

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



**“ANÁLISIS DE FALLAS DE LOS SELLOS MECÁNICOS EN LAS
BOMBAS DE PROCESO DE UNA PLANTA CERVECERA”**

**Presentado Por:
Marigré Córdova Aliendres**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

INGENIERO MECÁNICO

Barcelona, Abril 2009

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



**“ANÁLISIS DE FALLAS DE LOS SELLOS MECÁNICOS EN LAS
BOMBAS DE PROCESO DE UNA PLANTA CERVECERA”**

ASESORES

Prof. Luis Martínez
Asesor Académico

Ing. Hernán Méndez
Asesor Industrial

Barcelona, Abril 2009

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



**“ANÁLISIS DE FALLAS DE LOS SELLOS MECÁNICOS EN LAS
BOMBAS DE PROCESO DE UNA PLANTA CERVECERA”**

JURADO

El Jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

EXCELENTE


Prof. Luis Martínez
Asesor Académico

Prof. Darwin Bravo
Jurado Principal

Prof. Luís Griffith
Jurado Principal

Barcelona, Abril 2009

RESOLUCIÓN

The logo of the Universidad de Oriente, Venezuela, is a circular emblem. It features a central eight-pointed star with a vertical and horizontal axis. The star is set against a light blue background. Surrounding the star are several yellow elliptical orbits, similar to the Bohr model of an atom. The entire emblem is enclosed within a red outer ring. The words "UNIVERSIDAD DE ORIENTE" are written in yellow capital letters along the top inner edge of the red ring, and "VENEZUELA" is written along the bottom inner edge. Two small yellow asterisks are positioned on the left and right sides of the bottom edge of the red ring.

De acuerdo con el artículo 44 del Reglamento de Trabajo de Grado “Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

DEDICATORIA

A mi Dios, por estar siempre a mi lado, por ser el principal acompañante durante mi carrera, por enseñarme en muchas oportunidades cosas realmente importante en la vida y brindarme a diario fuerza y apoyo en los momentos cuando más lo necesite.

A mis padres por ser pilares fundamentales en mi vida; A ti mamá por brindarme tus más sabios consejos, por darme fuerzas y animar mi espíritu cada vez que decaigo, por enseñarme a amar y por estar a mi lado en cada uno de mis triunfos y fracasos. A ti papá por tus sabias y oportunas orientaciones, por tu esfuerzo y empeño en el logro de mis metas, por estar siempre al cuidado de mí a pesar de la distancia. Gracias por elegirme como su hija, ustedes son lo máximo y no los cambio por nada en el mundo. Los amo.

A ti tío Enmanuel, porque en todo momento estuviste pendiente de mi, tanto de mi carrera como de mi vida personal, porque con tu ayuda guiada por la mano de Dios, me impulsaste a seguir adelante y a levantarme en momento difíciles. Gracias por tu amor, espero no defraudarte. Te quiero.

A la memoria de mi abuela Luisa y tío Luís que desde allá arriba bendicen este logro.

A mi hermano Pedro Luis por su apoyo incondicional y por escucharme siempre.

A mis amigos: José Enrique, Luis Gabriel, Giovanny, Angel, Ronny, Daniela, Beylu, María Eugenia, Joana, Jesus, Dublan, Rubén y Luis. Gracias a todos.

AGRADECIMIENTOS

Para mí y mi familia ha sido una gran bendición el haber llegado a culminar una parte muy importante de mi vida, persiguiendo un sueño y anhelando un gran conocimiento para mi fortalecimiento académico, no lo hubiera podido lograr, claro está sin la ayuda de aquellos que estuvieron a mi lado en constante esfuerzos para que todo me saliera lo mejor posible. Gracias.

Agradezco a mi Dios por darme la bendición y la fuerza para siempre ir hacia delante.

A mi asesor, profesor Luís Martínez, por su amistad, su orientación, su esfuerzo y su empeño por guiarme siempre en el camino de la excelencia.

A Elizabeth, por su orientación y apoyo incondicional. Sé que celebras sinceramente este logro.

A Rodolfo Silvagni y a su familia, por haber estado y haber hecho más fácil buena parte del transitar hacia esta meta.

A la Universidad de Oriente, por brindarme la oportunidad del conocimiento en las cátedras que resultan necesarias para la formación de una carrera profesional.

A Empresas Polar C.A, por haberme permitido realizar esta experiencia de aprendizaje. Al ingeniero Hernán Méndez y a los señores: Guillermo Cardivillo, Carlos Moya, Erasmo García, Juan Guaina, Robert Marín, Bernardo Marcano, Carlos Marcano y a todo el personal de mantenimiento por su colaboración.

RESUMEN

Esta investigación se realizó con la finalidad de obtener las causas de fallas de los sellos mecánicos en las bombas centrífugas de proceso de la planta Cervecería Polar C.A, ubicada en el sector Ojo de Agua en Barcelona, estado Anzoátegui. Mediante el sistema de mantenimiento SAP R/3 se obtuvo el historial de fallas por sellos mecánicos ocurridas en las bombas centrífugas, registrados en la empresa durante los últimos tres (3) años. Para desarrollar este análisis se aplicó la metodología del Principio de Pareto con el objetivo de determinar las bombas que presentaban la más alta frecuencia de falla por sellos mecánicos, que impactaban considerablemente en los costos de producción y se aplicó la metodología de análisis Causa-Efecto, con el objeto de determinar las causas de las fallas de los sellos mecánicos. Las causas principales fueron: mala instalación, manejo inapropiado de los componentes del sello mecánico, ajuste incorrecto de los muelles e incompatibilidad de los materiales constitutivos del sello mecánico con el flujo bombeado. Para verificar las causas de las fallas de los sellos mecánicos se recopiló la información de las condiciones operativas del equipo; la aplicación de ensayos mecánicos, como test elastomérico, medición de las deformaciones de los muelles; verificación de los procedimientos de parada y arranque, y basándose en los resultados obtenidos, se propusieron medidas que permitieran la disminución de tales fallas y se elaboró un manual de instalación e inspección de los sellos mecánicos.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xv
GLOSARIO DE TÉRMINOS	xvii
CAPÍTULO I	20
INTRODUCCIÓN	20
1.1 Reseña Histórica de la Empresa	20
1.1.1 Cervecería Polar C.A. - Planta Oriente	22
1.1.2 Estructura Organizativa.....	23
1.2 Planteamiento del Problema	24
1.3 Objetivos	26
1.3.1 General	26
1.3.2 Específicos	26
CAPÍTULO II	28
MARCO TEÓRICO	28
2.1 Antecedentes	28
2.2 Proceso de Elaboración de la Cerveza y Maltín.....	29
2.2.1 Materias Primas.....	29
2.2.2 Etapas del Proceso Cervecerero	30
2.2.2.1 Recepción y Almacenamiento	30
2.2.2.2 Cocimiento	32
2.2.2.2.1 Molino.....	32

2.2.2.2.2 Mezcla y Maceración	32
2.2.2.2.3 Filtración del Mosto	32
2.2.2.2.4 Hervida.....	32
2.2.2.2.5 Clarificación y Enfriamiento.....	33
2.2.2.3 Fermentación y Maduración	33
2.2.2.4 Filtración	34
2.2.2.5 Llenado de tanques de gobierno.....	34
2.3 Definición y Clasificación de las Bombas	34
2.3.1 Clasificación General de las Bombas.....	35
2.3.2 Clasificación de las Bombas Centrífugas (Rotodinámicas)	35
2.3.3 Elementos Constitutivos de las Bombas Centrífugas	36
2.4 Sello Mecánico	38
2.4.1 Elementos que Constituyen un Sello Mecánico.....	38
2.4.2 Clasificación de los Sellos Mecánicos	39
2.4.3 Materiales de Construcción de los Sellos Mecánicos	40
2.4.4 Características de los Elastómeros Más Utilizados.....	40
2.4.4.1 Perbunan o Caucho de Butadieno de Nitrilo (NBR).....	41
2.4.4.2 Etileno Propileno o Caucho del Propileno del Etileno (EPM, EPDM) 42	
2.4.4.3 Buna o Caucho Butílica (IIR)	43
2.4.4.4 Vitón o Caucho del Fluorocarbon.....	44
2.4.5 Causas Comunes de Falla en los Sellos Mecánicos	46
2.4.5.1 Manipulación Impropia de los Componentes del Sello	46
2.4.5.2 Montaje Incorrecto del Sello.....	46
2.4.5.3 Selección Impropia del Diseño	47
2.4.5.4 Procedimientos Impropios de Arranque y de Operación	47
2.4.5.5 Contaminantes dentro del fluido.....	48
2.4.5.6 Malas condiciones del equipo:.....	48
2.5 Falla.....	48
2.5.1 Análisis de Fallas	49

2.5.2 Técnicas para Determinar las Fallas y Sus Causas	49
2.5.2.1 Principio de Pareto	49
2.5.2.2 Análisis Causa-Efecto (Espina de pescado / Diagrama de ishikawa)...	51
CAPÍTULO III.....	53
DESARROLLO DEL TRABAJO	53
3.1 Desarrollo del Trabajo.....	55
3.1.1 Revisión Bibliográfica	55
3.1.2 Inventario de Bombas y Sellos Mecánicos	55
3.1.3 Determinación de las Bombas Críticas en Función de la Frecuencia de Falla del Sello Mecánico.....	57
3.1.4 Clasificación de las Bombas Críticas Determinadas, por el Principio de Pareto	58
3.1.5 Determinación de las Causas de Fallas de los Sellos Mecánicos Aplicando el Diagrama de Causa-Efecto	58
3.1.6 Propuesta de Acciones y Lineamientos para la Disminución de la Frecuencia de la Falla	65
3.1.7 Elaboración del Manual de Instrucciones e Inspección para el Mantenimiento de los Sellos Mecánicos.....	65
3.2 Equipos, Materiales, Sustancias y Herramientas Utilizadas	66
3.2.1 Equipos.....	66
3.2.2 Herramientas (Software).....	66
3.2.3 Materiales.....	67
3.2.4 Sustancias.....	67
CAPÍTULO IV	68
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	68
4.1 Resultado del Inventario de las Bombas de Procesos con sus Características Técnicas y de Operación, a Través del Sistema SAP R/3 de la Empresa	68
4.2 Resultados de la Determinación de las Bombas Críticas, en Función de la Frecuencia de Falla del Sello, Aplicando el Principio de Pareto	70

4.3 Resultado de la Clasificación de las Bombas Críticas en Cada Área, en Función del Producto que se Maneja en la Elaboración de Cerveza y Maltín.	74
4.4 Resultados de la Verificación de las Hipótesis como Causas de las Fallas	77
4.4.1 Falla de Fractura en las Caras del Sello Mecánico	77
4.4.1.1 Material	79
4.4.1.2 Dimensiones	81
4.4.1.3 Mano de Obra	82
4.4.1.4 Métodos	84
4.4.1.5 Equipo	85
4.4.1.6 Medio de Operación	86
4.4.2 Falla de Desgaste del Fuelle Elastomérico en el Sello Mecánico	89
4.4.2.1 Material	91
4.4.2.2 Dimensiones	91
4.4.2.3 Mano de Obra	91
4.4.2.4 Métodos	92
4.4.2.5 Equipo	92
4.4.2.6 Medio de Operación	92
4.4.3 Falla de Adherencia de Partículas en el Sello Mecánico	95
4.4.3.1 Material	96
4.4.3.2 Dimensiones	97
4.4.3.3 Mano de Obra	97
4.4.3.4 Métodos	98
4.4.3.5 Equipo	98
4.4.3.6 Medio de Operación	98
4.4.4 Falla de Desgaste o Rayado en las Caras del Sello Mecánico	101
4.4.4.1 Material	102
4.4.4.2 Dimensiones	103
4.4.4.3 Mano de Obra	103
4.4.4.4 Métodos	103

4.4.4.5 Equipo	104
4.4.4.6 Medio de Operación.....	104
4.5 Resultado de las Propuestas de Acciones y/o Lineamientos para la Disminución de la Frecuencia de Fallas en los Sellos Mecánicos, en Función de las Causas Determinadas en el Análisis Anterior.....	106
4.5.1. Fractura en las caras de los sellos mecánicos.....	106
4.5.2. Desgaste del Fuelle Elastomérico del Sello Mecánico	107
4.5.3. Adherencia de Partículas en el Sello Mecánico	110
4.5.4. Rayado en las Caras del Sello Mecánico	110
4.6 Resultado del Manual de Instrucciones para el Manejo, Instalación e Inspección Necesaria Durante el Mantenimiento de los Sellos Mecánicos de las Bombas de Procesos de la Planta.....	111
CAPÍTULO V.....	112
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	112
5.1 Conclusiones	112
5.2 Recomendaciones.....	114
BIBLIOGRAFÍA.....	1
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....	180

LISTA DE TABLAS

Tabla	Título
N° 2.1	Materias primas para la elaboración de la cerveza.
N° 4.1	Distribución por áreas de las bombas presentes en la elaboración de la cerveza (cocimiento, filtración y fermentación).
N° 4.2	Bombas clasificadas por orden descendente de acuerdo a la ocurrencia de fallas debidas al sello mecánico.
N° 4.3	Frecuencia de falla y porcentaje acumulado de las bombas, debido al sello mecánico.
N° 4.4	Clasificación de las bombas críticas por cada área de elaboración de cerveza y malta.
N° 4.5	Características de los sellos utilizados por las bombas críticas determinadas por el diagrama de Pareto.
N° 4.6	Comparación de las características de operación de los sellos mecánicos MG1, M37G y CARTEX, utilizados para la propuesta de cambio del tipo de sello mecánico.
N° A.1	Inventario de las 51 bombas con sus especificaciones técnicas utilizadas en el proceso de cocimiento en la elaboración de la cerveza y malta.
N° A.2	Inventario de las 26 bombas con sus especificaciones técnicas utilizadas en el proceso de fermentación en la elaboración de la cerveza y malta.
N° A.3	Inventario de las 42 bombas con sus especificaciones técnicas utilizadas en el proceso de filtración en la elaboración de la cerveza y malta.

- N° A.4 Inventario de los tipos de sellos mecánicos usados por las bombas en la elaboración de la cerveza y malta.
- N° A.5 Resumen de las bombas con las respectivas cantidades de fallas causadas por los sellos mecánicos en el área de Cocimiento, Fermentación y Filtración.
- N° A.6 Grupo de 13 bombas con 3 fallas en el sello mecánico durante 3 años.
- N° A.7 Grupo de 21 bombas con 2 fallas en el sello durante 3 años.
- N° A.8 Grupo de 28 bombas con 1 falla en el sello mecánico durante 3 años.

LISTA DE FIGURAS

Figura	Título
Nº 1.1	Ubicación geográfica de Cervecería Polar C.A, Planta Oriente.
Nº 1.2	Organigrama de Cervecería Polar C.A. - Planta Oriente.
Nº 2.1	Dibujo esquemático de los procesos utilizados en la elaboración de la cerveza.
Nº 2.2	Clasificación de las bombas centrífugas.
Nº 2.3	Elementos constitutivos de una bomba centrífuga.
Nº 2.4	Elementos que constituyen un sello mecánico.
Nº 2.5	Clasificación de los sellos mecánicos convencionales.
Nº 2.6	O-ring (anillo elastomérico) de sección transversal circular.
Nº 2.7	Representación del esquema del Diagrama de Pareto.
Nº 2.8	Representación del esquema de un Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa).
Nº 3.1	Diagrama de bloques de la metodología empleada en el trabajo de grado.
Nº 3.2	Diagrama de Causa-Efecto utilizado para verificar las fallas en los sellos mecánicos.
Nº 3.3	Modelo del instrumento (tester elastomérico) para determinar el material de los o-rings de los sellos mecánicos.
Nº4.1	Diagrama de Pareto para determinar las bombas críticas en función de la frecuencia de fallas del sello mecánico.
Nº4.2	Muestras de la fractura en las caras del sello mecánico.
Nº 4.3	Diagrama de causa-efecto (Ishikawa) con las hipótesis que se evaluarán de la falla: fractura en las caras.

- N°4.4 Muestra del distanciador colocado a la bocina del eje de la bomba para obtener la longitud operacional correcta y evitar la fractura de las caras del sello mecánico.
- N°4.5 Diagrama causa-efecto con las hipótesis descartadas y consideradas de la falla: fractura en las caras en el sello mecánico.
- N°4.6 Muestra del desgaste del fuelle elastomérico.
- N°4.7 Diagrama causa-efecto (Ishikawa) con las hipótesis que se evaluarán de la falla: desgaste del fuelle elastomérico en el sello mecánico.
- N°4.8 Diagrama causa-efecto con las hipótesis descartadas y consideradas de la falla: desgaste del fuelle elastomérico en el sello mecánico.
- N°4.9 Muestras del material adherido a los componentes del sello mecánico.
- N°4.10 Diagrama causa-efecto (Ishikawa) con las hipótesis que se evaluarán de la falla: adherencia de partículas en el sello mecánico.
- N°4.11 Diagrama causa-efecto con las hipótesis descartadas y consideradas de la falla: adherencia de partículas en el sello mecánico.
- N°4.12 Muestra de la falla de desgaste y rayado de las caras en el sello mecánico.
- N°4.13 Diagrama causa-efecto (Ishikawa) con las hipótesis que se evaluarán de la falla: rayado en las caras del sello mecánico.
- N°4.14 Diagrama causa-efecto con las hipótesis descartadas y consideradas de la falla: rayado en las caras del sello mecánico.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Cebada Malteada: es la materia prima por excelencia utilizada para la elaboración de la cerveza. La cebada tal y como se cosecha, no es apta para la producción cervecera, debe someterse a un proceso de germinación controlada para ser transformada en cebada malteada.

CIP (Cleaning in Place): sistema de limpieza en sitio de equipos y tuberías, que consiste en lavar con agua caliente y cierta cantidad de detergente los equipos y tuberías empleados en los distintos procesos o etapas de la elaboración de la cerveza.

Cuba de Filtrar: equipo en el cual se extrae el líquido denominado mosto de la fracción insoluble conocida como afrecho o nepe.

Decanter de Trub: equipo en el cual se decanta el Trub para extraerle el mosto aun contenido en él.

Falla: la terminación de la capacidad del equipo para realizar la función requerida.

Historia de Mantenimiento: un registro histórico que muestra la reparación, refacciones, etc., que se emplea para documentar la planeación del mantenimiento.

Inspección: el proceso de medir, examinar, probar, calibrar o detectar de alguna otra forma cualquier desviación con respecto a las especificaciones

Levadura: es un microorganismo, que mediante el proceso de fermentación, convierte los azúcares producidos durante la maceración, en alcohol etílico, gas carbónico y compuestos aromáticos.

Lúpulo: es una planta trepadora de la cual sólo se emplea la flor de la planta femenina para la elaboración de la cerveza; le da el sabor amargo y fresco a la cerveza. Se cultiva principalmente en Alemania, Estados Unidos, República Checa e Inglaterra.

Mantenimiento: la combinación de todas las acciones técnicas y acciones asociadas mediante las cuales un equipo o un sistema se conservan o repara para que pueda realizar sus funciones específicas.

Mantenimiento Correctivo: el mantenimiento que se realiza después que ocurre una falla y que pretende restablecer el equipo a un estado en el que pueda realizar la función requerida.

Mantenimiento Preventivo: el mantenimiento realizado a intervalos predeterminados o con la intención de minimizar la probabilidad de falla o la degradación del funcionamiento del equipo.

Mantenimiento Programado: es el mantenimiento preventivo realizado a un intervalo de tiempo predeterminado o después de cierto número de operaciones, kilometraje.

Mosto: líquido transparente, con un aroma maltoso característico y un sabor dulce que contiene un conjunto complejo de sustancias insolubles y en suspensión de los ingredientes (cebada malteada y adjuntos).

Nepe: fracción insoluble, rica en proteínas y fibras, obtenidas durante la separación del mosto de la cebada malteada y adjuntos en la cuba de filtrar.

Orden de Trabajo: es una instrucción por escrito que especifica el trabajo que debe realizarse, incluyendo detalles sobre refacciones, requerimientos de personal.

