y dejar constancia escrita de la forma como se está cumpliendo el contrato, dentro de los términos señalados en el mismo,
- recomendar a las partes los ajustes o modificaciones que requiera el contrato en términos de plazos, cumplimiento o cualquier otro aspecto que modifique lo pactado inicialmente, lo cual debe ser por escrito y bajo su propia responsabilidad.

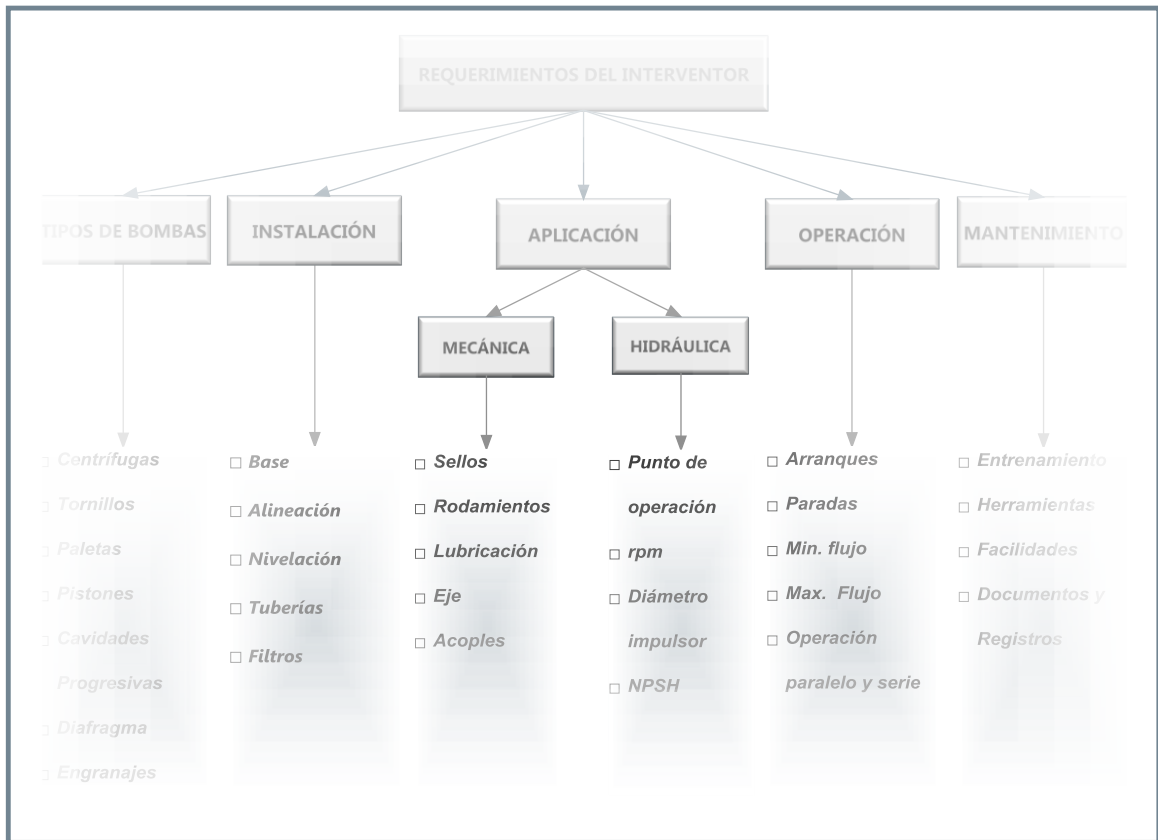
4.3.2 Perfil del interventor

La interventoría puede ser ejercida directamente por la entidad a través de sus funcionarios (en contratos de derecho privado), o por contratistas que ejerzan funciones administrativas y/o técnicas, en contrato de derecho estatal.

La designación del interventor debe recaer en una persona idónea, con conocimiento, experiencia y perfil apropiado al objeto de la interventoría. Para tal efecto, el funcionario responsable de designar al interventor deberá tener en cuenta que el perfil profesional de la persona designada o seleccionada, se ajuste al objeto del contrato, así como la disponibilidad y logística para desarrollar las funciones.

En la siguiente figura se relacionan aspectos generales de lo que puede involucrar el contrato de mantenimiento, esta etapa es de gran importancia, porque los profesionales que conforman la interventoría, deben poseer el conocimiento de la actividad a ejecutar, para exponer sus criterios, en el control que van a ejercer.

Figura 19. Requerimientos técnicos del interventor



Fuente: Goulds pumps training 2010, ajustes autor.