O-rings: es un anillo con una sección transversal circular hecho de un elastómero apropiado, con las tolerancias apropiadas y con una alta calidad de la superficie.

Paila de Hervir: equipo en el cual, mediante vapor, se hace hervir el mosto con una cierta cantidad de lúpulo.

Paila de Mezcla: equipo donde se lleva a cabo la maceración, es decir, donde se convierten los carbohidratos del arroz o maíz en azúcares fermentables.

Paila de Pre-Mezcla: equipo donde se realiza la mezcla en proporciones apropiadas de la cebada malteada y adjuntos (arroz y maíz).

Rotapool: tanque utilizado para clarificar el mosto una vez hervido y separarlo del líquido denominado Trub.

Sello mecánico: es un dispositivo de sellado que previene el escape del fluido de un equipo, el cual atraviesa un eje rotativo realizando el sellado por contacto axial de sus caras que se encuentran perpendiculares al eje y en movimiento relativo una respecto a la otra.

Trub: líquido de aspecto turbio, producto de la coagulación de las proteínas del mosto durante su cocción en las pailas de hervir.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Generalidades

El presente capítulo advertirá las generalidades y conceptos relacionados con la investigación de las fallas de los sellos mecánicos en bombas centrífugas horizontales utilizadas en el proceso de elaboración de cerveza y malta en la empresa Cervecería Polar C.A. Se hará una breve reseña histórica de la empresa; se abordará el planteamiento del problema y finalidad del estudio; y los objetivos trazados para alcanzar la solución del mismo.

1.1 Reseña Histórica de la Empresa

Lorenzo Alejandro Mendoza Fleury, socio mayoritario de la firma familiar Mendoza & Compañía dedicada desde 1855 a fabricar jabones, decide en 1938 ampliar los límites del negocio, dando luz verde al proyecto para establecer una industria cervecera. Fue en la pequeña parroquia de Antímano de Caracas donde se forjaron los cimientos de una empresa, que ya desde el mismo momento en que se plasmó como proyecto, estaba pensada y destinada a convertirse en una de las principales empresas del país. Así nace Polar, con la visión futurista y el ánimo emprendedor de sus fundadores. El acta constitutiva de Cervecería Polar C.A, se firma el 13 de Marzo de 1941, y se registra el 14 de marzo del mismo año.

Un año después, llega a Venezuela el maestro Carlos Roubicek, quien desarrolló una fórmula "tropicalizada", adaptando la Cerveza Polar con fuerte característica europea a un producto único, apropiado al gusto del consumidor venezolano y a las condiciones climáticas locales. En 1945 Cervecería Polar se

convierte en la cervecería más moderna y mecanizada de América Latina, tras realizar mejoras y ampliaciones en sus instalaciones. Luego en 1948 se crea la Distribuidora Polar S.A., para dar más agilidad a la venta en el área capital.

En un tiempo relativamente corto, y estimulada por el aumento de la demanda, Polar responde a las exigencias del mercado, proyectando la creación de otras plantas cerveceras. En 1950 se inaugura Cervecería de Oriente C.A, en Barcelona, estado Anzoátegui, para cubrir la demanda de los mercados de Nueva Esparta, Sucre, Monagas y Anzoátegui. En 1951 emerge la moderna Planta Los Cortijos, en sustitución de la de Antímamo, que realiza su primer cocimiento el 8 de abril. En 1960 inicia la producción Cervecería Modelo C.A., en Maracaibo, para abastecer la demanda generada en los estados andinos y Zulia. Y en 1975, empieza a funcionar Cervecería Polar del Centro C.A, en San Joaquín, estado Carabobo, para satisfacer la demanda en aumento de nuestros productos en la zona central. Ésta es la primera cervecería del mundo equipada para realizar los procesos de fermentación y maduración en los mismos tanques cilindro-cónicos.

Hoy en día, estas cuatro plantas ubicadas estratégicamente en Barcelona (Cervecería Polar C.A. - Planta Oriente), Caracas (Cervecería Polar C.A - Planta Los Cortijos), San Joaquín (Cervecería Polar C.A. - Planta del Centro) y Maracaibo (Cervecería Polar C.A. - Planta Modelo), hacen de Cervecería Polar C.A., la más grande compañía productora de cerveza y malta del país. Con una producción mensual global que supera los 135 millones de litros de producto de gran variedad y excelente calidad, es capaz de cumplir con el amplio y exigente mercado nacional e internacional.

1.1.1 Cervecería Polar C.A. - Planta Oriente

Cervecería Polar de Oriente, C.A., forma parte de la Unidad Estratégica de Negocio de Cerveza y Malta de Empresas Polar (UENC&M). Se encuentra ubicada en la Carretera Negra Km. 15 Sector Ojo de Agua, Barcelona-estado Anzoátegui, Venezuela y ocupa un área aproximada de 30 hectáreas. En la Figura 1.1 se muestra la ubicación geográfica de la Planta Oriente.



Figura N° 1.1. Ubicación geográfica de Cervecería Polar C.A, Planta Oriente [3]

En 1950, Cervecería Polar de Oriente C.A. comienza sus operaciones, cubriendo los mercados de Nueva Esparta, Sucre, Monagas y Anzoátegui, con capacidad inicial instalada de 500 mil litros al mes y 57 trabajadores y contaba con una sola línea de envasado y los primeros envases fueron el botellón y la media jarra. Debido al crecimiento de la demanda del producto y al avance tecnológico, que exigía cada vez, modernizar los equipos de producción, hoy la planta cuenta con

nueve líneas de envasado y tiene una producción mensual promedio de 28 millones de litros, en sus nuevos envases de botellas retornables, no retornables y latas.

1.1.2 Estructura Organizativa

A continuación, se muestra el organigrama en la Figura 1.2 donde se presentan las principales gerencias que conforman Cervecería Polar C.A. - Planta Oriente, desde la Gerencia General hasta llegar a la Gerencia de Elaboración.

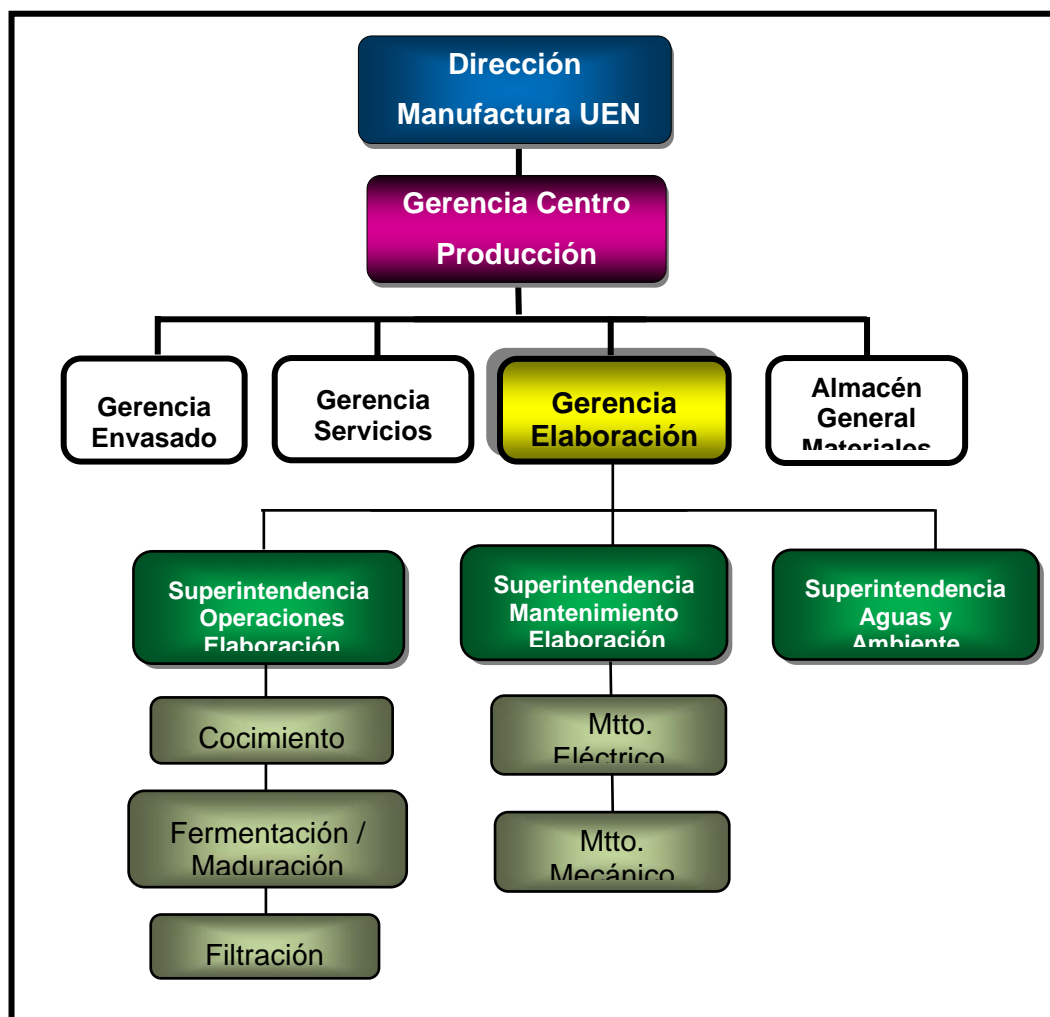


Figura N° 1.2 Organigrama de Cervecería Polar C.A. - Planta Oriente
[Fuente propia]

La Gerencia de Elaboración es la responsable de coordinar todo el proceso de elaboración de los productos de cerveza y malta, desde la recepción de materia prima y a través de las sucesivas etapas de cocimiento, fermentación, maduración, control de calidad y tratamiento de aguas.

Para cumplir con sus objetivos, la Gerencia de Elaboración tiene una estructura compuesta por: las Superintendencias de Elaboración: Operaciones, Mantenimiento y Aguas y Ambiente. Su objetivo es planificar, coordinar y dirigir el proceso de elaboración del mosto, de acuerdo a los lineamientos establecidos por la Gerencia de Elaboración; a fin de asegurar la disponibilidad del mosto en los tanques cilindros-cónicos en las condiciones de cantidad, calidad y oportunidad requerida. Asegurar que el proceso de cocimiento se efectuó dentro de los índices de calidad y productividad establecidos, garantizando el óptimo uso y aprovechamiento de la materia prima.

1.2 Planteamiento del Problema

En la producción de cerveza y malta se requiere del uso de una gran cantidad de equipos y maquinarias, siendo las bombas centrífugas uno de los equipos más importantes en la elaboración de las mismas. Estas bombas son las encargadas de desplazar el volumen de líquido hacia los diferentes procesos. Estos equipos han presentado fugas, generando pérdidas y condiciones de riesgo según el fluido que se esté manejando.

El sello mecánico es un dispositivo de sellado que previene el escape del fluido de un equipo; colocado en un eje rotativo, realiza el sellado por contacto axial de sus caras que se encuentran perpendiculares al eje y en movimiento relativo una respecto a la otra. Este dispositivo proporciona un gran rendimiento en el sellado durante largos períodos de tiempo, por lo que durante su período de trabajo sufre desgastes en

sus componentes y requiere de un mantenimiento o cambio total, dependiendo del daño presentado.

En la actualidad ha aumentado la ocurrencia de fallas de los sellos mecánicos, originando paradas en los equipos, pérdidas de los fluidos del proceso, penalizaciones de producción y pérdida de tiempo, lo cual se traduce en altos costos de mantenimiento por reparaciones, por consumo de materiales y repuestos y una mayor inversión en cantidad de horas-hombre. La Superintendencia de Mantenimiento de la Cervecería Polar C.A., Planta Oriente se encarga de establecer y cumplir con la aplicación de planes de mantenimiento preventivos y correctivos que permitan restituir y preservar las condiciones de operatividad de los equipos de la Planta.

Cervecería Polar C.A., Planta Oriente, consideró como punto primordial realizar el estudio de las fallas a los sellos mecánicos de las bombas de toda el área de elaboración de la cerveza y malta, para determinar la causa del deterioro prematuro de éstos, y aportar las posibles soluciones que permitan optimizar su desempeño.

La investigación se fundamenta en la evaluación de las fallas de los sellos mecánicos en bombas centrífugas horizontales de una etapa, que tienen como fluido de trabajo las diferentes sustancias utilizadas para la elaboración de cerveza y malta. Los sellos mecánicos presentan una vida útil de aproximadamente 1 año y 6 meses, según lo establecido por el fabricante, operando la bomba en condiciones óptimas. Para desarrollar este análisis se aplica la metodología del Principio de Pareto con el fin de analizar los datos del historial de las frecuencias de fallas de las bombas por sellos mecánicos del área de elaboración de cerveza y malta registrados durante tres (3) años a través del sistema de mantenimiento SAP R/3, de la empresa, y la metodología Análisis de Causa-Efecto (ACE) con el objeto de determinar las causas que afecten las fallas en los sellos mecánicos. Este análisis conlleva a la aplicación de ensayos mecánicos como test elastomérico, medición de las deformaciones de los

muelles; verificación de los procedimientos de arranque y de operación. También se contempla elaborar un manual que contenga la caracterización de las fallas detectadas, sus causas y formas de minimizar; las instrucciones para el manejo y la inspección necesaria durante el mantenimiento de los sellos.

La reducción de las ocurrencias de las fallas de los sellos mecánicos incide positivamente en la seguridad, costos, tiempo y consumo de la Planta, lo que refleja beneficios económicos para la empresa.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Analizar las fallas de los sellos mecánicos en las bombas de proceso de la Cervecería Polar C.A., Planta Oriente, mediante la aplicación de la metodología Causa-Efecto (ACE).

1.3.2 Específicos

1. Realizar el inventario de las bombas de procesos, con sus características técnicas y de operación, a través del sistema SAP R/3 de la empresa y la respectiva verificación en campo.
2. Determinar las bombas críticas, en función de la frecuencia de falla del sello, aplicando el Principio de Pareto.
3. Clasificar las bombas críticas en cada área, en función del producto que se maneja en la elaboración de Cerveza y Maltín.

4. Analizar las causas de las fallas críticas de los sellos, mediante la aplicación de la metodología Causa-Efecto (Ishikawa).
5. Proponer acciones y/o lineamientos para la disminución de la frecuencia de fallas en los sellos mecánicos, en función de las causas determinadas en el análisis anterior.
6. Elaborar un manual que contenga: la caracterización de las fallas detectadas, sus causas y formas de minimizar, las instrucciones para el manejo, instalación e inspección necesaria durante el mantenimiento de los sellos mecánicos de las bombas de procesos de la planta.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

A continuación se presenta un breve resumen de las investigaciones realizadas ante la Universidad de Oriente, que sirvieron de base, bien sea por su contenido o su metodología, para el desarrollo del trabajo de grado:

- En Julio de 2005, **MALAVE J., [1]** realizó un trabajo titulado **“Análisis de las causas que ocasionan las fallas en un motocompresor reciprocante”** como Trabajo de Grado en la Universidad de Oriente. Mediante la aplicación de un Diagrama de Causa-Efecto concluye que la causa primordial para que fallen los cilindros compresores, radica en la diferencia de temperatura considerable que existe entre la camisa y el cilindro compresor. La alta temperatura a la que se encuentran sometidos los cilindros compresores, además del desgaste de los asientos es la principal causa del desgaste severo y continuo en las válvulas de succión y descarga; provocando filtraciones en éstas, que conllevan inclusive a la rotura de las mismas. El análisis precedente fue realizado mediante un diagrama Causa-Efecto. Tenemos pues, que la similitud del presente trabajo de grado se expresa en cuanto a la metodología empleada y la confiabilidad que este proporciona en la búsqueda de las fallas. Existe sin embargo, la diferencia en cuanto al sistema mecánico analizado entre los dos trabajos: sellos mecánicos y motorcompresor reciprocante.
- En Septiembre de 1999, **JAIME N., [2]** realizó un trabajo titulado **“Diseño y construcción de anillos de desgaste para bomba centrífugas”** como Trabajo de Grado en la Universidad de Oriente. En este trabajo de pasantía, se

llegó a la conclusión, que con la innovación de un anillo de desgaste dependiente de holguras axiales se evitan las fugas intersticiales en la parte de la succión de la bomba, registrando un aumento de caudal bombeado y una baja probabilidad de producir el fenómeno de cavitación en el intersticio carcasa-impulsor. Al haber aumentado la eficiencia del equipo, éste se refleja en el aumento de producción, lo que repercute favorablemente en los costos por producción. Los criterios que utilizó el autor para diseñar el anillo de desgaste en el trabajo anteriormente referido sirven de aporte para evaluar y aplicar el diseño apropiado de un anillo de desgaste, pieza fundamental en los sellos mecánicos; así como también aportar soluciones en la reducción de costos, asociados a fallas.

2.2 Proceso de Elaboración de la Cerveza y Maltín

2.2.1 Materias Primas

Las materias primas esenciales para el proceso son: la cebada malteada, hojuelas de maíz, agua, lúpulo y levadura. Se utilizan cebada de malteo de tipo hexística de seis hileras (6H) y dística de dos hileras (2H), siendo ésta última más gruesa y con una cáscara más ajustada y delgada, que produce mayor cantidad de extracto, un color más claro y menos cantidad de enzimas que la hexística. El agua cervecera debe cumplir con unos requerimientos que van más allá de los que normalmente se exigen para el agua potable, es decir, se debe asegurar el debido PH, buena coagulación en la paila de cocción, sana fermentación y desarrollo del color y sabor de la cerveza terminada [3].

En la Tabla N° 2.1 se muestran las materias primas utilizadas en la preparación de la cerveza.

Tabla N° 2.1 Materias Primas para la elaboración de la Cerveza [**Fuente propia**].

Nombre	Aporte para la elaboración de la cerveza
Agua	Es el componente mayormente utilizado, por cada litro de cerveza se necesitan de 5 a 5,5 litros de este recurso.
Cebada Malteada	Aporta sus bondadosas cualidades, contribuyendo en gran parte al aroma, sabor, cuerpo y color del producto.
Lúpulo	Aporta el amargo característico de la cerveza y también contribuye a su conservación y permanencia de espuma.
Hojuelas de maíz	Sirve de complemento y suple en forma beneficiosa a la cebada malteada.
Levadura	Convierte los azúcares fermentables producidos durante la maceración, provenientes de la cebada malteada, en alcohol etílico, gas carbónico y compuestos aromáticos.

2.2.2 Etapas del Proceso Cervecerero

2.2.2.1 Recepción y Almacenamiento

La elaboración de la cerveza comienza con la recepción de la cebada malteada y de las hojuelas de maíz. La cebada malteada, proviene de los Estados Unidos, Alemania, Inglaterra y Francia. Es transportada hasta Venezuela en barcos que arriban al Puerto de Guanta, al Puerto de Maracaibo y a Puerto Cabello para abastecer a las diferentes plantas cerveceras. Las hojuelas de maíz son materias primas nacionales suministradas por las plantas de la Unidad Estratégica de Negocios de Alimentos. Cumplido el proceso de verificación de calidad y una vez aprobada la recepción de materia prima, se preparan los equipos de almacenaje, se verifica que los silos estén listos para recibir el producto.

En la figura N° 2.1 se observa un dibujo esquemático de los procesos utilizados en la elaboración de la cerveza comenzando con la recepción y el almacenamiento de la cebada, pasando por todos los procesos hasta finalizar su elaboración para posteriormente transferir la cerveza a las máquinas de envasado.

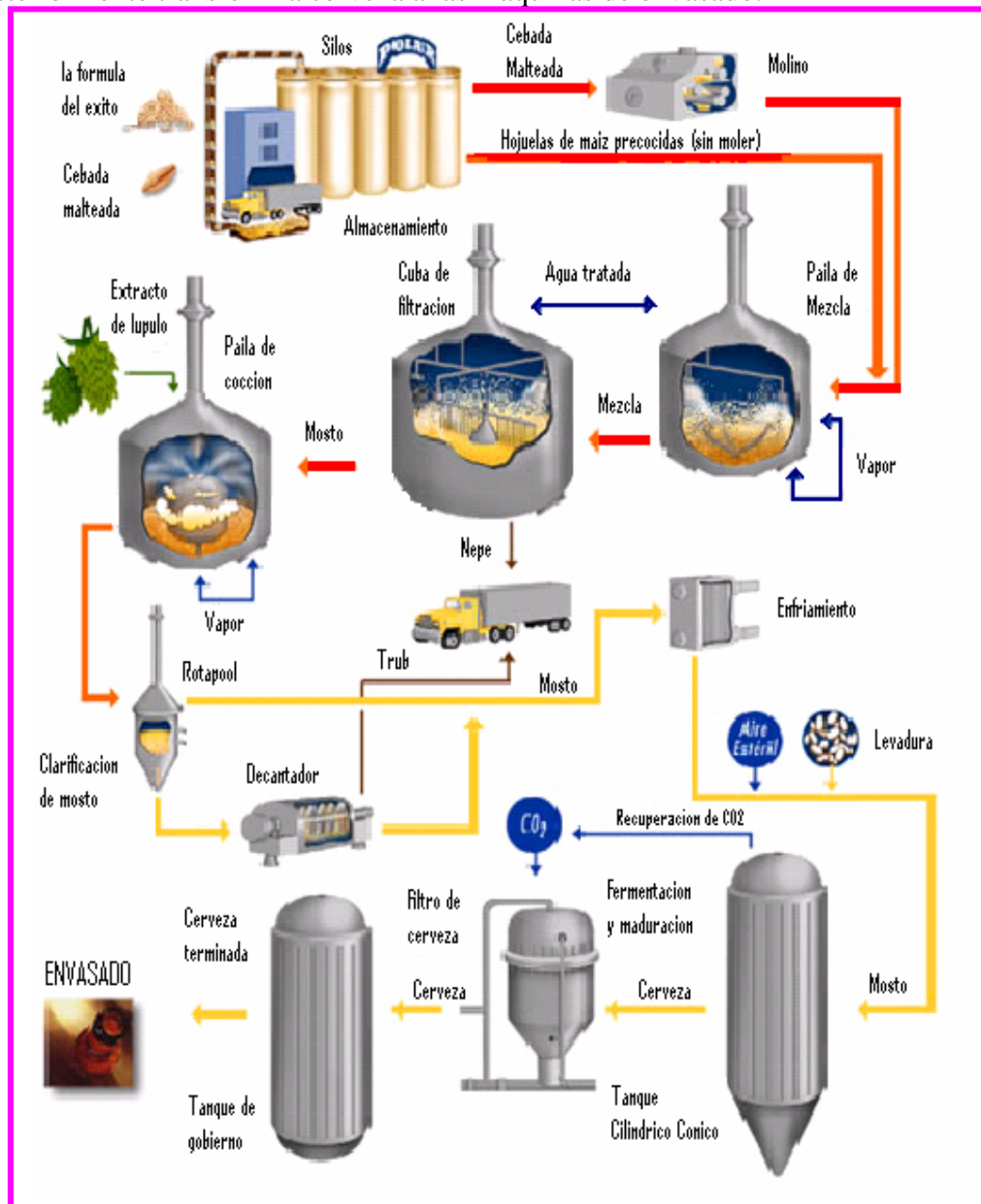


Figura N° 2.1 Dibujo esquemático de los procesos utilizados en la elaboración de la cerveza [4].

2.2.2.2 Cocimiento

2.2.2.2.1 Molino

La cebada malteada pasa por un molino, donde los granos son triturados para facilitar la extracción de sus componentes solubles. El molino está compuesto por una serie de rodillos que trituran los granos de cebada malteada transformándola en harina y sémola. [4]

2.2.2.2.2 Mezcla y Maceración

Una vez triturada la cebada malteada se envía a la paila de premezcla donde se va a unir con las hojuelas de maíz y el agua previamente tratada. En esta etapa los ingredientes permanecen el tiempo necesario para formar una mezcla totalmente homogénea antes de pasar a la maceración. Luego esta mezcla se envía a la paila de maceración donde permanece aproximadamente una hora y media en constante agitación a temperaturas que oscilan entre 55 y 78°C.

2.2.2.2.3 Filtración del Mosto

Luego se bombea la mezcla hacia la cuba de filtración, a fin de separar el líquido llamado mosto, de la parte sólida e insoluble, conocida como afrecho o nepe. Este proceso tiene una duración aproximada de 3 horas. El nepe que se extrae es un subproducto rico en proteínas y fibras, que tiene aplicación industrial, como valioso agregado en la fabricación de alimentos para animales.

2.2.2.2.4 Hervida

El mosto cervecero obtenido de la filtración, rico en azúcares, aminoácidos, vitaminas y minerales, es transferido a la paila de cocción, donde se lleva a punto de

ebullición para luego adicionarle el extracto de lúpulo, que impartirá el sabor amargo y aroma característico de la cerveza. Este proceso dura 1 hora y media.

2.2.2.2.5 Clarificación y Enfriamiento

Terminado ésto, el mosto pasa al Rotapool que es un tanque sedimentador para ser sometido al proceso de clarificación, el cual se logra a través de un movimiento de fuerzas centrífugas que separan la parte líquida de los sedimentos y partículas insolubles, tales como resina de lúpulo y complejos proteínicos no deseados en el producto terminado. Los sedimentos y las partículas insolubles provenientes del Rotapool son clarificados en el Decanter que es un tanque separador centrífugo, para recuperar el mosto que todavía queda mezclado, finalmente, el mosto obtenido en el Rotapool y el Decantador, es bombeado al área de enfriamiento donde mediante un intercambiador de calor se enfría hasta alcanzar una temperatura de 11°C.

2.2.2.3 Fermentación y Maduración

Este proceso se realiza en grandes tanques conocidos como Tanques Cilíndricos Cónicos (TCC), de acero inoxidable. A ellos se envía el mosto frío, aireado y con la levadura necesaria para comenzar con el proceso de la fermentación, ésto tarda un promedio de siete (7) días, durante los cuales la levadura actúa sobre los azúcares fermentables obtenidos de la maceración, para transformarlos en gas carbónico, alcohol etílico y gran número de compuestos aromáticos adicionales. El gas carbónico producido durante este proceso es recuperado, purificado y almacenado para posteriormente ser reinyectado a la cerveza o al maltín ya filtrados. Concluida la fermentación, la levadura se cosecha, pudiendo ser utilizada nuevamente hasta cinco (5) veces. Con la cosecha de la levadura, comienza la maduración de la cerveza, en los mismos tanques, durante dos (2) semanas. Periodo en el cual la cerveza se mantiene en reposo a una temperatura aproximada de -1°C.

2.2.2.4 Filtración

Este proceso se realiza en tanques que poseen pequeños cilindros o velas, donde se coloca tierra infusoria o tierra de diatomeas, constituida por microorganismos fósiles, cuyas características permiten realizar la filtración final de la cerveza; durante la filtración se agrega el volumen necesario de gas carbónico (CO₂), producido y recuperado durante la fermentación [4].

2.2.2.5 Llenado de tanques de gobierno

Los tanques de gobierno reciben la cerveza filtrada, carbonatada y corregida, y las mantiene a bajas temperaturas (aproximadamente -1,5 °C), para posteriormente transferir la cerveza a las máquinas de envasado, ya sea para llenado de latas o botellas. Son llamados tanques de gobierno debido a que en el trayecto entre los filtros y ellos, se encuentran medidores que registran la cantidad de cerveza producida diariamente. Basados en estos registros, el Ministerio de Hacienda determina los impuestos que Cervecería Polar C.A., debe cancelar al Fisco Nacional por concepto de producción de bebidas con contenido alcohólico. [3]

2.3 Definición y Clasificación de las Bombas

Una bomba es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye el líquido que la atraviesa en energía hidráulica. En general, una **bomba** es una máquina o dispositivo que se usa para mover un líquido incomprensible, por medio de la adición de energía al mismo.

Las bombas se emplean para impulsar toda clase de líquido: agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos; líquidos alimenticios: cerveza, leche, entre otras. Los líquidos alimenticios constituyen el grupo importante de las bombas sanitarias.

También se emplean las bombas para bombear líquidos espesos con sólidos en suspensión, como pastas de papel, melazas, fangos, desperdicios, etc.

2.3.1 Clasificación General de las Bombas

Las bombas se clasifican en:

a. Bombas Rotodinámicas: se llaman rotodinámicas porque su movimiento es rotativo y la dinámica de la corriente juega un papel esencial en la transmisión de la energía, su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler; y su órgano transmisor de energía se llama rodete. A este grupo pertenecen las bombas centrífugas.

b. Bombas de Desplazamiento Positivo: a este grupo pertenecen, no sólo las bombas alternativas, sino las rotativas llamadas rotoestáticas porque son rotativas, pero en ellas la dinámica de la corriente no juega un papel esencial en la transmisión de la energía. Su funcionamiento se basa en el principio de desplazamiento positivo, éste consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara.

2.3.2 Clasificación de las Bombas Centrífugas (Rotodinámicas)

En la figura 2.2 se representa la clasificación de las bombas centrífugas según la dirección del flujo, según la posición del eje y según el tipo de impulsor y cantidades empleados. [5]

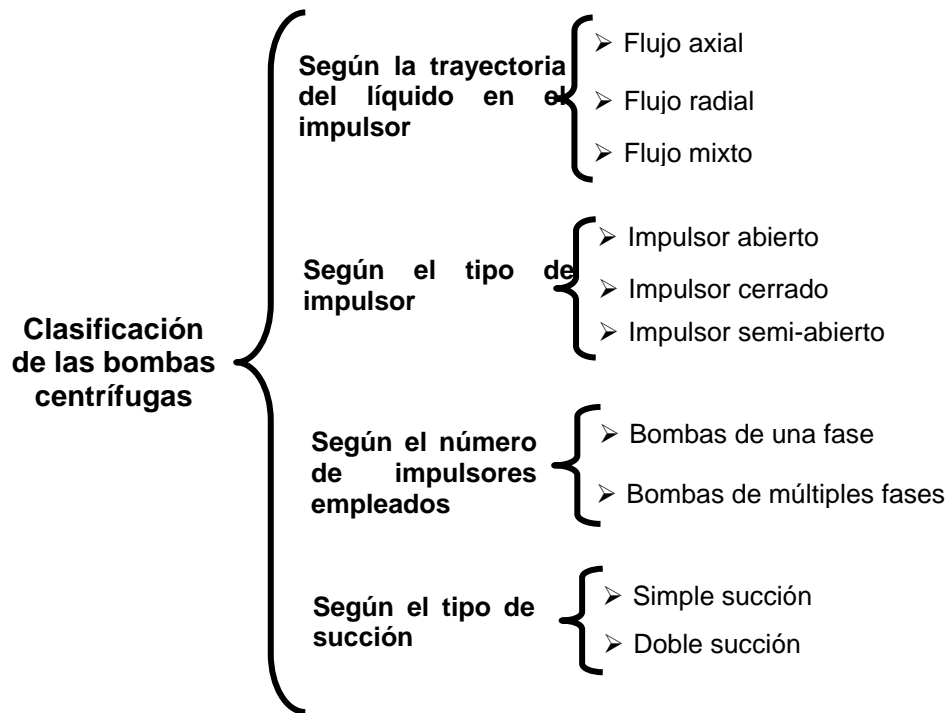


Figura N° 2.2 Clasificación de las bombas centrífugas. [Fuente propia]

2.3.3 Elementos Constitutivos de las Bombas Centrífugas

En la figura N° 2.3 se representa una bomba radial de eje horizontal, en el cual se muestran algunas partes básicas de una bomba centrífuga:

- **Carcasa:** se encarga de guiar el líquido hacia el impulsor, recoge el líquido del impulsor y reduce su velocidad transformando parte de ella en presión. Las carcasas son de dos tipos: de voluta y circular.
- **Impulsor:** es el corazón de la bomba centrífuga debido a que recibe el líquido y le imparte energía por la acción de sus aspas; es el único componente de la bomba que suministra energía al líquido.
- **Difusor:** porción de tubería que recoge al líquido que sale del impulsor, el mismo que aún conserva alta velocidad y puede dar alta fricción, pero

debido al aumento en el diámetro de esta porción de tubería (difusor) se reduce la velocidad del líquido (y la fricción).

- **Sellos:** la función de estos elementos es evitar las fugas del flujo bombeado a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba y el flujo de aire hacia el interior de la bomba.
- **Eje o flecha:** es el que permite que todos los elementos giren en la bomba centrífuga, mueve y sostiene al impulsor, transmitiendo además el movimiento que imparte la flecha del motor.
- **Cojinetes:** pieza en la que se apoya y gira el eje y el impulsor. Soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba. [5].

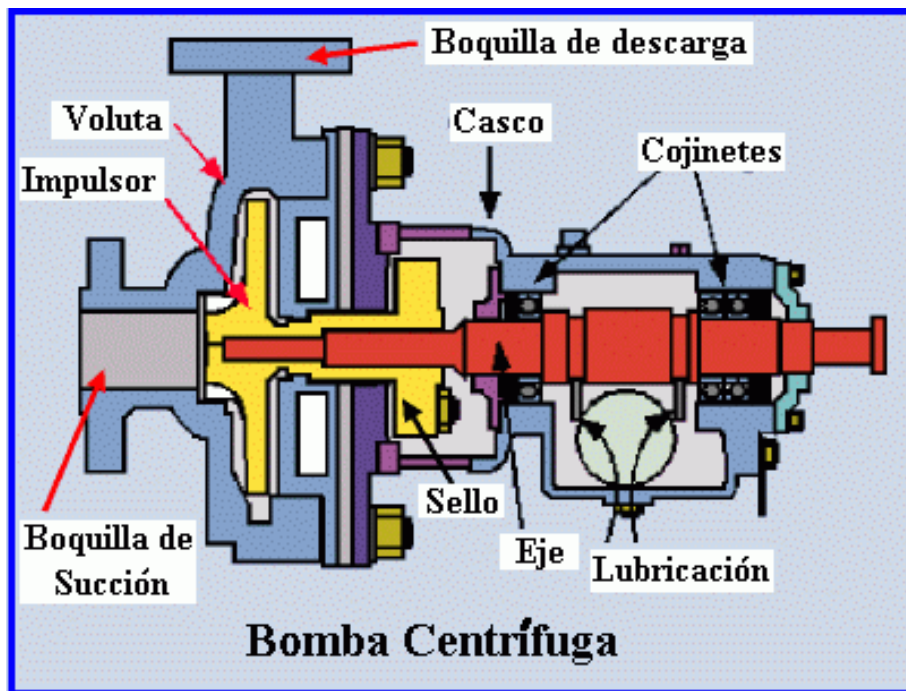


Figura N° 2.3 Elementos constitutivos de una bomba centrífuga [5].

2.4 Sello Mecánico

Es un dispositivo de sellado que previene el escape del fluido de un equipo, el cual atraviesa un eje rotativo realizando el sellado por contacto axial de sus caras que se encuentran perpendiculares al eje y en movimiento relativo una respecto a la otra.

2.4.1 Elementos que Constituyen un Sello Mecánico

El sello mecánico es un dispositivo técnicamente avanzado que proporciona un gran rendimiento en el sellado durante largos periodos de tiempo, esto es posible gracias a la concepción e interrelación de sus componentes que determinan una amplia variedad de diseño, como se muestra en la figura N° 2.4.

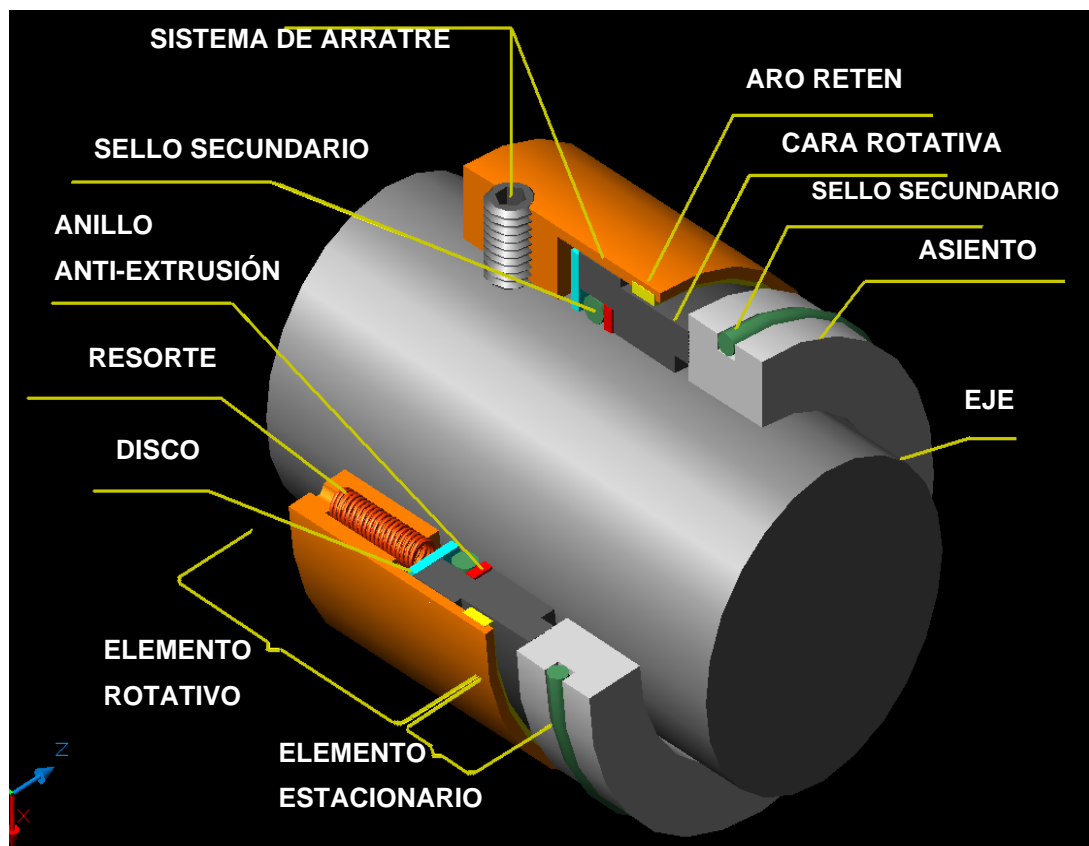


Figura N° 2.4 Elementos que constituyen un sello mecánico [6].