4.4 EL CONTRATO

4.4.1 Cumplimiento del contrato

El cliente emite una propuesta con el propósito de contratar el servicio de mantenimiento general a bombas de proceso, a ejecutarse en las instalaciones del cliente y normalmente junto al contratista suscriben las siguientes cláusulas:

1. Objeto del contrato
2. Plazos del contrato
3. Valor del contrato: pactado por el sistema de precios unitarios(valor por unidad de recurso, obra, trabajo, servicio o bien)
4. Forma de pago

5. Obligación del contratista
6. Obligaciones del contratista en materia HSE
7. Obligaciones del cliente
8. Procedimiento para el recibo de productos
9. Responsabilidad del contratista sobre las actividades o productos
10. Responsabilidad ambiental y salud ocupacional
11. Responsabilidad social
12. Confidencialidad
13. Personal
14. Daños a personal, equipos, datos, programas
15. Indemnidad
16. Garantías y seguros
17. Impuestos
18. Administración e interventoría
19. Multas
20. Penal pecuniaria
21. Fuerza mayor o caso fortuito
22. Suspensión del contrato
23. Terminación del contrato
24. Documentos del contrato.

4.5 EL PLAN DE LA CALIDAD

El plan de calidad para el servicio de mantenimiento se define como el “documento que especifica qué procedimientos y recursos asociados deben aplicarse, quién debe aplicarlos y cuándo deben aplicarse a un proyecto, producto, proceso o contrato específico”¹².

Este plan de la calidad hace referencia a una parte del manual de calidad y es el resultado de la planificación de la calidad.

Específicamente hablando de la ejecución del mantenimiento a cualquier tipo de bomba o equipos auxiliares es necesario describir los procesos significativos de las actividades y la forma de asegurar la calidad del servicio.

4.5.1 Fases del desarrollo de un plan de la calidad

En la actualidad se puede identificar que las organizaciones han documentado y plasmado su sistema de gestión de la calidad en un manual en donde se definen

¹² INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Sistema de gestión de la calidad: Directrices para planes de calidad. NTC ISO 10005. Bogotá: El instituto, 2009. 36p

de forma especificada cada una de las actividades o procesos propias del alcance definido, pero que en el momento de plantear un proyecto de mantenimiento enfocado a las actividades específicas de mantenimiento, sólo nombran procedimientos generales, puede así existir la necesidad de preparar un plan de calidad estableciendo las siguientes fases donde se involucra la participación del personal, conforme las normas sean aplicables:

1. Identificación de la necesidad de un plan de la calidad en el ejecutor, cómo, el sistema de gestión de la calidad se aplica a lo específico de la actividad y demuestra interna y/o externamente el cumplimiento de los requisitos.
2. Identificación de las entradas para el plan de la calidad, cuáles son los requisitos y especificaciones definidas por el cliente en el contrato, sus riesgos y disponibilidades de los recursos, incluyendo otros planes de proyectos, planes ambientales, de salud y seguridad.
3. Alcance del plan de la calidad, dónde comienzan los procesos y que cubren los documentos incluidos.
4. Preparación del plan de la calidad, quién será el responsable por todas y cada una de las actividades específicas dentro de la organización ejecutora. El nivel de detalle en el plan de la calidad debería ser coherente con cualquier requisito acordado con el cliente.
5. Contenido del plan de la calidad, debe cubrir los temas que sean apropiados y que estén dentro del alcance del mantenimiento propuesto, incluyendo diseño y desarrollo de piezas y/o partes para reconstrucción.
6. Revisión, aceptación e implementación del plan de la calidad, en situaciones contractuales, es necesario que el ejecutor presente el plan de la calidad al cliente para su revisión y aceptación, ya sea como un proceso de consulta previo al contrato o después de que el contrato sea adjudicado.

4.5.2 Contenido de un plan de la calidad

La presentación del plan de la calidad puede tener diversas formas, por ejemplo una simple descripción textual, una tabla, una matriz de documentos, un mapa de procesos, un diagrama de flujo de trabajo o un manual. Cualquiera de ellas puede presentarse en formatos electrónicos o en papel.

En el anexo B se muestran un ejemplo de presentación del plan de la calidad como orientación a un caso específico con los temas que se muestran a continuación y que definen el alcance, detallando a qué y a quién afecta el plan:

1. **Elementos de entrada del plan de la calidad:** Detalla a qué nos referimos utilizando ciertos términos, o referenciando otros documentos.
2. **Objetivos de la calidad:** Detalla el objetivo del Plan de Calidad y cómo se van a lograr.
3. **Responsabilidad de la dirección:** Organigrama del departamento con detalle de responsabilidades y funciones.
4. **Control de documentos y datos:** Como identificar los documentos y datos, por quien serán revisados y aprobados los documentos.
5. **Control de registros:** qué registros deberían establecerse y cómo se mantendrán. Dichos registros podrían incluir registros de revisión del diseño, registros de inspección y ensayo/prueba, mediciones de proceso, órdenes de trabajo, dibujos, actas de reuniones.
6. **Recursos:** definir el tipo y cantidad de recursos necesarios para la ejecución exitosa del plan. Estos recursos pueden incluir materiales, recursos humanos, infraestructura y ambiente de trabajo.
7. **Requisitos:** Indicar cuándo, cómo y por quién serán revisados los requisitos especificados para el caso específico, adicionalmente, indicar cómo se registrarán los resultados de esta revisión y cómo se resolverán los conflictos o ambigüedades en los requisitos.
8. **Comunicación con el cliente:** Indicar en el plan de la calidad el responsable por la comunicación con el cliente en casos particulares, los medios a utilizar para la comunicación y registros a conservar.
9. **Diseño y desarrollo:** El diseño y desarrollo de partes y repuestos para el servicio de reparación debe identificar los criterios por los cuales deberían aceptarse los elementos de entrada y los resultados del diseño y desarrollo, y cómo, en qué etapas, y por quién deberían revisarse, verificarse y validarse los resultados.
10. **Compras:** Se indica cómo se hace la propuesta, ejecución, validación y realización de pedidos, así como recepción de los mismos.
11. **Producción y prestación del servicio:** Cuando la instalación o la puesta en servicio sean un requisito, el plan de la calidad debería indicar cómo será instalado el producto y qué características tienen que ser verificadas y validadas en ese momento.

12. **Identificación y trazabilidad:** Qué registros se van a generar respecto a dichos requisitos de trazabilidad, y cómo se van a controlar y distribuir.
13. **Propiedad del cliente:** Indicar como se van a identificar y controlar los productos proporcionados por el cliente (tales como material, herramientas, equipos de ensayo/prueba, software, datos, información, propiedad intelectual o servicios).
14. **Preservación del producto:** Indicar los requisitos para la manipulación, almacenamiento, embalaje y entrega, y como se van a cumplir estos requisitos.
15. **Control del producto no conforme:** Definir cómo se va a identificar y controlar el producto no conforme para prevenir un uso inadecuado, hasta que se complete una eliminación apropiada o una aceptación por concesión.
16. **Seguimiento y medición:** Los procesos de seguimiento y medición proporcionan los medios por los cuales se obtendrá la evidencia objetiva de la conformidad. En el siguiente numeral se definirán los “planes de inspección y ensayos/prueba” como una base para dar seguimiento a la conformidad con los requisitos especificados.
17. **Auditoria:** Se detalla cómo y quién efectúa las auditorías de calidad de mantenimiento, las auditorías pueden utilizarse para varios propósitos, tales como: dar seguimiento a la implementación y eficacia de los planes de la calidad; dar seguimiento y verificar la conformidad con los requisitos específicos ó la vigilancia de los proveedores de la organización;

4.6 PLAN DE INSPECCION Y PRUEBAS

Un plan de Inspección y pruebas, comúnmente conocido como **ITP**, por sus siglas en el idioma inglés (inspection and test plan), es uno de los documentos fundamentales y más importantes para el control y aseguramiento de calidad de cualquier proyecto de reparación de bombas, junto con el plan de calidad para el mantenimiento, independientemente de que se esté trabajando en un sector privado o estatal, los clientes de hoy en día quieren ver el plan de inspección y pruebas.

EL ITP, es una hoja de cálculo que dispone de toda la información importante que debe ser incluida, las descripciones de las pruebas, frecuencias, la referencia a las normas, responsabilidades, entre otras. Cada proyecto es único y diferente, por lo que cada formato se aplica a un proyecto.

El ITP es una herramienta para identificar y corregir las indicaciones antes de que se presenten no conformidades en parte del producto final. Por ejemplo, si se requiere el suministro de componentes de acero, el ITP puede incluir la inspección de los materiales recibidos y la realización de ensayos no destructivos a las soldaduras para asegurarse de que las condiciones de las juntas soldadas cumplen sus especificaciones.

4.6.1 Reglas prácticas (ITP).

El ITP es el documento principal para planificar y gestionar las actividades de inspección y prueba para ofrecer garantías, control y pruebas documentales sobre lo programado.

Un ITP claro, sólido y conciso hará que las actividades sean más fáciles, se definen las responsabilidades de cada persona que intervienen en el proceso, durante la planeación, ejecución y al terminar el mantenimiento. El Inicio de los trabajos sin un Plan de Inspección y prueba es una muy mala práctica y una no conformidad aplicado en muchos contratos. Por lo tanto, estas son algunas de las reglas básicas que hay que tener en cuenta durante el proceso de mantenimiento de reparación y que debe definir un ITP.