2.4.2 Clasificación de los Sellos Mecánicos

Sin tener en cuenta las diferencias particulares de los diferentes tipos de sellos mecánicos, éstos se pueden englobar en determinadas categorías por lo que se pueden clasificar por características de diseño o por su arreglo posicional como muestra el esquema de la figura N° 2.5. [6]

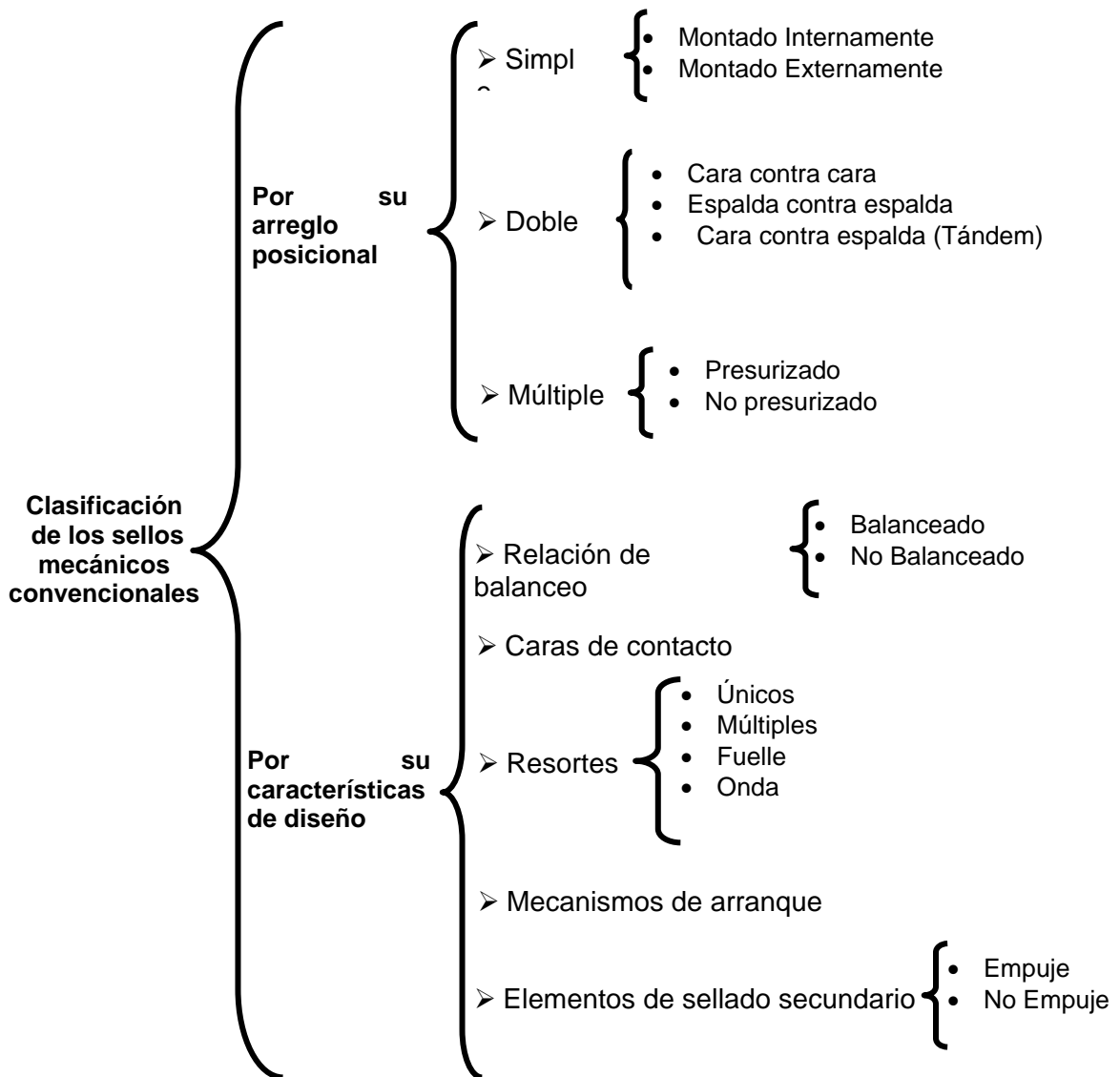


Figura N° 2.5 Clasificación de los sellos mecánicos convencionales [Fuente propia].

2.4.3 Materiales de Construcción de los Sellos Mecánicos

En un sello mecánico los materiales se escogen de acuerdo con la resistencia al líquido bombeado, a la temperatura y a la presión. El anillo de sellado primario se fabrica normalmente en carbón, aunque para servicios abrasivos se utiliza el carburo de tungsteno y el carburo de silicio.

Los asientos se fabrican en una amplia gama de materiales: ni-resist, cast-iron, cerámica, carburo de tungsteno, carburo de silicio, recubrimientos de dióxido de titanio y carburo de tungsteno sobre diversos metales como acero inoxidable, hastelloy, monel, etc. Los restantes componentes metálicos se fabrican en bronce, aceros inoxidables, monel, hastelloy, etc.

Las piezas elastoméricas se fabrican en acrílico nitrilo (buna), cloroprenos (neopreno), etileno propileno (epdm), fluoro carbonos (viton), bromo butil, etc., ya sea para o-rings o para fuelles. En aplicaciones críticas pueden suministrarse sellos con O-ring fabricados con elastómeros muy especiales como el Kalrez [6].

2.4.4 Características de los Elastómeros Más Utilizados

Los anillos O (O-rings) y formas moldeadas de elastómeros juegan una parte importante en la tecnología del sellado, ambos para moverse lentamente y para puntos de contacto estático. Aunque su precio es irrelevante, un fracaso de este componente tanto en unidades complejas, como en grupos hidráulicos como el sello mecánico, etc.; ocasionan averías e incluso una pérdida completa de su función. Generalmente, un O-rings es un anillo con un sección transversal circular hecho de un elastómero apropiado, con las tolerancias apropiadas y con una alta calidad de la superficie. La figura N° 2.6 muestra un ejemplo de este tipo de anillo. También se ofrecen varios tipos anillos con una geometría diferente, como anillos de sección rectangular o anillos de sección en la forma de una manga.

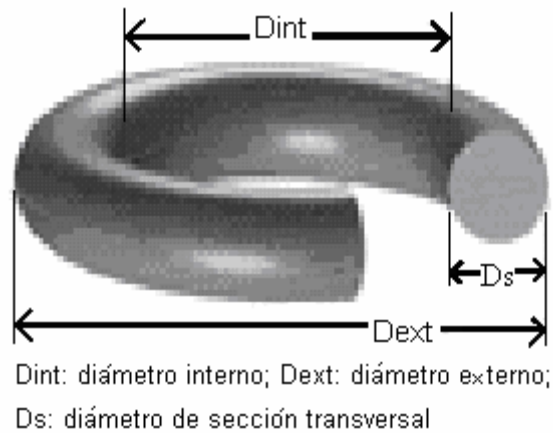


Figura N° 2.6 Anillo elastomérico (O-ring) de sección transversal circular [7].

A continuación se describen los tipos de anillos elastomericos (O-rings) más utilizados como componentes de los sellos mecánicos:

2.4.4.1 Perbunan o Caucho de Butadieno de Nitrilo (NBR)

El caucho de nitrilo (NBR) es la designación general para el copolímero prefijado. El porcentaje de acrilonitrilo varía con los productos técnicos entre 18 y 50 por ciento y tiene una influencia considerable en las propiedades del elastómero. Con un volumen alto de acrilonitrilo, la estabilidad para grasas y combustible se mejora, mientras la flexibilidad a baja temperatura, elasticidad y el juego de compresión son reducidos o deteriorados. NBR tiene buenas propiedades mecánicas y una alta resistencia a la abrasión. El listado siguiente muestra los diferentes nombres comerciales dados a estos anillos elastoméricos con sus respectivos fabricantes:

Nombres comerciales:	Fabricante:
Perbunan	BAYER AG
Hycar	B.F. GOODRICH CHEM
Chemigum	GOODYEAR
Krynac	POLYMER CORP
Elapim	MONTECATINI

a. Estabilidad química a:

- Los hidrocarburos alifáticos (propano, butano, gasolina, aceites minerales y grasas, el combustible del diesel, parafina (los aceites de combustible)).
- Las grasas vegetales y animales.
- Muchos diluidos ácidos, bases y soluciones salinas, a baja temperatura.
- El agua.

b. Ninguna estabilidad química a:

- Los hidrocarburos aromáticos (benceno).
- Los hidrocarburos tratados con cloro (tetracloruro del tricloroetileno).
- Solvente polares (acetona, cetonas, acetato del etileno).
- Los ácidos fuertes.
- Líquidos de frenos a base del glicol.
- Las influencias de ozono, tiempo e intemperie.

2.4.4.2 Etileno Propileno o Caucho del Propileno del Etileno (EPM, EPDM)

EPDM es un caucho producido por la copolimerización del etileno y del propileno. Es obtenido usando un tercer monómero, el caucho del dieno del propileno etileno, que particularmente tiene buenas características para los sellos en líquidos hidráulicos esteres en base de fosfato y aplicado extensamente en los sistemas de

frenos a base de glicol. El listado siguiente muestra los diferentes nombres comerciales dados a estos anillos elastoméricos con sus respectivos fabricantes:

Nombres comerciales:	Fabricante:
Buna	AP CHEM.HULS DE WERKE
Keltan	DSM
Epcar	B.F GOODRICH CHEM. CO.
Nordel	DU PONT
Dutral	MONTECATINI

a. Estabilidad química a:

- El agua caliente y vapor caliente hasta +150°C, especiales a +200°C.
- Líquidos de frenos a base de glicol hasta +150°C.
- Muchos ácidos orgánicos e inorgánicos.
- Agentes de lavado, lejías de soda y soluciones cáusticas de la potasa.
- Líquidos hidráulicos basados en el éster fosfórico (Hfd-r).
- Aceites y grasas de silicón.
- Muchos solventes polares (alcoholes, cetonas, éster).
- Estabilidad al ozono, a envejecer y al tiempo.

b. Ninguna estabilidad química a:

- Productos de aceite mineral (aceites, grasas, combustible).

2.4.4.3 Buna o Caucho Butílica (IIR)

La goma butílica (isobutileno, caucho del isopropeno) es producida por varias firmas en varios tipos que se diferencian por su contenido de isopreno. El butilo tiene una baja permeabilidad de gas y una buena característica eléctrica aisladora. El

listado siguiente muestra los diferentes nombres comerciales dados a estos anillos elastoméricos con sus respectivos fabricantes:

Nombres comerciales:	Fabricante:
Polysar	BUTYL POLYMER CORP
Petro-Tex	PETRO-TEX BUTÍLICO CHEM. CO
Exxon	EXXO BUTÍLICO CHEM. CO.

a._ Estabilidad química a:

- El agua caliente y vapor hasta 130°C.
- Líquidos de frenos a base de glicol.
- Muchos ácidos y bases.
- Soluciones salinas.
- Soluciones polares, tales como alcohol, cetonas y ésteres.
- Aceites y grasas de silicón.
- Skydrol 500 y 7000.
- Estabilidad al ozono, a envejecer y a tiempo.

b._ Ninguna estabilidad química a:

- Aceites minerales y grasas.
- Combustibles.
- Hidrocarburos tratados con cloro.

2.4.4.4 Vitón o Caucho del Fluorocarbon

El caucho del fluorocarbon tiene una excelente estabilidad a altas temperaturas, al ozono, al oxígeno, a los aceites mineral, a los líquidos hidráulicos sintéticos, a los combustibles, a los aromáticos, a muchos solventes orgánicos y a productos

químicos. El rango a baja temperatura es desfavorable y se extiende en aproximadamente -15 grado centígrado a -20 grados centígrados de la tensión dinámica. La permeabilidad de gas es baja y similar a la de la goma butílica. Los compuestos especiales de FPM tienen altas estabilidades a los ácidos, a los combustibles, al agua y al vapor. El listado siguiente muestra los diferentes nombres comerciales dados a estos anillos elastoméricos con sus respectivos fabricantes:

Nombres comerciales:	Fabricante:
Viton	DU PONT
Dai-EL	DAIKON KAGYO CO
Tecnoflon	MONTECATINI

a._ Estabilidad química a:

- Grasas y a los aceites minerales, baja hinchazón con el líquido No. 1 a 3 de ASTM.
- Líquidos hidráulicos apenas inflamables del grupo de HFD.
- Aceites y grasas de silicón.
- Hidrocarburos alifáticos (gasolina, butano, propano, gas natural).
- Hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno).
- Hidrocarburos tratados con cloro (tetracloruro del tricloroetileno y del carbón).
- Combustibles, combustibles que contienen el metanol.
- Alto vacío.
- Estabilidad muy buena al ozono, al tiempo y a envejecer.

b._ Ninguna estabilidad química a:

- Solventes polares (acetona, cetonas).
- Skydrol 500 y 7000.

- Líquidos de frenos a base de glicol.
- Gas del amoníaco, aminas, álcalis.
- Vapor sobrecalentado.
- Ácidos orgánicos de poco peso molecular (ácido fórmico y acético) [7].

2.4.5 Causas Comunes de Falla en los Sellos Mecánicos

Las causas más comunes de fallas en los sellos mecánicos son:

2.4.5.1 Manipulación Impropia de los Componentes del Sello

Esta es una de las causas principales de fallas prematuras. Las caras del sellado primario tienen un acabado de precisión y están manufacturadas con materiales de cerámica, carburo de tungsteno y carburo de silicio que son frágiles y fácilmente se astillan, se agrietan, se quiebran o se rayan y se convierten en causa inmediata de falla.

La limpieza también es algo importante, la suciedad o partículas extrañas en las caras, en los elementos del sellado secundario o en los alojamientos y ejes causan una falla prematura o causan un daño suficiente que acorta la vida del sello. [8]

2.4.5.2 Montaje Incorrecto del Sello

La posición a la altura de trabajo del sello es básico, particularmente cuando la altura-carga-velocidad, como en los resortes ondulados y fuelles, son empleados para cargar mecánicamente las caras. La altura de trabajo mal dada, causa una fuerza de cierre muy baja provocando una falla de contacto entre ellas, o cuando la altura es menor a la especificada provocará una carga mayor que ocasiona una fractura de los

componentes del sello o un desgaste prematuro derivado del aumento de la fuerza de cierre en las caras.

Otras causas comunes son la omisión de la colocación de los elementos del sellado secundario, un alineamiento inapropiado de las caras del sello con el eje y la caja, o un apriete inapropiado de la brida. La falla del sello es provocado por una distorsión en las caras de contacto o una falla de paralelismo entre ellas.

2.4.5.3 Selección Impropia del Diseño

Selección de materiales o diseños no apropiados, para las presiones, temperaturas, velocidad angular y productos químicos en una aplicación dada. El ataque químico al sellado primario o secundario y el excesivo desgaste de las caras son las causas de fallas más frecuentes. Las fallas por extrusión del sellado secundario ocurren cuando los límites de presión, temperatura o ambos son excedidos.

2.4.5.4 Procedimientos Impropios de Arranque y de Operación

Factores adversos que afectan al sello, es decir, presión, velocidad del fluido y temperatura ocasionan una falla inmediata o causan el daño suficiente para reducir la vida normal del sello. El medio en el cual trabajan los sellos mecánicos requiere considerar dos cuestiones básicas:

- a. Lubricación de las caras de contacto
- b. Disipación del calor generado por ellas

El arranque de la bomba con la succión de la bomba cerrada reduce enormemente el enfriamiento del sello y provocará que el sello gire en seco, requiriendo estos casos de un equipo adicional. Los fluidos que tienen un bajo punto de ebullición o un alto punto de fusión requieren un enfriamiento auxiliar o calentamiento, respectivamente antes y durante la operación del sello. Los fluidos que contienen sólidos disueltos o sin disolver, o que son rápidamente descompuestos u oxidados, pueden a su vez requerir controles de temperatura.

2.4.5.5 Contaminantes dentro del fluido

Son causas muy comunes de una falla inicial en los sellos, especialmente en los arranques de nuevas plantas o sistemas donde el fluido está contaminado con materiales de construcción, tales como arena, escorias de soldaduras o productos contaminantes corrosivos en general.

2.4.5.6 Malas condiciones del equipo:

Cuando el eje o los rodamientos o chumaceras del eje permiten un movimiento axial o radial mayor al permitido de acuerdo al diseño del sello, provoca un funcionamiento anormal que permite la fuga inmediata o acorta la vida del sello [8].

2.5 Falla

El término de falla se plantea cuando un componente o equipo ha perdido la capacidad de satisfacer un criterio de funcionamiento deseado, ya sea en cantidad o calidad.

Las fallas son la razón de ser del mantenimiento, debido a que a éste le corresponde prevenirlas y corregirlas para aumentar la disponibilidad del equipo.

2.5.1 Análisis de Fallas

Es un procedimiento mediante el cual, utilizando una serie de técnicas, ensayos, medidas y observaciones, se determina el origen y las causas de la falla de una pieza, parte o componente de un equipo, máquina o estructura. [9]

2.5.2 Técnicas para Determinar las Fallas y Sus Causas

Debido a la cantidad de fallas que ocurren en los diferentes equipos se hace necesaria la aplicación de un criterio selectivo para atacar, en primer lugar las fallas que impactan negativamente en los resultados de mantenimiento y luego se aplican otras metodologías para analizar en detalle las causas y sus fallas. [10]

2.5.2.1 Principio de Pareto

Es un método que permite solucionar por orden de importancia y magnitud, la causa de un problema que se debe investigar, hasta llegar a conclusiones que permitan eliminarlos de raíz. Este método proviene de los trabajos del economista italiano Wilfredo Pareto, quien comprobó que aproximadamente el 20 % de las causas originan el 80 % de las fallas.

A continuación se mencionan los pasos que se deben seguir para aplicar este principio:

1. Identificar el efecto que deseamos analizar y el objeto por alcanzar.
2. Hacer una lista de las fallas, definiendo la cantidad de veces que ocurrió la falla en el período de tiempo considerado en estudio.

3. Ordenar las fallas de manera descendente, es decir a la falla con mayor ocurrencia le corresponde el primer lugar y de esta forma se ordena de manera decreciente las demás fallas.
4. Construir un sistema de ejes coordenadas, como se muestra en la Figura 2.7, en el cual el eje horizontal (abscisas) le corresponde a las fallas ordenadas de manera decreciente en lo que respecta a la ocurrencia, en el eje vertical izquierdo (ordenada izquierda) le corresponde la frecuencia de falla y en el eje vertical derecho (ordenada derecha) le corresponde el porcentaje acumulado de falla.
5. Se construye la curva de fallas con respecto a la frecuencia de falla.
6. Trazar una línea horizontal por el punto correspondiente al 80 % del porcentaje acumulado y bajar una vertical por el punto que toca la curva, el punto así obtenido indica que las fallas cuyas posiciones estén a la izquierda causan el 80 % de las fallas. [11]

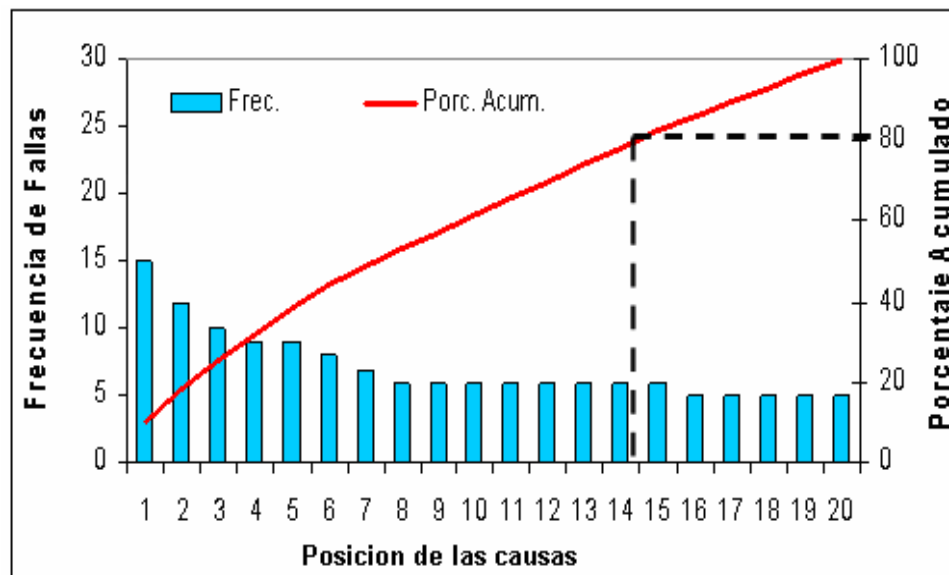


Figura N° 2.7 Representación del esquema del Diagrama de Pareto [12]

2.5.2.2 Análisis Causa-Efecto (Espina de pescado / Diagrama de ishikawa)

Es una técnica gráfica que permite apreciar con claridad las relaciones entre un problema y las posibles causas que pueden estar contribuyendo para que esto ocurra. El efecto se considera como la característica de calidad que necesita mejora, las causas son los factores de influencia.

El diagrama Causa-Efecto puede utilizarse para: visualizar, en equipos, las causas principales y secundarias de un problema, la ampliación de la visión de las posibles causas de un problema, enriqueciendo su análisis y la identificación de soluciones, analizar procesos en búsqueda de mejoras, conducir a modificar procedimientos, métodos, costumbres con soluciones, muchas veces, más sencillas, mostrar el nivel de conocimientos técnicos que existen en la empresa sobre un determinado problema, etc. [13]

Los pasos para construir el diagrama Causa-Efecto son los siguientes:

1. Definir con precisión el fenómeno o falla (efecto).
2. Elaborar un listado de todos los aspectos que tienen o podrían tener influencia sobre la aparición de los fenómenos (causas).
3. Ordenar las causas del punto anterior, teniendo presente que algunas son causas principales y otras secundarias; que son las que provocan las causas principales.
4. Dibujar una flecha amplia de izquierda a derecha y escribir el efecto al final de la flecha, como se muestra en la figura 2.8.

5. Esquematizar las causas principales que pudieran estar provocando las fallas, dirigiendo una rama en forma de flecha a la flecha principal (figura 2.8).
6. Esquematizar sobre las ramas de las causas principales, las causas secundarias que influyan en ellas. [14]

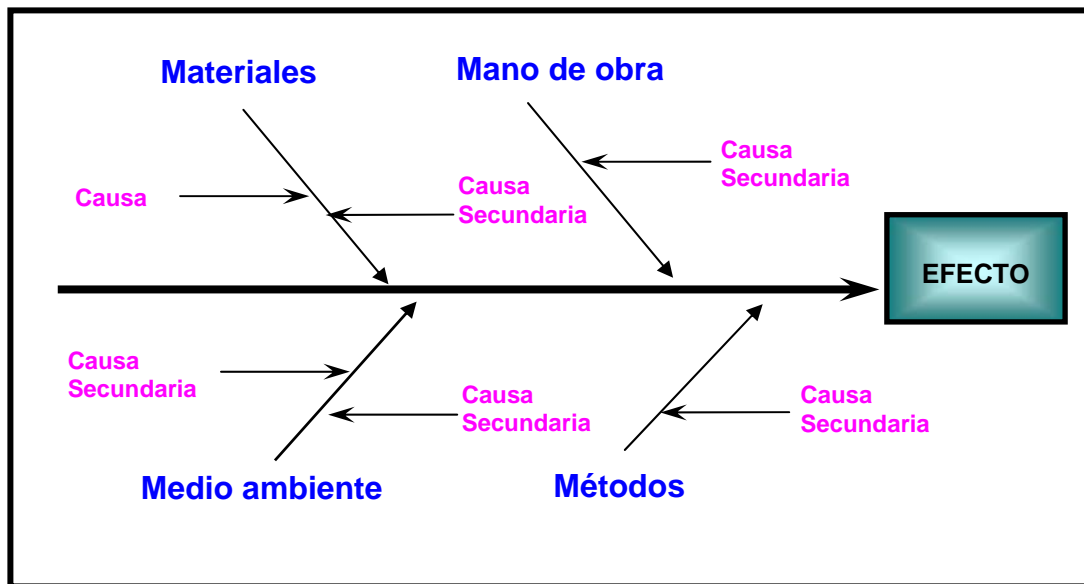


Figura N° 2.8 Representación del esquema de un Diagrama causa- efecto (Ishikawa) [14]

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO

Generalidades

Este capítulo contiene la metodología empleada para determinar las causas de las fallas de los sellos mecánicos de las bombas centrifugas de la Cervecería Polar C.A., Planta Oriente. Se realizó un inventario de las bombas y de los sellos mecánicos a través del sistema de mantenimiento SAP R/3 para determinar la cantidad de bombas y sellos presentes en el área de elaboración de cerveza de la empresa registradas durante tres (3) años, al mismo tiempo se realizó un análisis del estado en el que se encontraban los sellos mecánicos que fueron desmontados durante las veinticuatro (24) semanas que duró la pasantía. Por medio de la aplicación del Principio de Pareto se determinaron las bombas críticas que fallaron por sello mecánico, y mediante la metodología de Ishikawa se analizaron en detalle las posibles causas de las fallas de los sellos mecánicos. En relación a esto se plantearon propuestas para disminuir estas fallas y se elaboró un manual de instrucción e inspección para ser utilizado durante el mantenimiento de los sellos mecánicos.

A continuación en la figura 3.1 se presenta un esquema de la metodología que se aplicó para la ejecución de este trabajo, la cual va a ser descrita en detalle.

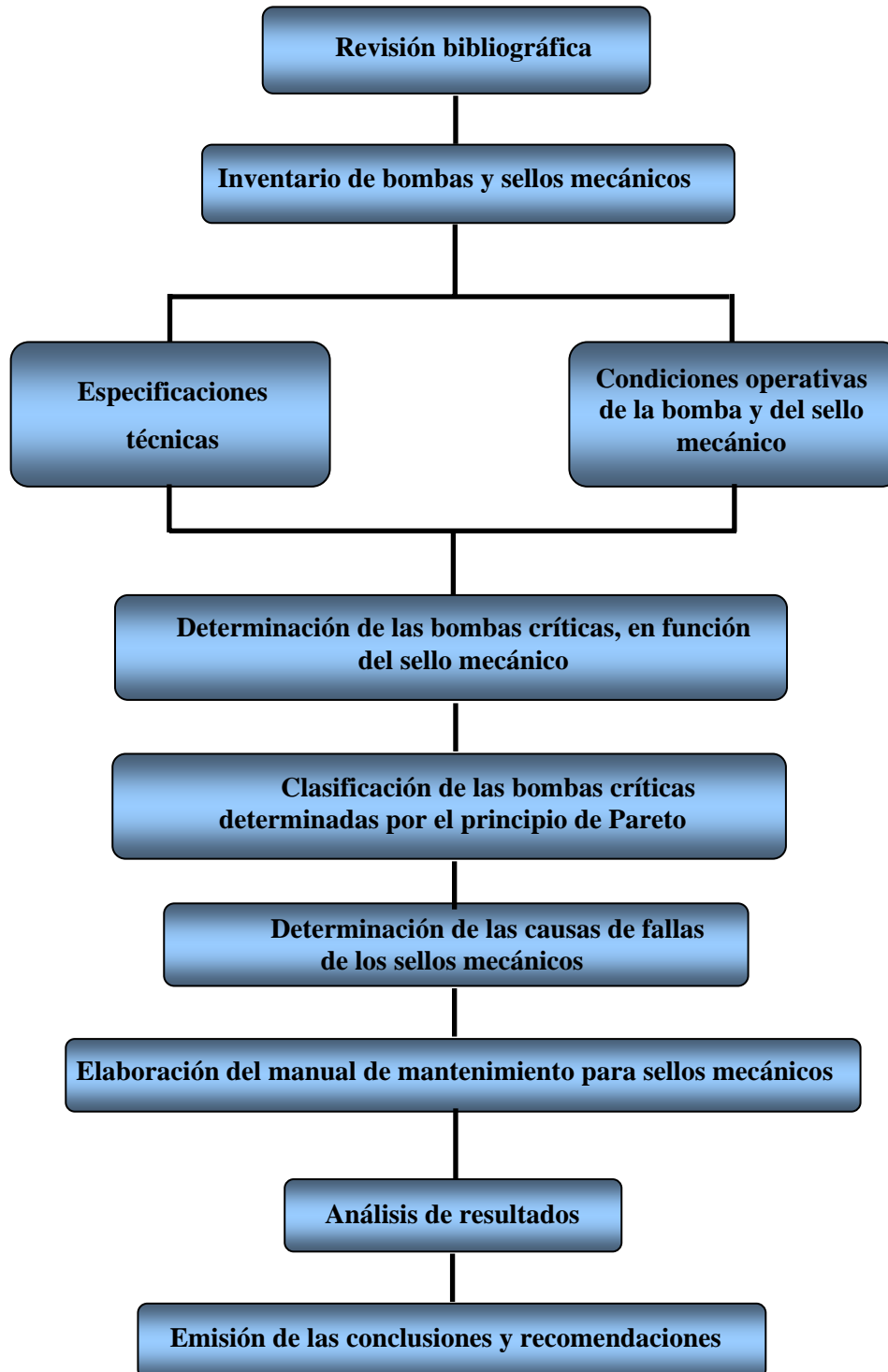


Figura N° 3.1 Diagrama de bloques de la metodología empleada en el trabajo de grado. [Fuente Propia]

3.1 Desarrollo del Trabajo

3.1.1 Revisión Bibliográfica

Esta es la primera etapa en la elaboración del trabajo de grado, contempla la búsqueda, revisión y recopilación de información de diferentes bibliografías como son: antecedentes de trabajos similares, manuales de sellos mecánicos, información de la red de la empresa (intranet), tesis y textos; así como, entrevistas hechas al personal de inspección y mantenimiento que aportó información necesaria debido a su experiencia laboral. Las entrevistas se realizaron de forma personal, informal y estructurada al personal de la planta encargada del mantenimiento: ingenieros mecánicos, técnicos en mantenimiento mecánico, supervisores y técnicos instrumentistas.

3.1.2 Inventario de Bombas y Sellos Mecánicos

La empresa cuenta con un programa de mantenimiento SAP R/3 que maneja entre otros procesos, todo lo relacionado con el mantenimiento, y se encarga de guardar información referente a las ocurrencias de las fallas, la fecha, duración de la reparación.

En esta etapa se realizó un inventario de las bombas y de los sellos mecánicos a través del sistema de mantenimiento SAP R/3 para determinar la cantidad de bombas y sellos presentes en el área de elaboración de cerveza de la empresa. Para esto se recopiló del sistema de mantenimiento SAP R/3 información del funcionamiento de las bombas y el sello mecánico registrados durante tres (3) años.

Adicionalmente se realizó un análisis del estado en el que se encontraban los sellos mecánicos, que fueron desmontados durante las veinticuatro (24) semanas que

duró la pasantía, donde se pudo constatar: la presencia de partículas extrañas en las caras, ejes u o-ring; desgastes y/o fracturas en sus componentes y en los ejes; las dimensiones y la correcta selección de sus materiales constitutivos.

Para realizar este inventario se tomaron en consideración los siguientes aspectos:

3.1.2.1 Especificaciones Técnicas

La obtención de las especificaciones técnicas de la bomba y los sellos mecánicos, se realizó con la ayuda de los catálogos de los fabricantes. Se elaboró una tabla donde se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

Para la bomba:

- Código SAP
- Ubicación en el proceso de elaboración
- Marca y modelo
- Fluido de bombeo
- Presión y temperatura
- Tipo de sello utilizado
- Frecuencia de falla del sello

Para el sello:

- Código SAP
- Modelo
- Dimensiones (diámetro y longitud operacional)
- Material de fabricación de las caras y del anillo elastomérico (o-ring)

3.1.2.2 Condiciones Operativas de la Bomba y del Sello Mecánico

En esta sección se estudiaron las condiciones en las que se encontraba operando la bomba y el sello mecánico, como son: producto bombeado, presión y temperatura del fluido. También se comprobó que las condiciones establecidas por el manual del fabricante del sello para su uso en un debido proceso concordaran con las condiciones reales en que se encontraba operando el sello.

3.1.3 Determinación de las Bombas Críticas en Función de la Frecuencia de Falla del Sello Mecánico

Debido a la cantidad de bombas y sellos mecánicos presentes en el área de elaboración y a la poca información registrada en el sistema de mantenimiento SAP R/3 sobre la descripción del tipo de falla presente en el sello mecánico, se le aplicó el diagrama de Pareto a las bombas que fallaron por sellos mecánicos para así determinar las bombas críticas, en función de la frecuencia de fallas del sello mecánico.

Para determinar las bombas críticas se procedió a ordenar de manera descendente las bombas que fallaron sólo por causa del sello mecánico, aquellas bombas que sus fallas no se encontraban dentro de los límites de vida útil del sello mecánico no se incluyeron en el diagrama. Finalmente para construir el diagrama de Pareto se obtuvo la frecuencia de falla y porcentaje acumulado de fallas de las bombas debidas al sello mecánico.

3.1.4 Clasificación de las Bombas Críticas Determinadas, por el Principio de Pareto

Mediante la aplicación del diagrama de Pareto se jerarquizaron las bombas críticas según la frecuencia de falla del sello mecánico. Al obtener estas bombas se obtienen los sellos mecánicos que producen las fallas más recurrentes. Estas bombas críticas se clasificaron de acuerdo al área de elaboración de la cerveza (cocimiento, filtración y fermentación) en función del producto bombeado y del sello, debido a que en las diferentes áreas se presentó una cantidad de sellos similares y éste a su vez posee características particulares, con una composición, diámetro y tipo de o-ring específicos.

3.1.5 Determinación de las Causas de Fallas de los Sellos Mecánicos Aplicando el Diagrama de Causa-Efecto

Luego de clasificar las bombas críticas en función del sello mecánico por área de flujo bombeado, se procedió a determinar cuales son las causas que provocan las fallas en los sellos mecánicos, para ello se aplicó la técnica del diagrama causa-efecto a cada uno de estos sellos.

La Figura 3.2 mostrada a continuación plantea el diagrama Causa-Efecto con las hipótesis que se analizaron para determinar las causas de falla en el sello mecánico. Este diagrama comprende seis estudios: Métodos, Equipos, Materiales, Mediciones, Medio de operación y Mano de Obra.

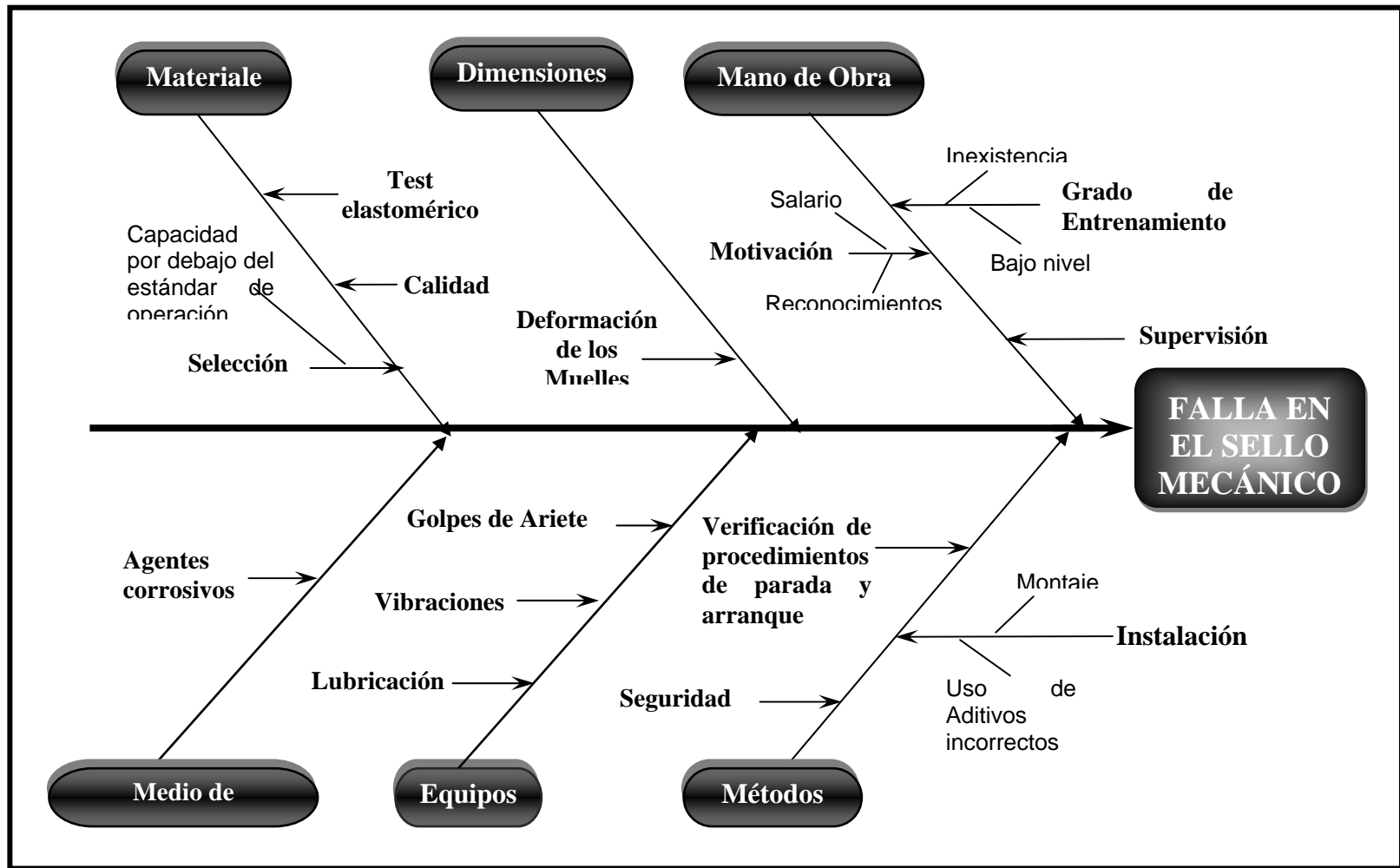


Figura N° 3.2 Diagrama de Causa-Efecto utilizado para determinar la falla en los sellos mecánicos. [Fuente Propia]

Las hipótesis de las causas propuestas en el diagrama Causa-Efecto para los sellos mecánicos se describen a continuación:

➤ **Materiales:** el uso de materiales no aptos puede ocasionar daños en los componentes de los sellos mecánicos debido al contacto que existe entre ellos y el flujo bombeado, por lo que se verificará como hipótesis de causa de falla los siguientes parámetros:

a- Selección apropiada del material constitutivo del sello mecánico para las condiciones de operación: se determinará mediante el catalogo del fabricante si el tipo de sello instalado para el proceso, cumple con las condiciones establecidas en cuanto a los materiales de fabricación de sus caras y demás componentes.

b- Calidad: se verificará si los sellos mecánicos utilizados por los fabricantes cumplen con los certificados y normas de calidad ISO 9001-2000. Las normas ISO 9000 se refieren a los Sistemas de Calidad y permiten certificar que la empresa que posee el certificado tiene implementado un Sistema de Calidad en toda su estructura, es decir, que se orienta de cara a satisfacer las expectativas de sus clientes.

c- Test elastomérico: en esta etapa se realizarán ensayos no destructivos. Se aplicará la técnica de medición directa con instrumentos especiales como tester elastoméricos, para evaluar los sellos mecánicos y obtener los resultados de verificación de los anillos de desgaste (o-ring). Para este ensayo se procederá a colocar la muesca del instrumento el cual presenta tres clasificaciones (Viton, Etileno propileno y Buna) según el rebote recibido en la goma del anillo de desgaste. En la figura 3.3 se muestra un modelo del instrumento utilizado para la realización de este ensayo.



Figura N° 3.3 Modelo del instrumento (tester elastomérico) para determinar el material de los o-rings de los sellos mecánicos. **[Fuente Propia]**

➤ **Dimensiones:** en esta clasificación se incluye como posibles causas los aspectos relacionados con la verificación de las dimensiones del diámetro, deformación de los muelles durante la instalación del sello mecánico. A continuación se describen las hipótesis dentro de esta categoría.

a- Medición de deformación de los muelles: en esta etapa se realizará la medición de las deformaciones de los muelles con instrumentos de precisión, como el vernier, para comprobar el ajuste, dependiendo del tipo y modelo de sello utilizado por la bomba, según el catalogo del fabricante.

➤ **Mano de obra:** el personal juega un papel muy importante en el ciclo de trabajo del sello mecánico. El rendimiento y capacidad del personal está relacionado directamente con sus conocimientos y destrezas, condición física y mental; una alteración de cualquiera de estos factores afecta la capacidad de la persona de ejecutar su trabajo. La confirmación de la hipótesis de la mano de obra como causa de falla se

realizará mediante entrevistas de forma personal, informal y estructurada al personal responsable del mantenimiento de los sellos.