1. Cada ITP debe seguir la secuencia del mantenimiento que se describe en el método de los requisitos contractuales, el seguimiento y medición a ser aplicado a los procesos y las frecuencias deben ser claras.
2. El ITP debe tener claras referencias a los documentos que especifican los requisitos. Si es posible, incluso las cláusulas específicas deben ser referenciadas.
3. Las responsabilidades para cada prueba ó inspección, tales como los momentos de espera, atestiguamientos y revisiones, deberían haberse acordado antes del inicio del contrato para evitar confusión y compromisos de todas las partes.
4. Se debe manejar con el cliente la comunicación para cuándo se requiere que las inspecciones o los ensayos sean presenciados o llevados a cabo por representantes de los clientes, encaminados a la aprobación de una modificación y/o cambio en la especificación de materiales o en general para determinar si el diseño es capaz de cumplir los requisitos de la especificación del producto, prueba en el sitio incluyendo aceptación, verificación y validación del producto.

5. El ITP debe establecer claramente los procedimientos y criterios de aceptación a ser usados, las hojas de verificación y registros que deben ser completado durante la inspección.
6. El ITP debe indicar claramente si el formulario de registro que se ha diligenciado hace parte de los paquetes de As- Built.

Para crear un formato llamado plan de inspección y pruebas, se debe diseñar de acuerdo a la necesidad del mantenimiento y alcances propuestos de las partes involucradas, no hay uno específico en una norma, sin embargo, en este documento se entregará uno como referencia.

Figura 20. Formato Modelo de plan de inspección y pruebas

ORDEN DE SERVICIO/CONTRATO			NOMBRE DEL PROYECTO				CLIENTE PROPIETARIO		
[Nombre del contrato]			[Nombre proyecto]				[Nombre compañía]		
Item	Especificación	Area	Sección	Inspecciones y/o pruebas requeridas	Frecuencia	Realizado por: (Ejecutor de prueba QA/QC)	Fecha	Date Forwarded To Contr. Off.	Observaciones
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									
7.									
8.									
9.									
10.									
11.									
12.									
13.									
14.									
15.									
16.									
17.									
18.									
19.									
20.									
21.									
22.									
23.									
24.									

Fuente: HANDBOOK OF MECHANICAL WORKS INSPECTION, 2001. P 311-316.

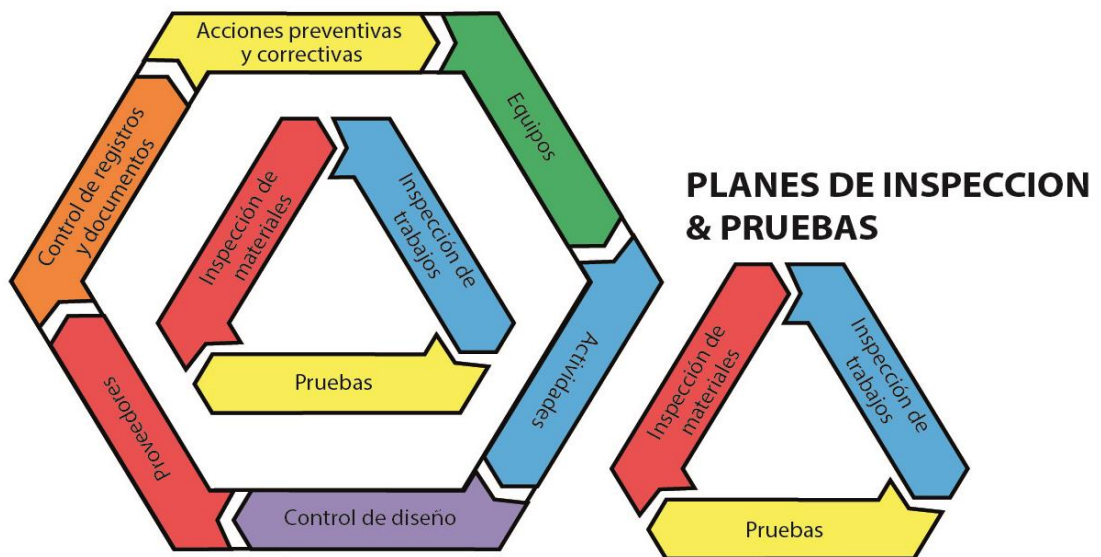
4.6.2. Plan de Calidad y Plan de inspección

En la siguiente figura se puede identificar gráficamente otro enfoque de lo que incluye un plan de calidad: el control de la calidad de mano de obra, los equipos y proveedores, el control de diseño, registro y control de documentos y las acciones correctivas y preventivas.

Mientras que, el plan de inspección y pruebas es el medio con un objetivo claro de controlar la calidad en la ejecución del mantenimiento.

Figura 21. Relación entre el plan de calidad y plan de inspección y pruebas

PLANES DE CONTROL DE LA CALIDAD



Fuente: Goulds pumps, training 2010

En el anexo C, se incluye un modelo de plan de inspección y pruebas aplicable a la ejecución de un contrato de mantenimiento a bombas de proceso.