A continuación se presentan las posibles causas incluidas dentro de este grupo:

a- Grado de entrenamiento: la capacitación del personal es esencial para un buen desempeño en las actividades a ejecutar y dicho entrenamiento debe ir acorde con la responsabilidad y riesgos asociados al cargo que va ocupar el empleado, de no cumplirse con ello, el trabajador pudiera tomar una decisión que afectaría el funcionamiento del sello mecánico.

b- Supervisión: el supervisor es un elemento clave dentro de cualquier organización. De él depende la calidad del trabajo, el rendimiento, la moral y el desarrollo de buenas actitudes por parte de los trabajadores. El supervisor dirige y evalúa el trabajo y conoce a todos los trabajadores. Si se emplea una buena supervisión durante la ejecución del mantenimiento de los sellos es posible evitar una falla en el mismo, por lo que se plantea la hipótesis como causa de falla la capacidad del supervisor mientras se realiza el mantenimiento; así como la capacitación del mismo.

c- Motivación: la motivación es de importancia para cualquier área; sí se aplica en el ámbito laboral, se puede lograr que los empleados motivados se esfuercen por tener un mejor desempeño en su trabajo. Es importante que el empleado se sienta motivado cada día a realizar bien su trabajo; esta motivación depende de una buena remuneración, de los reconocimientos en su labor, y en general de un buen ambiente laboral. Se verificará en esta hipótesis el grado de motivación presente en los operadores encargados del mantenimiento de dichos sellos mecánicos.

➤ **Métodos:** las operaciones de mantenimiento del sello mecánico son muy importantes y pueden ser causa de falla cuando el personal encargado incumple con las técnicas de manejo y cuidados de los mismos. La verificación se hará mediante las siguientes hipótesis:

a- Verificación de los procedimientos de parada y arranque de la bomba: se verificarán los procesos realizados por el personal al ejecutar el mantenimiento, por medio de la comprobación de una ruta de mantenimiento presente en cada bomba.

Los aspectos que se verificaran serán los siguientes:

Para la bomba:

1. Alineación
2. Vibraciones
3. El mecanizado del eje

Para el sello mecánico:

1. Holgura entre el asiento y el eje
2. Dimensiones

b- Instalación: durante la instalación del sello mecánico se deben realizar procedimientos correctos y usar implementos aptos para su montaje, para así evitar daños en el sello. Otra hipótesis que se analizará dentro de este grupo es el entrenamiento utilizado para el mantenimiento de los sellos tanto, para el personal de mantenimiento como para los supervisores.

c- Seguridad: Es muy importante para el mantenimiento de las condiciones físicas y psicológicas del personal. También todos aquellos objetos, dispositivos, medidas, etc., que contribuyen a hacer más seguro el funcionamiento del sello mecánico.

➤ **Equipos:** en esta clasificación se incluyen como posibles causas los aspectos relacionados con el equipo donde se encuentra ensamblado el sello mecánico, en este caso el equipo es una bomba y conexiones de tuberías, es decir, verificar si el sello mecánico ha sufrido alteraciones debido a cargas externas. A continuación se describen las hipótesis de las causas de falla que se encuentran dentro de este grupo:

a- Vibraciones: las vibraciones en una máquina causan desgaste, fisuras por fatiga, pérdida de efectividad en los sellos, rotura de aislantes, ruido, etc. Una bomba expuesta a movimientos inestables puede producir la pérdida prematura del sello mecánico. Se verificará la hipótesis de la estabilidad que presenta el sello mecánico durante su trabajo, mediante equipos especializados para realizar este estudio y mediante inspecciones visuales o auditivas de la bomba.

b- Golpes de ariete: la apertura y cierres bruscos de las válvulas en las tuberías producen golpes de ariete ocasionando daños severos al sello mecánico. Esta hipótesis se descarta por medio de inspecciones en los tramos de tuberías de las bombas, verificando los cierres y aperturas bruscas, en función de los tipos de válvulas empleadas.

c- Lubricación: el enfriamiento de las caras del sello es importante para un tiempo de vida satisfactorio del sello, y un sello instalado dentro de una bomba sin un flujo de líquido apropiado dirigido para su enfriamiento y lavado (por ejemplo, para evitar que se asiente material sólido en los resortes) puede tener una alta frecuencia de fallas. Se verificará si el sello mecánico trabaja en seco y que tipo de lubricación se emplea durante su vida útil.

➤ **Medio de operación:** en esta clasificación se incluye como posibles causas los aspectos relacionados con el entorno que afecta el medio donde se encuentra

operando el sello mecánico. A continuación se describen las hipótesis dentro de esta categoría:

b- Agentes corrosivos: el deterioro que sufre un material (frecuentemente un metal) en sus propiedades debido a una reacción con el medio en el cual operan, puede ser una causa de falla. Se verificará la hipótesis con el fin de determinar a través del flujo bombeado, si están presentes agentes corrosivos que puedan causar daños en los sellos mecánicos.

3.1.6 Propuesta de Acciones y Lineamientos para la Disminución de la Frecuencia de la Falla

En esta etapa se realizaron propuestas que deberá implementar la empresa, en función de las causas principales de fallas de los sellos mecánicos, para minimizar la ocurrencia de estas.

3.1.7 Elaboración del Manual de Instrucciones e Inspección para el Mantenimiento de los Sellos Mecánicos

El manual de instrucción e inspección de los sellos mecánicos se realizó con el propósito de proveer un instructivo para el uso interno del Departamento de Mantenimiento de la empresa y para instruir al operador sobre el manejo de los componentes del sello mecánico.

El instructivo consta del objetivo que se desea alcanzar, definición de términos empleados, medidas de seguridad, las instrucciones para el manejo, instalación e inspección necesaria durante el mantenimiento de los sellos mecánicos, la caracterización de las fallas detectadas, sus causas y formas de eliminación.

3.2 Equipos, Materiales, Sustancias y Herramientas Utilizadas

Los equipos, materiales, sustancias y herramientas utilizados fueron suministrados en las instalaciones de la Gerencia de Elaboración ubicadas en el edificio de Elaboración. Cervecería Polar, C.A - Planta Oriente. Ojo de Agua, Barcelona.

3.2.1 Equipos

- a.) Computadora personal Marca COMPAQ[®] iPaq,
 - Modelo con procesador Intel Pentium III.
 - Memoria RAM de 128 MBDIMM.
 - Monitor COMPAQ Modelo S510.
- b.) Impresora Xerox WC MP 20 series PLC 6.
- c.) Accesorios de Seguridad personal: botas de seguridad, lentes y tapones de oído.
- d.) Microscopio de mano. Erecting Eyepiece. Marca: Occulaire Coulissant. Micras:8X.
- e.) Medidor de Elastómeros. Marca Burgmann.
- f.) Equipos mecánicos de medición (Comparador).
- g.) Termómetro digital.

3.2.2 Herramientas (Software)

- a.) Microsoft[®] Windows[®] XP.
- b.) Microsoft[®] Word[®] 2003.
- c.) Microsoft[®] Excel[®] 2003.
- d.) Microsoft[®] PowerPoint[®] 2003.
- e.) Sistema de mantenimiento SAP R/3.

3.2.3 Materiales

- a.) Algodón.
- b.) Lijas.
- c.) Paños.

3.2.4 Sustancias

- a.) Soda Cáustica.
- b.) Agua.
- c.) Mosto.
- d.) Cerveza.
- e.) Azúcar caramelizada y diluida.
- f.) Sal.
- g.) Levadura.
- h.) Lodo.
- i.) Lúpulo.
- j.) Mezcla de cebada.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Generalidades

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el análisis de fallas de los sellos mecánicos, se estructuró en cinco secciones: Inventario de las bombas de procesos, con sus características técnicas y de operación; la determinación de las bombas críticas, en función de la frecuencia de falla del sello, aplicando el principio de Pareto; la clasificación de las bombas críticas en cada área, en función del producto que manejan en la elaboración de cerveza y maltín; verificación de las hipótesis de las causas de las fallas críticas de los sellos, mediante la aplicación de la metodología Causa-Efecto (Ishikawa); y la elaboración de un manual de instalación e inspección necesaria durante el mantenimiento de los sellos mecánicos de las bombas de procesos de la planta.

4.1 Resultado del Inventario de las Bombas de Procesos con sus Características Técnicas y de Operación, a Través del Sistema SAP R/3 de la Empresa

Se realizó un inventario, a través del sistema de mantenimiento SAP R/3, registrándose, en una tabla la cantidad de bombas y sellos mecánicos existentes en el área de estudio; además de sus características técnicas y de operación. A cada uno de estas bombas y sellos se le asignó un número o ítem dentro de su tabla correspondiente, con el fin de identificarlo durante todo el desarrollo del trabajo.

Por limitaciones de espacio, se ubicaron en el apéndice A las tablas A.1, A.2, A.3, A.4 y A.5, donde se muestra el inventario con las 119 bombas utilizadas en la elaboración de la cerveza, en el cual se registran sus especificaciones técnicas, su

ubicación dentro de los procesos de elaboración (cocimiento, filtración y fermentación), su respectivo sello mecánico y la cantidad de fallas ocurridas en el sello.

Cabe destacar que al realizar este registro por medio del sistema SAP de la empresa no se encontró una información clara y específica del motivo por el cual fallara el sello mecánico. Por lo tanto fue necesario verificar las condiciones de funcionamiento en el que se encontraban los sellos mecánicos, que fueron desmontados durante las veinticuatro (24) semanas que duró la pasantía, para poder constatar las fallas presentes. En la tabla A.4 del apéndice A se muestra el inventario de los tipos de sellos mecánicos utilizados por estas 119 bombas en la elaboración de la cerveza y malta.

Tabla N° 4.1. Distribución por áreas de las bombas presentes en la elaboración de la cerveza (cocimiento, filtración y fermentación).

Área	Cantidad de Bombas
Cocimiento	51
Filtración	42
Fermentación	26
Total	119

La empresa cuenta con una cantidad de 119 bombas distribuidas como se muestran en la tabla 4.1. En el proceso de elaboración de la cerveza y malta, estas bombas utilizan un total de 22 tipos de sellos, y dependen del área en la que están ubicadas.

4.2 Resultados de la Determinación de las Bombas Críticas, en Función de la Frecuencia de Falla del Sello, Aplicando el Principio de Pareto

En la tabla A.5 del apéndice A se muestran la cantidad de fallas por sello mecánico de las 119 bombas utilizadas en la elaboración de la cerveza y malta: de las cuales 79 de ellas fallaron únicamente por el sello mecánico y las 40 restantes fallaron por causa de los rodamientos, ejes, motor, etc.

Luego se procedió a ordenar las bombas de forma descendente de acuerdo a las ocurrencias de las fallas por sello mecánico, registradas durante 3 años como se muestra en la tabla 4.2.

Perteneciendo el ítem 13* de dicha tabla representa un grupo de 13 bombas en las que ocurrió una frecuencia de 3 fallas en cada una, debidas al sello, el ítem 21* representa un grupo de 21 bombas con un número de 2 fallas debidas al sello y el ítem 28* representa un grupo de 28 bombas con 1 falla cada una debidas al sello mecánico. Según lo establecido por el fabricante de sellos mecánicos, la vida útil se encuentra aproximadamente entre 1 año y 1 año y seis meses, operando en óptimas condiciones, por lo que las ocurrencias de fallas de los ítems 13*, 21* y 28* fueron tomadas como normal, debido a que se encuentran dentro del rango de vida útil del sello mecánico.

En la tabla A.6, A.7 y A.8 del apéndice A se muestran las bombas incluidas dentro del grupos de los ítems 13*, 21* y 28*. Se desestimaron las 40 bombas que no fallaron.

Tabla N° 4.2. Bombas clasificadas por orden descendente de acuerdo a la ocurrencia de fallas debidas al sello mecánico.

Ítem Bomba	Área	Ubicación	Código	Ítem Sello	Fallas
20	Cocimiento	Pailas de Hervir 4	10018119	2	15
4	Cocimiento	Paila de Mezcla 2	10018052	2	13
14	Cocimiento	Cubas de Filtrar 4	10018113	4	10
51	Cocimiento	Tanque detergente principal	10018183	3	7
15	Cocimiento	Cubas de Filtrar 4	10018109	4	6
18	Cocimiento	Pailas de Hervir 2	10018090	2	6
77	Fermentación	CIP TCC	10017943	3	6
109	Filtración	CIP Filtros	10017965	3	6
111	Filtración	CIP Tuberías (Vías)	10017961	10	5
34	Cocimiento	Decanter de Trub mosto decantado	10031426	10	4
45	Cocimiento	Preparación de azúcar líquida	10034247	7	4
117	Filtración	CIP Gobierno y Buffers	10017966	3	4
112	Filtración	CIP Tuberías (Vías)	10031494	10	4
16	Cocimiento	Último Mosto	10018126	5	4
12	Cocimiento	Cubas de Filtrar 3	10018094	4	4
91	Filtración	Dosificación de carbón activado	10017851	7	4
98	Filtración	Carbonatación de Cerveza	10017886	9	4
13*	Grupo de 13 bombas con 3 fallas en el sello mecánico durante 3 años				3
21*	Grupo de 21 bombas con 3 fallas en el sello mecánico durante 3 años				2
28*	Grupo de 28 bombas con 3 fallas en el sello mecánico durante 3 años				1

Luego para determinar las bombas críticas aplicando el diagrama de Pareto se obtuvo la frecuencia y porcentaje acumulado de cada falla en la bomba debido al sello mecánico. La tabla 4.3 muestra esta información.

Tabla N° 4.3. Frecuencia de falla y porcentaje acumulado de las bombas debido al sello mecánico.

Ítem Bomba	Frecuencia de Fallas	Frecuencia Acumulada	Porcentaje Ocurrencia	Porcentaje Acumulado
20	15	15	13,39	13,39
4	13	28	11,61	25,00
14	10	38	8,93	33,93
51	7	45	6,25	40,18
15	6	51	5,36	45,54
18	6	57	5,36	50,89
77	6	63	5,36	56,25
109	6	69	5,36	61,61
111	5	74	4,46	66,07
34	4	78	3,57	69,64
45	4	82	3,57	73,21
117	4	86	3,57	76,79
112	4	90	3,57	80,36
16	4	94	3,57	83,93
12	4	98	3,57	87,50
91	4	102	3,57	91,07
98	4	106	3,57	94,64
13*	3	109	2,68	97,32
21*	2	111	1,79	99,11
28*	1	112	0,89	100,00

Con esta información se realizó el diagrama de Pareto como se muestra en la Figura N°4.1, para determinar las bombas críticas en función a la frecuencia de falla del sello mecánico.

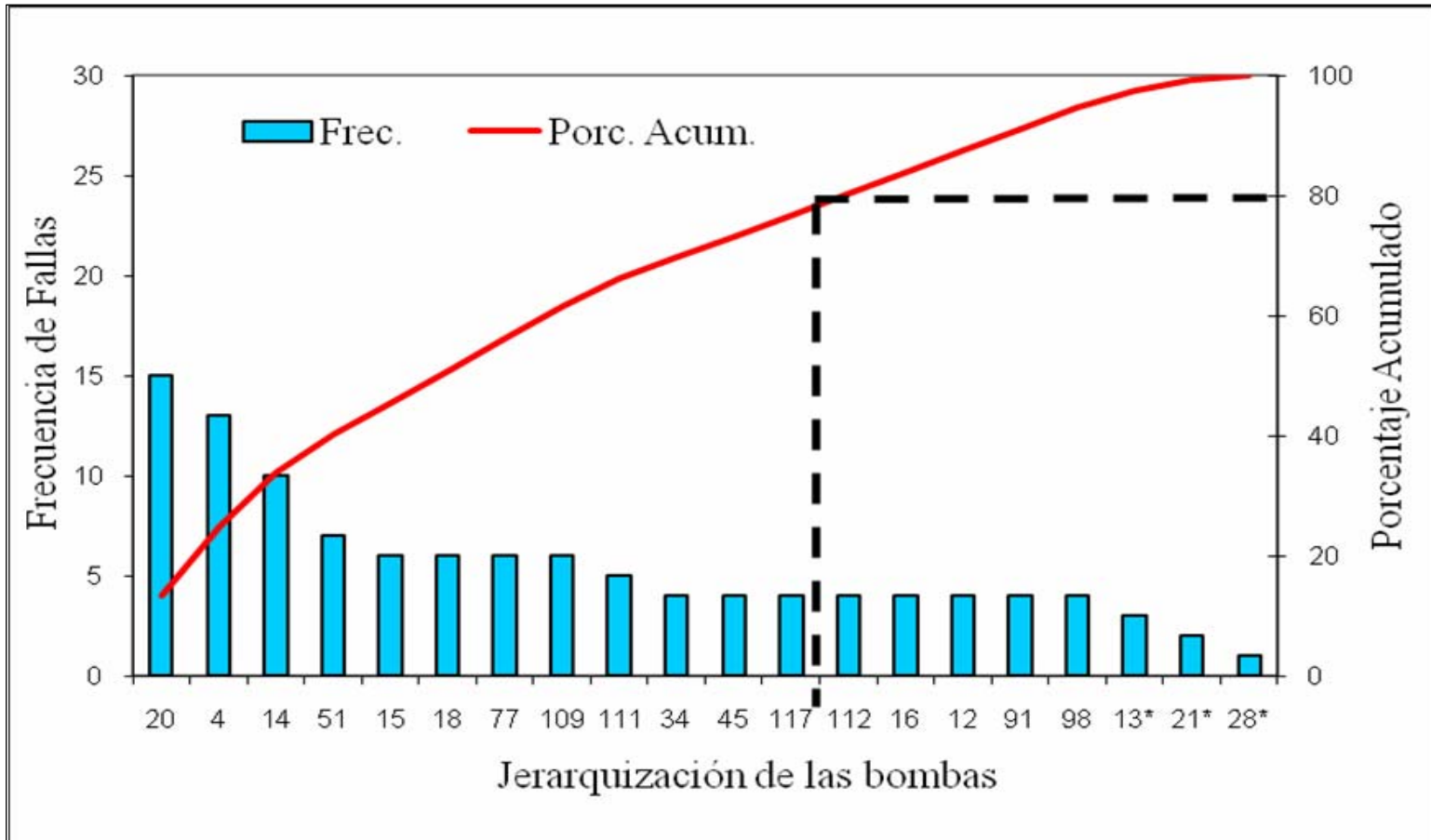


Figura N° 4.1. Diagrama de Pareto para determinar las bombas críticas en función de las frecuencias de fallas del sello mecánico [Fuente propia].

Pareto plantea que el 20 % de las causas originan el 80 % de las fallas. Una vez aplicado el principio de Pareto al diagrama se evidencia que las bombas críticas que representan el 20 por ciento de las causas de fallas corresponden a los ítem de las bombas 20, 4, 14, 51, 15, 18, 77, 109, 111, 34, 45 y 117 y son las que sufren el 80 por ciento de las fallas causadas por los sellos mecánicos y constituyen las bombas analizadas en este trabajo.

4.3 Resultado de la Clasificación de las Bombas Críticas en Cada Área, en Función del Producto que se Maneja en la Elaboración de Cerveza y Maltín

Las doce (12) bombas críticas se clasificaron por áreas según el flujo manejado y el tipo de sello, como se muestra en la tabla 4.4, con el fin de agrupar las fallas en los sellos mecánicos y poder simplificar el diagrama causa-efecto.

De igual manera en la tabla 4.5 se muestran los cinco (5) tipos de sellos mecánicos utilizados por estas doce (12) bombas críticas y sus características.

Tabla N° 4.4. Clasificación de las bombas críticas por cada área de elaboración de cerveza y malta.

Ítem Bomba	Área	Ubicación	Producto que circula	Ítem Sello
20	Cocimiento	Pailas de hervir 4	Mosto	2
4		Paila de mezcla 2	Mezcla de cebada con maíz y agua, soda cáustica y agua caliente	2
18		Pailas de hervir 2	Mosto	2
51		Tanque detergente principal	Soda cáustica y agua caliente	3
15		Cubas de filtrar 4	Parte líquida de Mosto	4
14		Cubas de filtrar 4	Parte líquida de Mosto	4
45		Preparación de azúcar líquida	Azúcar caramelizada	7
34		Decanter de trub mosto decantado	Mosto decantado	10
111		Filtración	CIP Tuberías (Vías)	Soda cáustica, oxonia, agua caliente
109	CIP Filtros		Ácido nítrico, soda cáustica, oxonia, agua caliente, agua caliente	3
117	CIP Gobierno y Buffers		Trimeta sauer	3
77	Fermentación	CIP TCC	Soda cáustica	3

Tabla N° 4.5. Características de los sellos utilizados en las bombas críticas, determinadas por el diagrama de Pareto.