5. ESTRATEGIA METODOLOGICA

5.1 INDICADORES DE GESTIÓN

En los artículos especializados sobre indicadores de mantenimiento, se expresa que existe mucha preocupación en el momento de definir cuales indicadores medir, y a su vez hace que nos preguntemos si los indicadores que maneja el contratista son los mismos a los del interventor y la respuesta es no, cada sistema es independiente pero alineado a la estructura de la actividad del mantenimiento.

La estrategia en la medición de los resultados que quiere ver el interventor frente al desempeño del contratista está relacionado con los documentos entregables y que tienen que ver con la gestión de la calidad y el manejo de tiempos programados en una actividad o durante el contrato.

En el Anexo C, se presenta una propuesta de evaluación del desempeño del contratista, que es evaluada en una actividad parcial o definitiva, cada ítem mencionado ilustra un valor medible máximo y el total después de finalizada la actividad se muestra con una tabla de valoración.

En reunión preliminar a cada actividad, la interventoría debe someter a consideración los formatos relacionados en el plan de calidad a ser utilizados, que sean los más adecuados para el seguimiento y control del mantenimiento, referentes a la obtención de la calidad.

Se incluyen algunos formatos típicos para el manejo de la información de mantenimiento, los cuales deben revisarse y/o completarse para cada actividad específica, especialmente en la recepción de equipos para mantenimiento, notas de reunión, actas de cambio de custodia que se mostraran en los anexos y que no requieren explicación, ya que en ellos se refleja su funcionalidad.

5.2 ESTRUCTURA TIPICA DE UN INFORME TÉCNICO

1. RESUMEN o ABSTRACT, que puede transformarse a un reporte de campo, carta portada, memorando, ente otros.
2. INTRODUCCION o PLANTEAMIENTO, que puede convertirse en un reporte de campo, introducción o resumen, incluyen los síntomas, causas, pronósticos, controles, objetivos y delimitación.

3. MARCO TEORICO o CONCEPTUALIZACIÓN: Antecedentes, conceptos, variables.
4. METODOLOGÍA: Tipo, diseño, instrumentos, muestras o unidades de análisis, contrastación, descripción, tablas comparativas, categorización e interpretación.
5. RESULTADOS Y ANALISIS CUANTITATIVO Y CUALITATIVO: También puede llamarse discusión de resultados.
6. CONCLUSIONES: En función de los objetivos específicos.
7. RECOMENDACIONES: En función de los objetivos específicos.
8. BIBLIOGRAFÍA: o lista de referencias

6. CONCLUSIONES

1. La aplicación de un modelo gerencial a la gestión de la interventoría en el mantenimiento de bombas de proceso pretende mantener el desempeño de ese activo entre el rango de lo deseado y de la capacidad de cómo se adquirió, disminuyendo así el margen de deterioro de las mismas.
2. La documentación empleada por la interventoría permite mantener mucha atención en las tareas de mantenimiento que más incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las bombas de proceso, garantizando que la labor del contratista genere mejor beneficio para el cliente.
3. La identificación de los modos de fallas en las diferentes tipos de bombas permitió conocer cómo, por qué y donde ocurren las fallas y las consecuencias de las mismas.
4. El plan de Calidad y el plan Inspección y pruebas otorga mayor énfasis en el mantenimiento de partes y componentes críticos de las bombas de proceso. Al respecto, se obtuvo que la labor del contratista esté más enfocada a la planeación y estrategias para la correcta aplicación de los procedimientos en cumplimiento de los requerimientos del cliente.
5. La implementación de indicadores de gestión para medir la gestión del contratista, no sólo se enfocaron a tiempos de entrega, sino a la utilización de sus recursos humanos, complementados con la documentación soporte para el estricto cumplimiento de los objetivos del contrato.
6. Se define un manual guía con recopilación de información de los fabricantes de bombas de proceso y la experiencia adquirida en la ejecución de la labor del mantenimiento, dirigido a los profesionales que se dedican al tema de la Interventoría del mantenimiento.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE. HYDRAULIC INSTITUTE. ANSI / HI 9.1 a 9.5:2000.

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE. HYDRAULIC INSTITUTE. Centrifugal pumps installation, operation and maintenance. ANSI / HI 1.4 :2000.

BEJARANO RICO, Rafael. LATORRE CHACON, Leonardo. Bombas Centrifugas Selección, Instalación, Operación, Mantenimiento. [10]

BORRAS, Carlos. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga, 2012. Posgrado Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

BRICEÑO, María Isabel. Guía para la elaboración de informes técnicos. Mérida: Universidad de los Andes, 2005. 27 p.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 80. (1993). Por la cual se crea contratos estatales. Bogotá, DC. , 1993. Capítulo III. Artículo 32. P. 28 - 29.

GOULDS PUMPS. Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento de Bombas centrífugas Goulds, 10 edición. NY: 102p.

GONZALES JAIMES, Isnardo. Seminario II, Profundización Bibliográfica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica.

IGOR KARASSIK. Bombas centrífugas, Selección Operación y Mantenimiento, tercera edición en español. Mc Graw Hill. México 1971 [5]

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum and natural gas industries-Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224:2006. 2ed. Geneva, Suiza: ISO, 2006. p 44

KENNETH Mc. NAUGHTON. Bombas Selección, Uso y Mantenimiento. Primera edición en español. Mc Graw Hill. México 1989 [14]

MALDONADO CONTRERAS, José Álvaro. Manual guía de interventoría de obra. Bucaramanga: Sic editorial, 2005. 255 p.

MORA, Carlos Alberto. Mantenimiento Planeación, ejecución y control. Bogota, alfaomega 2009. [8]

PINILLA. Pablo. Sistemas de información. Bucaramanga. [CD_ROM]. Bucaramanga, 2008. Posgrado Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

SANCHEZ HENAO, Julio Cesar. Interventoría de proyectos y obras. Medellín: Línea editorial, 2010. 175p.

ANEXOS

ANEXO A. Ejemplo de un plan de la calidad tipo tabla para el servicio de mantenimiento en reparación de bombas:

LOGO DEL EJECUTOR	PLAN DE LA CALIDAD	Código	PDC01
		Versión	0
	SERVICIO DE MANTENIMIENTO	Página	Página 1 de 2

ACTIVIDAD	DESCRIPCION	DOCUMENTO / PROCEDIMIENTO	USUARIO
Alcance	Este plan de Calidad aplica para el mantenimiento de reparación a los equipos de bombeo dentro del campo de producción definida en los alcances del contrato.	El contrato	Contratista
Objetivos de la Calidad	Garantizar la disponibilidad y el buen uso de recurso técnico, humano y económico para la ejecución de los servicios de mantenimiento	Manual de Calidad	Contratista
Responsabilidades de la dirección	El personal asignado por el EJECUTOR para el desarrollo del servicio en el mantenimiento se define en el organigrama del ejecutor.	Organigrama de la organización	Contratista
Documentación	Los documentos a utilizar durante la prestación del servicio serán aquellos suministrados por el cliente (actas de inicio y terminación), documentos suministrados por el fabricante (IOM), y los suministrados por el EJECUTOR.	Control de los documentos	Contratista

Registros	Cuando el proyecto requiera el uso y/o creación de documentos y registros, es necesario nombrarlos en el listado maestro de documentos y listado de registros del plan de calidad.	Control de los Documentos	Contratista
Recursos	Para la ejecución del proyecto se determina cual es el personal competente de acuerdo a su hoja de vida, el perfil de cargo y las sugeridas por cliente, contempladas en el alcance de los trabajos; en cuanto a experiencia, educación, formación.	Perfil de cargos y competencias	Contratista
Revisión de requisitos/especificaciones del cliente	El presente plan de calidad se creó conforme con todos los requisitos de la norma ISO 9001:2000 y su conformidad con las especificaciones y requerimientos del proyecto; así mismo es modificado, revisado y aprobado cuando sea necesario por cambios en el Sistema de Gestión de Calidad, especificaciones técnicas y/o modificaciones del cliente en aspectos contractuales; a su vez los cambios realizados son comunicados al Cliente entregando una copia controlada durante la vigencia del proyecto del Plan de Calidad.	Manual de la Calidad	Contratista
Comunicación con el cliente	Para garantizar la ejecución efectiva del contrato, se establecen reuniones con el cliente de coordinación y avance, desarrolladas por el director y coordinador de proyecto; estas reuniones facilitan el seguimiento de las actividades. La	Manual de la calidad	Contratista

	comunicación también se maneja por correo electrónico y vía telefónica.		
Diseño y desarrollo	En caso de no existencia de partes y/o repuestos originales y con aceptación del cliente se incluirá la fabricación de estas.		Contratista
Compras	<p>El procedimiento de compras se realiza de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificación de la necesidad dentro del servicio a prestar. • Identificación de proveedores para el suministro. • Solicitud de cotizaciones. • Verificación y aprobación de las cotizaciones de acuerdo a la mejor oferta. • Elaboración de la orden de compra. 	Procedimiento de compras	Contratista
Ejecución del Proyecto	Las entradas al proyecto provienen tanto de las especificaciones del cliente como de los hallazgos en el proceso de diagnóstico del estado del equipo. Las entradas son transformadas mediante las actividades que se programan en el cronograma del proyecto establecido por el EJECUTOR. Se realiza seguimiento a dichas actividades con el fin de dar cumplimiento a los términos del contrato en el tiempo establecido.	Plan de mantenimiento	Contratista
Identificación y trazabilidad	La trazabilidad durante la ejecución del proyecto se realiza mediante los reportes diarios, donde se relaciona las actividades ejecutadas, las cantidades y su relación con los ítems de pago del contrato o		Contratista