Ítem Sello	Sub	Código	Tipo Sello	Diámetro (mm)	Material Sello	O-Ring
2	N/A	12127204	MG1/G6	65	Q1Q1EGG	EPDM
3	N/A	12025826	M37G/G6	38	Q1Q1EGG1	EPDM
4	R-	12128151	M377N/R	32	Q1Q1EGG1	EPDM
4	L-	12128152	M377N/L	32	U1U1EGE	EPDM
7	N/A	12127026	M377G/R	28	Q12Q12EGG1	EPDM
10	N/A	12068593	M3/28-00-R	28	SB1VGG	Vitón

Debido a que la información suministrada por el sistema SAP R/3 de la empresa acerca de las fallas no era detallada; puesto que cuando ocurría una falla en el sello mecánico en ocasiones aparecía información como “falla en el sello” o “reemplazar el sello”, sin que esto, pudiera determinar exactamente el tipo de falla que ocurrió, se verificaron las condiciones de funcionamiento después de desmontados estos cinco (5) sellos mecánicos, durante las veinticuatro (24) semanas que duró la pasantía, y se encontraron cuatro (4) tipos de fallas , con una frecuencia distribuida como se muestra en el gráfico N° 4.1, las cuales son:

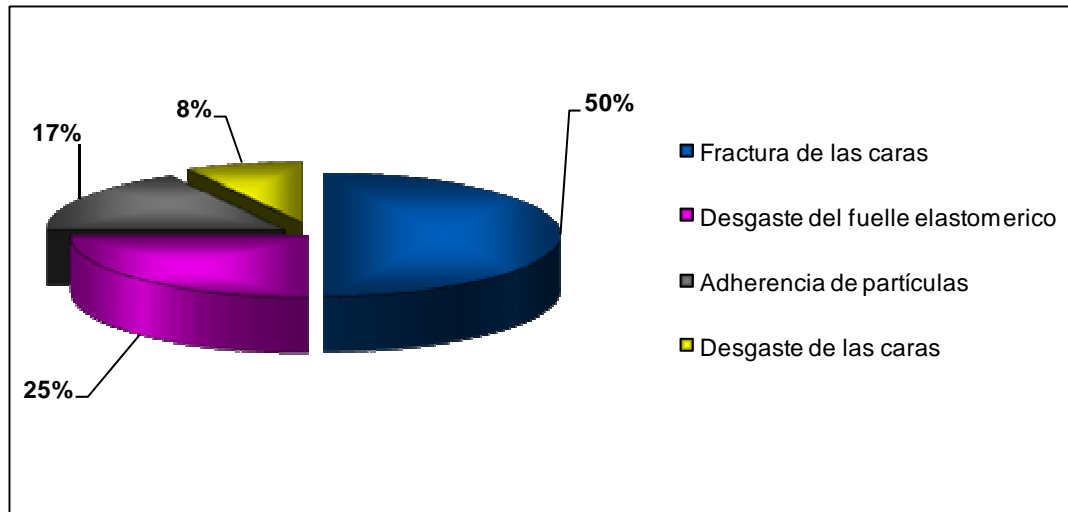


Gráfico 4.1. Porcentaje de las fallas presentes en los sellos mecánicos [Fuente propia].

4.4 Resultados de la Verificación de las Hipótesis como Causas de las Fallas

Para determinar cuales son las causas que provocan las fallas en los sellos mecánicos, se aplicó la técnica del diagrama causa-efecto. A continuación se describen los resultados de las evaluaciones y estudios correspondientes al tipo de falla encontrada.

4.4.1 Falla de Fractura en las Caras del Sello Mecánico

Este tipo de falla se presentó en los sellos mecánicos correspondientes a los ítem 3 y 4 de la Tabla N°4.5. Estos sellos se encuentran presentes en las tres áreas de elaboración, el principal producto de trabajo para el sello de ítem 3 es la soda cáustica y para el sello de ítem 4 es mosto líquido. A continuación se describirá y caracterizará el tipo de falla y luego se aplicará el Diagrama de Ishikawa.

Se observó la cara del sello rotativo fracturada radialmente en varias secciones como se puede apreciar en la figura 4.2



Figura N° 4.2. Muestras de la fractura en las caras del sello mecánico

La figura 4.3 muestra un diagrama de causa-efecto con las hipótesis que se evaluaron para verificar las causas de estas fallas.

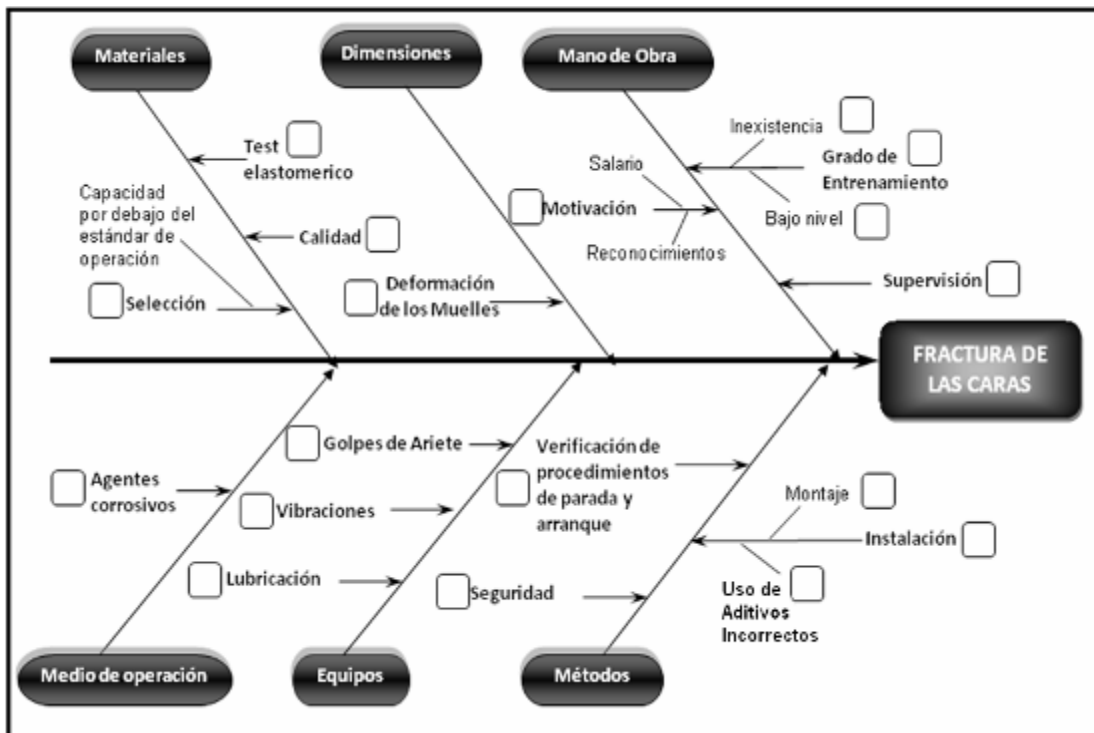


Figura N° 4.3. Diagrama causa-efecto (Ishikawa) con las hipótesis que se evaluarán de la falla: fractura en las caras en el sello mecánico.

A continuación se describen los resultados de las evaluaciones y estudios expuestos anteriormente en el diagrama Ishikawa.

4.4.1.1 Material

a) Verificación de la selección apropiada del material constitutivo del sello mecánico para las condiciones de operación

Por limitaciones de espacio en el apéndice B se ubicó el catálogo del fabricante de los sellos mecánicos utilizado por la empresa para la selección de los materiales constitutivos del sello, según el medio de operación.

Los materiales constitutivos del sello instalado son Q1Q1EGG1, donde:

Q1= Buka 22, SiC-Si (carburo de silicio) para las caras.

E= Epdm (caucho de etileno propileno) para el oring.

G= Acero Cr-Ni-Mo 1.4571 para los resortes del sello.

G1= Acero Cr-Ni-Mo 1.4462 para los demás componentes.

El medio donde opera el sello mecánico es mosto, soda cáustica y agua caliente a 78 grados centígrados, según el catalogo del fabricante para este tipo de flujo se recomiendan los siguientes materiales:

- Para Mosto: Q1Q1VGG
- Para Soda cáustica: Q1Q1EGG
- Para Agua caliente: SBEGG

Cuando por la bomba circulan varias sustancias, para determinar el material del sello a instalar se considera la que sea más abrasiva o corrosiva, siendo la soda

cáustica la sustancia más peligrosa en este caso. Comparando las recomendaciones del fabricante de sello mecánicos para el flujo bombeado, con el sello mecánico instalado se puede apreciar que si se cumple con las condiciones de selección, por lo tanto el material de las caras y del oring se encuentra dentro de la capacidad estándar de operación, por lo que se descarta la hipótesis de que la selección del material constitutivo del sello influye en las causas de la falla.

b) Calidad de los materiales del fabricante

La ISO (Organización internacional de estandarización) 9001 es una norma que se aplica a los sistemas de gestión de calidad (SGC) y que se centra en todos los elementos de administración de calidad con los que una empresa debe contar para tener un sistema efectivo que le permita administrar y mejorar la calidad de sus productos. Los clientes se inclinan por los proveedores que cuentan con esta acreditación porque de este modo se aseguran de que la empresa seleccionada disponga de un buen sistema de gestión de calidad (SGC).

Los materiales utilizados por el fabricante de los sellos mecánicos se desarrollan bajo un sistema de gestión de calidad que cumple con la nomenclatura ISO. En el apéndice C se puede observar el aval de la certificación ISO 9001-2000 del fabricante. Por lo tanto se descarta la hipótesis establecida en la figura 4.3 de que la calidad de los materiales de fabricación del sello mecánico influye en la causa de esta falla.

c) Test elastomérico

Se realizó el ensayo no destructivo al anillo de desgaste (o-ring), colocando la muesca del instrumento tester elastomérico directamente en él, debido al rebote recibido en la goma del anillo de desgaste se puede determinar el tipo de material constitutivo de la goma. El ensayo arrojó como resultado que el tipo de material del

o-ring es Epdm (etileno propileno). Por lo tanto se confirma que el material del anillo elastomérico instalado es el recomendado por el fabricante y se descarta la hipótesis establecida en la figura 4.6 de que el material de los anillos (o-rings) fue mal seleccionado.

4.4.1.2 Dimensiones

a) Deformación de los muelles

Según el modelo del sello, el catalogo del fabricante (Apéndice D) recomienda para un diámetro interno en el sello mecánico de 38 mm, un ajuste en la longitud operacional del muelle de 31 mm. Para comprobar estos valores se midió con un vernier la longitud operacional del resorte del sello instalado y éste arrojó un valor de 36 mm, cuya medida sobrepasa 5 mm de los parámetros exigidos, por lo que el muelle no está trabajando en sus dimensiones apropiadas, no presenta la debida compresión entre sus caras, haciendo que éste quedara holgado y fracturase las caras. Se recomendó fabricar un distanciador con una medida de 5 mm como se muestra en la figura 4.4, debido a que no se podía modificar el eje de la bomba. Por lo que se considera la hipótesis establecida en la figura 4.6 de que la deformación del muelle, es decir la incorrecta compresión ejercida al sello mecánico influye en la causa de la falla.



	
<p>Problema: Longitud operacional incorrecta.</p>	<p>Recomendación: Se le fabricó a la bocina un distanciador con las medidas correctas.</p>

Figura N° 4.4. Muestra del distanciador colocado a la bocina del eje de la bomba para obtener la longitud operacional correcta y evitar la fractura de las caras del sello mecánico.

4.4.1.3 Mano de Obra

En el apéndice E se muestran los resultados de la encuesta formal sobre el clima organizacional realizada a las 17 personas encargadas del mantenimiento de los sellos, se analizaron tres aspectos importantes como posibles causas de falla, éstos fueron los siguientes puntos:

a) Motivación

Los resultados arrojados demostraron que el 54 por ciento del personal de mantenimiento de los sellos mecánicos se encuentran satisfechos, en relación con los recursos disponibles para realizar su trabajo (equipos, herramientas, repuestos, material de oficina, etc.), el nivel de exigencia y reto que están presentes en las actividades que ejecutan, el servicio que recibe de la unidad de producción, la comunicación existente entre las diferentes Gerencias, la calidad de los beneficios

que le ofrece la Organización de Empresas Polar (HCM, póliza de exceso, medicina preventiva, cesta ticket, caja de ahorros, etc.), entre otros. Por lo tanto se descarta la hipótesis establecida en la figura 4.3 de que la motivación del personal para realizar su trabajo influye en la causa de falla en los sellos mecánicos.

b) Supervisor

Los resultados arrojados demuestran que el 57 por ciento del personal de mantenimiento de sellos mecánicos se sienten satisfechos en relación con el liderazgo que ejerce su supervisor inmediato. Los objetivos y metas establecidos, el seguimiento que realiza de los avances en el cumplimiento de los objetivos y metas acordadas, la efectividad de las reuniones de trabajo, el nivel de autonomía y delegación que tiene su supervisor para ejecutar sus responsabilidades son los ítem más resaltantes de este aspectos que demuestran la satisfacción del personal. Por lo tanto se descarta la hipótesis establecida en la figura 4.3 de que la supervisión influye en la causa de falla del sello mecánico.

c) Grado de entrenamiento

Los resultados de la encuesta arrojaron que el nivel educativo del personal que realiza el mantenimiento de los sellos mecánicos es un 53 por ciento Técnico, el 41 por ciento Bachiller y el 6 por ciento Universitario.

El 71 por ciento del personal asegura poseer habilidades y conocimientos certificados sobre mantenimiento de sellos mecánicos. Pero a pesar de esto el 46 por ciento, expresa insatisfacción en relación con el grado de entrenamiento ofrecido al personal, a la limitada capacitación y desarrollo con respecto a sellos mecánicos para adquirir y reforzar sus competencias, así como los conocimientos sobre instalación de los mismos. El 35 por ciento se siente satisfecho con el grado de entrenamiento sobre sellos mecánicos. Por lo tanto la hipótesis establecida en la figura 4.3, en cuanto al grado de entrenamiento del personal de mantenimiento del sello mecánico influye en

la causa de falla, debido a que no poseen los conocimientos y destrezas para realizar el montaje y mantenimiento de los sellos.

4.4.1.4 Métodos

a) Verificación de los procedimientos de parada y arranque de la bomba

Durante el mantenimiento realizado a los sellos mecánicos se constató que el personal encargado de dicho mantenimiento cumple con los procedimientos de parada y arranque de la bomba. En el apéndice F se muestra la ruta de mantenimiento facilitado al personal de técnicos que laboran en la empresa, establecidos en el sistema SAP R/3 de la misma, una vez obtenida la orden de mantenimiento de la bomba. Por lo que se descarta la hipótesis establecida en la figura 4.3 de la falta de verificación de los procedimientos de parada y arranque de la bomba como causa de falla.

b) Instalación del sello mecánico por el personal de mantenimiento

Se verificó el procedimiento realizado por el personal de mantenimiento al instalar el sello mecánico en la bomba y se observó que utilizan grasa mineral para introducir el sello mecánico en el eje. El resultado arrojado por el test elastomérico demostró que el material del anillo de desgaste (o-ring) es Epdm y debido a la composición química de este agregado no es compatible con la grasa mineral.

En el punto 4.4.1.2 de este capítulo se demostró que la causa principal de falla de la fractura en las caras del sello es la deformación de los muelles, por lo que el uso de estos aditivos incorrectos en el oring es una causa indirecta de falla para el sello mecánico, debido a que el oring trabaja como un sello secundario. Por lo tanto el uso de aditivos incorrectos al instalar el sello mecánico es causa de falla.

c) Seguridad

La empresa cuenta con normas e implementos de seguridad establecidos para todos sus trabajadores y es obligatorio el uso de éstos, al realizar cualquier trabajo. No se permite que ningún trabajador, bajo ninguna circunstancia incumpla la mínima norma de seguridad, los supervisores de seguridad están muy pendientes de verificar, cumplir y hacer cumplir todas las normas de seguridad. Durante el lapso de estas pasantías se verificó el cumplimiento de estas normas, a través de inspecciones visuales tanto al supervisor como a los trabajadores.

También se constato que la empresa cuenta con un análisis de riesgo por puesto de trabajo, copia de este análisis se muestra en el apéndice G, por lo tanto se descarta la seguridad como posible causa de falla.

4.4.1.5 Equipo

a) Lubricación

Los sellos mecánicos están diseñados para lubricarse con el mismo flujo que maneja la bomba. Adicionalmente por medio de las rutas de mantenimiento presentadas en el apéndice F se verifica que al arrancar la bomba, ésta no trabaje en seco y que el sello mecánico pueda lubricarse previamente con el fluido bombeado, por lo tanto se descarta la hipótesis de falta de lubricación establecida en el diagrama causa-efecto.

b) Vibraciones en la bomba

Siempre que se detectaban problemas mediante el mantenimiento preventivo, la empresa verifica, cada una de las bombas expuestas a movimientos inestables, a

través de equipos especializados en la medición de vibraciones, como lo es el Pen de vibraciones, y de requerirse un análisis mayor se consulta a un especialista en este tema. No se cuantificaron las vibraciones, sin embargo, para evaluar esta hipótesis se inspeccionó las instalaciones de la empresa y se verificó con el pen de vibraciones que no existen vibraciones significativas en la operación de ninguna de las bombas de proceso. También se consultó al personal de mantenimiento de la Planta y señalaron que no han detectado altos índices de vibraciones en las instalaciones. Por lo tanto no se considera la hipótesis establecida en el diagrama de causa-efecto en cuanto a las vibraciones de las bombas como causa de fallas de los sellos mecánicos.

c) Golpes de ariete

Durante las inspecciones realizadas a las bombas, durante el periodo de pasantías, se pudo constatar que las válvulas de las tuberías de las bombas se encuentran lo suficientemente lejos de éstas, para causar golpes de ariete sobre los sellos mecánicos, adicionalmente la mayoría de las válvulas son automatizadas y cuentan con un sistema de control de cierre, el cual controla la velocidad de apertura y cierre de las válvulas; por lo antes descrito se considera descartar el golpe de ariete como causa de falla en los sellos mecánicos.

4.4.1.6 Medio de Operación

a) Agentes corrosivos

El medio en el que se encuentra operando el sello mecánico presenta agentes corrosivos que dañan los componentes del mismo. Los materiales constitutivos del sello mecánico fueron diseñados para soportar estos agentes como se comprobó en la verificación de la selección del material del sello, por lo tanto se considera descarta este aspecto como posible causa de falla.

La figura 4.5 muestra el diagrama de causa-efecto con las hipótesis consideradas y descartadas utilizadas para verificar las causas de la falla de fractura en las caras del sello mecánico.