	pliego de condiciones.		
Propiedad del cliente	Se aplicaran con los formatos de cambio de custodia cuando el equipo pasa a ser reparado.	Instructivos de cambio de custodia	Contratista
Almacenamiento y manipulación	Todos los materiales, equipos y herramientas utilizados en el proyecto de servicio de mantenimiento son manejados de manera que se preserve la integridad en el uso y manipulación para la correcta ejecución de la obra, manteniéndolos en un área previamente establecida y donde se mantenga su conformidad.		Contratista
Productos no conformes	Los equipos que no cumplan con los requisitos de aceptación final, serán retirados para verificación de procedimientos.	Plan de Inspección y Ensayos	Contratista
Seguimiento y medición	La medición y análisis del servicio se realiza por medio de los registros e informes con recomendaciones entregados y verificados por el personal asignado por el cliente.	Plan de Inspección y pruebas	Contratista
Equipo de inspección y ensayo/prueba	El ejecutor presentará un plan de inspección y ensayos de acuerdo al tipo y clase de equipo intervenido.	Plan de inspección y ensayos.	Contratista
Auditoría	Las actividades propias de mantenimiento pueden recibir auditorías internas del cliente.	Plan de auditorías Internas.	Contratista

Fuente: por el autor.

ANEXO B. Evaluación de desempeño a contratistas

EVALUACION DE DESEMPEÑO A CONTRATISTAS	
LOGO DEL CLIENTE	PARCIAL <input type="checkbox"/> DEFINITIVA <input type="checkbox"/>
	FECHA EVALUACIÓN: _____
A. DATOS INICIALES	
CONTRATISTA:	NIT/CC:
NUMERO DE CONTRATO: _____	FECHA INCIO: _____
	FECHA FIN APROX. _____
OBJETO DEL CONTRATO:	
B. FACTORES DE EVALUACION	
CUMPLIMIENTO DE ESPECIFICACIONES TECNICAS	
Cumplimiento de especificaciones técnicas	30
CUMPLIMIENTO DE PLAZOS DEL CONTRATO	
Suscripción acta inicio-fecha prevista	4,0
Cumplimiento porcentaje ejecución previsto	12,0
Cumplimiento plazo final de ejecución	4,0
CUMPLIMIENTO DE ASPECTOS ADMINISTRATIVOS	
Pago oportuno obligaciones con sus empleados	3,0
Afiliación oportuna obligaciones parafiscales	3,0
Comunicación con el cliente	3,0
Entrega oportuna documentos requeridos dentro del contrato	3,0
Atención oportuna de quejas y reclamos con el cliente	3,0
SEGURIDAD, SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE	
Desempeño en seguridad y salud ocupacional	7,0
Suministro de dotación y EPP's	3,0
Desempeño gestión ambiental	3,0

ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD	
Aseguramiento de la calidad en el proyecto	5,0
Control de documentos y registros	5,0
Acciones correctivas y preventivas	5,0
Oportunidad en la entrega de informes y/o reportes	5,0
Contenido de informes y/o reportes	5,0
CALIFICACION FINAL SOBRE 100 PUNTOS POSIBLES: 100,00	
C. DATOS FINALES	
OBSERVACIONES:	INTERPRETACION DE RESULTADOS: Excelente: De 96 a 100 Satisfactorio: De 85 a 95 Aceptable: De 70 a 84 No aceptable: menor a 69
Firma: _____ _____ Nombre: _____ _____ Cédula: _____ _____	Firma: _____ _____ Nombre: _____ _____ Cédula: _____ _____
INTERVENTOR	ADMINISTRADOR

Fuente: Maldonado Alvaro, Manual guía de interventoría de obra

ANEXO C. Inspección en la recepción de equipos

ANEXO D. Acta inicio de mantenimientos

ACTA DE INICIACION DE MANTENIMIENTOS	
NUMERO DE CONTRATO:	
CONTRATISTA	
OBJETO:	
VALOR:	
FECHA DE INICIACIÓN:	
FECHA DE TERMINACION:	
PLAZO DE EJECUCION:	
Ense reunieron, en representación del propietario,....., por el contratista,....., para dejar constancia de:	
1. Que una vez perfeccionado el contrato, según comunicación.....del() dede 20....., y conforme a la cláusula.....() del contrato, se iniciaran los trabajos objeto del mismo, en la fecha.....() dede 20.....	
2. Que el contratista conforme a la cláusula() hace entrega a la interventoría de la programación detallada de los trabajos, del programa de utilización del anticipo (si es requerido) y así mismo declara haber asistido a la reunión conjunta al sitio de los trabajos y recibido de la interventoría en campo, las coordenadas y niveles de referencia para la correcta iniciación de los trabajos (si es necesario)	
Para constancia se firma en....., a los.....días del mes de....., de 20....., por los que en ella intervinieron.	
_____	_____
POR EL PROPIETARIO	POR EL CONTRATISTA

Fuente: Maldonado Alvaro. Manual guía de interventoría de obra

ANEXO E. Acta de terminación de mantenimiento

ACTA DE TERMINACION DE MANTENIMIENTOS	
NUMERO DE CONTRATO:	
OBJETO:	
En....., a los..... () días del mes de de 20....., se reunieron, por la INTERVENTORÍA,, por el CONTRATISTA,.....,para dejar constancia de:	
<ol style="list-style-type: none">1. Que el contratista hizo entrega de los trabajos previstos en el (los) numeral (es) del contrato.....2. Que la interventoría, una vez revisado los trabajos, los recibe a satisfacción.....3. Que por la presente, INTERVENTORÍA y EL CONTRATISTA dan por terminado los trabajos objeto del contrato.....y proceden a firmar la respectiva Acta de Terminación de mantenimiento.4. Que se adjuntan los informes definitivos de construcción y los certificados de aceptación de equipos (si fuere el caso).	
_____	_____
INTERVENTORIA	CONTRATISTA

Fuente: Maldonado Alvaro. Manual guía de interventoría de obra

ANEXO F. No-conformidades y acciones correctivas comunes: bombas

No conformidades	Acciones correctivas
La característica Q / H es de arriba y la derecha del punto de garantía (es decir, demasiado alto)	Para diseños radiales y de flujo mixto, esto es rectificada por el recorte del impulsor (s). La curva Q / H se desplaza hacia abajo y hacia la izquierda. Esté atento a los cambios resultantes en el equilibrio dinámico. Repita la prueba.
La característica $q] / H$ es muy bajo " - la bomba no cumple con su obligación de garantía para q o H	A menudo, hasta 5 por ciento de aumento de la cabeza se puede lograr mediante el ajuste de un impulsor de mayor diámetro. Si no logra corregir la situación allí es un diseño revisado del impulsor. Soluciones provisionales a veces se pueden conseguir a través de: <ul style="list-style-type: none"> • Instalación de flujo de control o dispositivos de pre-rotación. • Instalación de válvulas reguladoras aguas arriba.
NPSH es muy por encima de los requisitos de garantía de aceptación	Esto es más probable un problema de diseño, la única solución real es que rediseñar. A continuación, repita la prueba.
Resultado NPSH es marginal	Esto a veces puede ser un problema de estabilidad. Lo que hay que hacer es tratar de nuevo la prueba y ver si le da un resultado exactamente reproducible, prestando especial atención a la medición de la decadencia cabeza 3 por ciento (ver y escuchar la evidencia de cavitación). A veces es posible aceptar el cumplimiento NPSH marginal en régimen de concesión a hacer esto correctamente es necesario comprobar el NPSH disponible del sistema, para ver si un margen de presión satisfactorio (aproximadamente 1 metro) todavía existe.
El exceso de vibración en el rango de velocidad	La bomba debe ser desarmado. Primero revise el equilibrio dinámico del

	<p>impulsor (se puede utilizar ISO 2373/BS4999 parte 142/IEC.42 o ISO 1940 para guía).</p> <p>A continuación, compruebe todos los componentes de la bomba de "estropear" y rebabas - son la causa principal de ensamblaje incorrecto. Durante el montaje, verifique lazos concéntricos mediante la medición total de descentramiento indicada (TIR) con un comparador. Comprobar el cumplimiento de los dibujos.</p> <p>A continuación, repita la prueba.</p>
La vibración excesiva a velocidad nominal	<p>Compruebe cálculos de velocidades críticas del fabricante. La primera velocidad crítica debe ser un mínimo de 15-20 por ciento por encima de la velocidad nominal. Luego no todos los controles que se muestran arriba. Es importante describir cuidadosamente la vibración que usted ve. Los altos niveles de vibración en la frecuencia discreta, rotación es una causa de preocupación. Una firma de vibración aleatoria es más probable que sea debido a los efectos de la turbulencia del fluido.</p>
Los niveles de ruido por encima de los niveles de garantía de aceptación	<p>Bomba de ruido difícil de medir porque está enmascarada por el ruido del flujo de fluido desde el banco de pruebas. Tenga esto en cuenta. Si los niveles de ruido son acompañados por las vibraciones, es necesario un stripdown y vuelva a probar.</p>

Fuente: Handbook of mechanical works inspection, 2001. 311-316p.