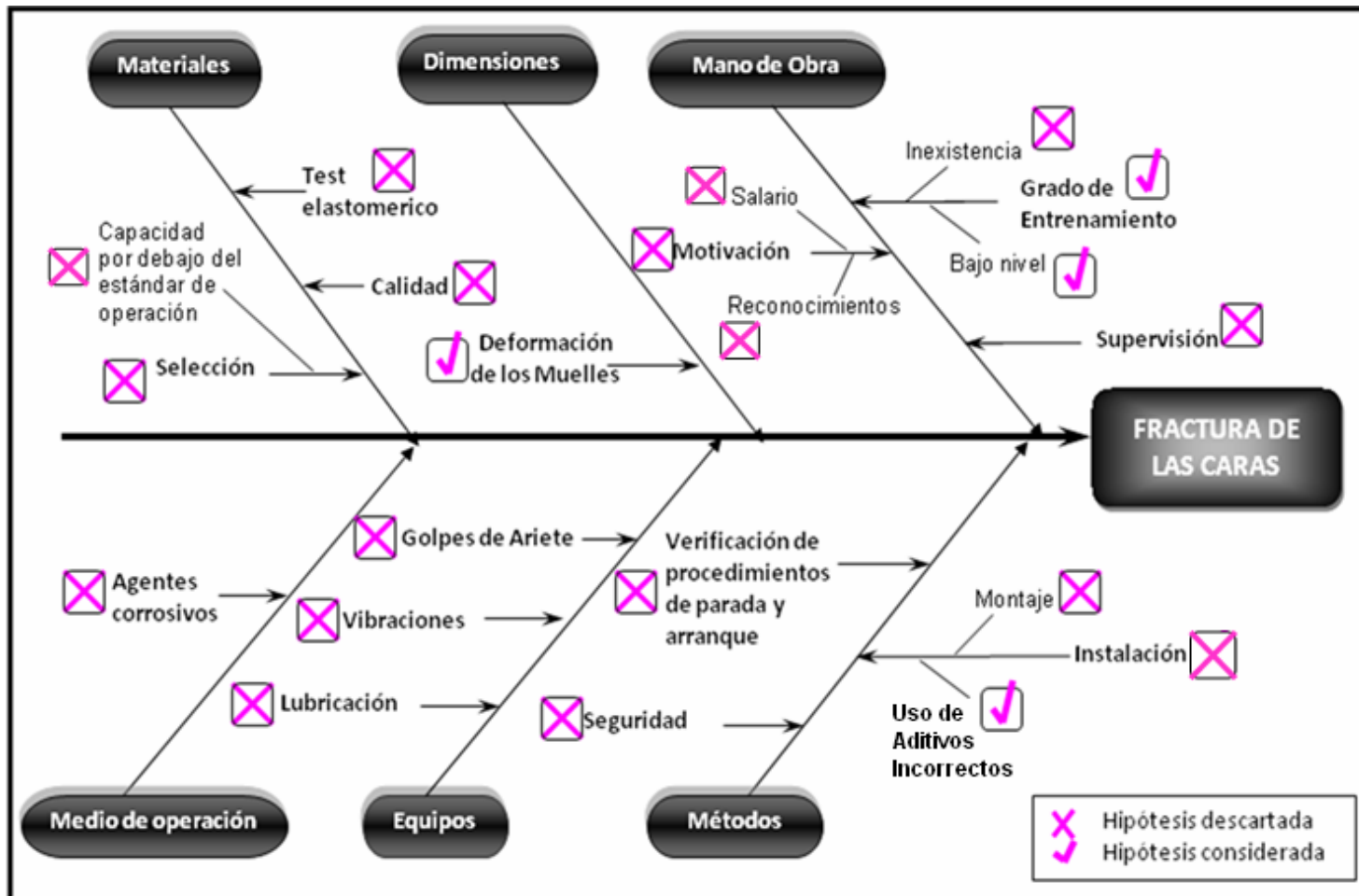


Figura N° 4.5 Diagrama causa efecto con las hipótesis descartadas y consideradas de la falla: fractura en las caras del sello mecánico.

En el diagrama causa-efecto mostrado en la figura 4.5 se presenta el descarte de las hipótesis para la falla de fractura en las caras del sello mecánico, como se puede observar las causas que producen este tipo de falla son la deformación de los muelles debidos al ajuste incorrecto en la longitud operacional del resorte durante la medición de sus dimensiones, el bajo nivel de entrenamiento del personal de mantenimiento. Se plantea como solución realizar el ajuste correcto según el catalogo del fabricante, para ésto se recomendó fabricar un distanciador con las medidas correctas como se muestra en la figura 4.4 de este mismo capítulo, debido a que no se podía modificar el eje de la bomba. Así como adiestrar y capacitar al personal de mantenimiento sobre instalación de sellos mecánicos.

4.4.2 Falla de Desgaste del Fuelle Elastomérico en el Sello Mecánico

Este tipo de falla se presentó en el sello correspondiente al ítem 2 de la Tabla N° 4.5. Este sello se encuentra presente en el área de cocimiento, el principal producto de trabajo es mosto. A continuación se describirá y caracterizará el tipo de falla y luego se aplicará el Diagrama de Ishikawa.

Se examinó la goma con el microscopio de mano (erecting eyepiece oculaire cuslissant) de 8 micras y se notó la goma interna o fuelle elastomérico con un aspecto deteriorado, desgastada, fracturada y dura como se puede apreciar en la figura 4.6.



Figura N° 4.6 Muestra del de desgaste del fuelle elastomerico

La figura 4.7 muestra un diagrama de causa-efecto con las hipótesis que se evaluaron para verificar las causas de estas fallas.

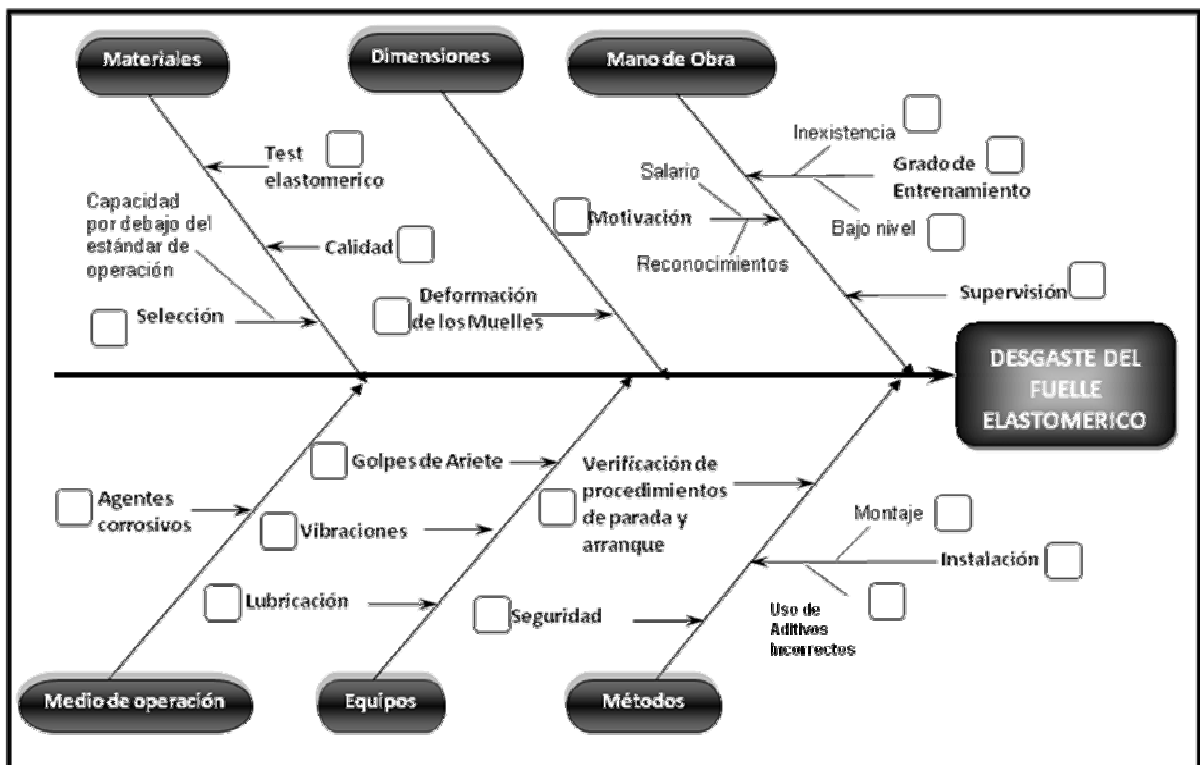


Figura N° 4.7 Diagrama causa efecto (Ishikawa) con las hipótesis que se evaluarán de la falla: desgaste del fuelle elastomérico en el sello mecánico.

A continuación se describen los resultados de las evaluaciones y estudios expuestos anteriormente en el diagrama Ishikawa.

4.4.2.1 Material

Se aplicó el mismo análisis utilizado en el punto 4.4.1.1 de la falla anterior, para descartar la influencia de la selección del material del sello, la influencia de la calidad de los materiales y la verificación del material del oring por medio del test elastomérico como causa de falla y se llegó a las mismas conclusiones expuestas en el punto anterior, por lo que se considera descartar estas hipótesis como causa de falla.

4.4.2.2 Dimensiones

Se aplicó el mismo análisis utilizado en el punto 4.4.1.2 de la falla anterior, para descartar la deformación de los muelles como causa de falla. Concluyéndose para esta falla que las dimensiones del sello mecánico se encuentra dentro de los parámetros exigidos por el fabricante de los sellos mecánicos, por lo que se considera descarta la hipótesis de que la deformación del muelle influye en las causas de la falla.

4.4.2.3 Mano de Obra

Para evaluar la influencia de la mano de obra en las causas de fallas en los sellos mecánicos, se utilizó la misma herramienta del punto 4.4.1.3 de la falla analizada anteriormente. Se aplicó el mismo instrumento “Encuesta formal sobre el clima organizacional”. Concluyendo que si es causal de falla el grado de entrenamiento al personal.

4.4.2.4 Métodos

Para evaluar la influencia de los métodos utilizados en la instalación como causa de falla en los sellos mecánicos se verificó de la misma manera que la falla anterior: los procedimientos de parada y arranque de la bomba, la instalación y la seguridad utilizada por el personal y se concluyó que utilizan grasa mineral para introducir el sello mecánico en el eje, siendo este aditivo incompatible con el material elastomérico del fuelle, por lo tanto el uso de aditivos incorrectos al instalar el sello es causa fundamental de falla.

4.4.2.5 Equipo

Para evaluar la influencia de los equipos como causa de falla en los sellos mecánicos, se verificó de la misma manera que la falla anterior: la lubricación y vibraciones en la bomba, y golpes de arietes en las tuberías. Concluyendo que ninguna de las hipótesis planteadas con consideradas como causa de falla en los sellos.

4.4.2.6 Medio de Operación

Se aplicó el mismo análisis utilizado en el punto 4.4.1.6 de la falla anterior, para descartar la influencia de agentes corrosivos que dañen al sello mecánico como causa de falla. Concluyéndose para esta falla que los materiales constitutivos del sello mecánico fueron diseñados para soportar estos agentes y cumple con las condiciones de operación, por lo que se considera descartar este aspecto como posible causa de falla.

La figura 4.8 muestra un diagrama de causa-efecto con las hipótesis consideradas y descartadas utilizadas para verificar las causas del desgaste del fuelle elastomérico.

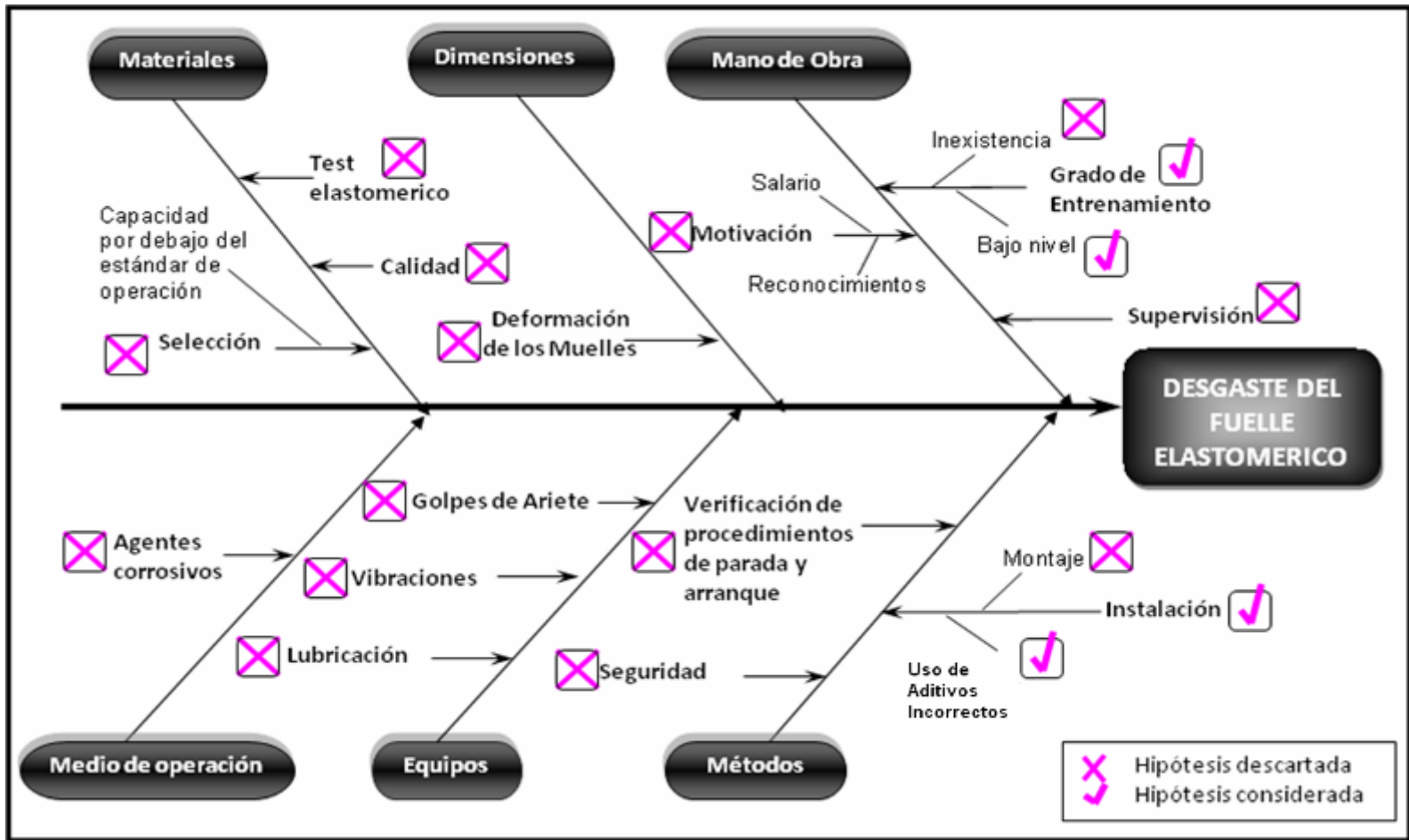


Figura N° 4.8 Diagrama causa efecto con las hipótesis consideradas y descartadas de la falla: desgaste del fuelle elastomeric en el sello mecánico.

En el diagrama causa-efecto mostrado en la figura 4.9 se presenta el descarte de las hipótesis para la falla de desgaste del fuelle elastomérico en el sello mecánico como se puede observar las causas que se producen esta falla son debidas al uso de aditivos incorrectos durante su instalación como son grasas minerales que son incompatibles con el material elastomérico del fuelle, y el bajo nivel de entrenamiento del personal de mantenimiento. Se plantea como solución eliminar el uso de grasa mineral, recomendándose el uso de grasa sintética Turmopolgrease sh 2D para instalar los anillos de desgaste. Así como adiestrar y capacitar al personal de mantenimiento

4.4.3 Falla de Adherencia de Partículas en el Sello Mecánico

Este tipo de falla se presentó en el sello correspondiente al ítem 10 de la Tabla N°4.5. Se encuentra presente en las áreas de cocimiento y filtración; los productos que circulan a través de ellos son mosto decantado y soda caústica respectivamente. A continuación se describirá y caracterizará el tipo de falla y luego se aplicará el Diagrama de Ishikawa.

Se observó que alrededor de las caras y de los componentes del sello se formó una capa de color blanco, dura y difícil de separarla como se puede apreciar en la figura 4.9.



Figura N° 4.9 Muestras del material adherido a los componentes del sello mecánico.

La figura 4.10 muestra un diagrama de causa-efecto con las hipótesis que se evaluaron para verificar las causas de estas fallas

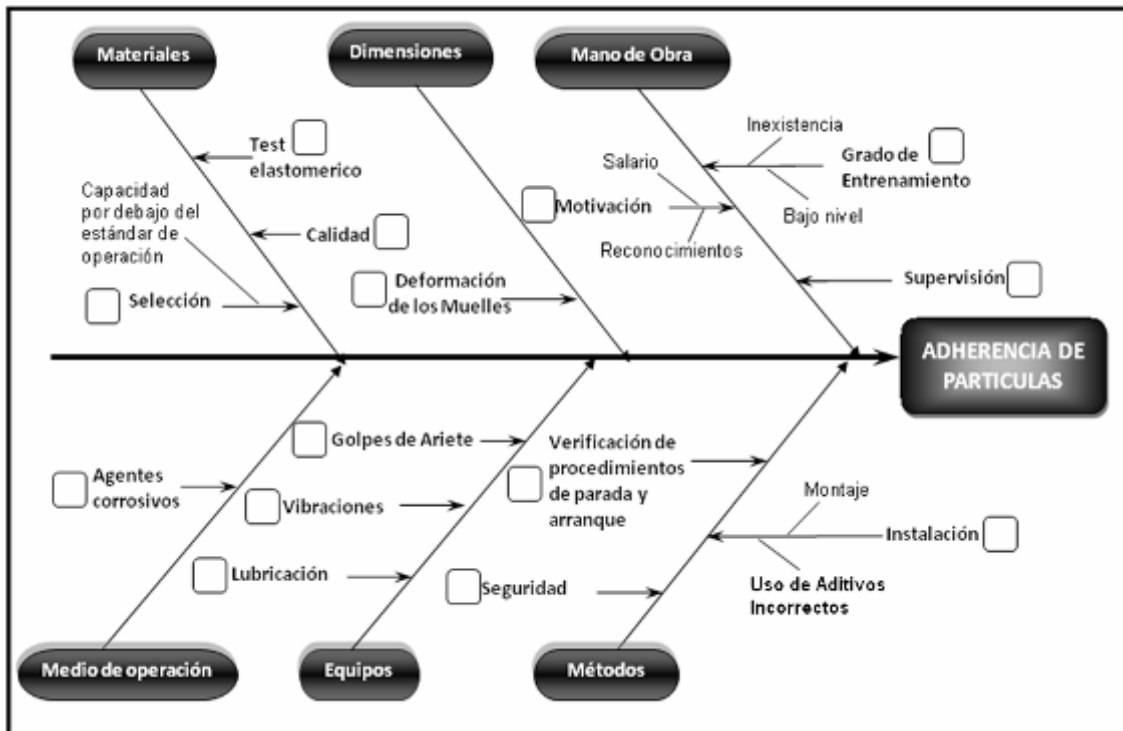


Figura N° 4.10 Diagrama causa-efecto (Ishikawa) con las hipótesis que se evaluarán de la falla: adherencia de partículas en el sello mecánico.

A continuación se describen los resultados de las evaluaciones y estudios expuestos anteriormente en el diagrama Ishikawa.

4.4.3.1 Material

Se aplicó el mismo análisis utilizado en el punto 4.4.1.1 de la falla fractura en las caras, para descartar la influencia de la selección del material del sello, la influencia de la calidad de los materiales y la verificación del material del oring por medio del test elastomérico como causa de falla. Concluyéndose que los materiales

constitutivos del sello mecánico instalado no cumple con la capacidad estándar de operación recomendada por el fabricante.

Por lo tanto se considera la hipótesis de que hubo una mala selección del material constitutivo del sello mecánico.

El ensayo realizado con el test elastomérico demostró que el tipo de material del oring es Viton, por lo que se confirma que el material del anillo elastomérico instalado es Viton.

Este tipo de sello trabaja con dos tipos de flujos diferentes mosto y soda caustica y se recomienda para ambos fluidos utilizar un sello con caras de carburos de silicio.

4.4.3.2 Dimensiones

Se aplicó el mismo análisis utilizado en el punto 4.4.1.2 de la falla fractura en las caras, para descartar la deformación de los muelles como causa de falla. Concluyéndose para esta falla que las dimensiones el sello mecánico se encuentra dentro de los parámetros exigidos por el fabricante de los sellos mecánicos, por lo que se considera descarta la hipótesis de que la deformación del muelle influye en las causas de la falla

4.4.3.3 Mano de Obra

Para evaluar la influencia de la mano de obra en las causas de fallas en los sellos mecánicos, se utilizó la misma herramienta del punto 4.4.1.3 de la falla fractura en las caras. Se aplicó el mismo instrumento “Encuesta formal sobre el clima

organizacional”. Concluyendo que si es causal de falla el grado de entrenamiento al personal.

4.4.3.4 Métodos

Para evaluar la influencia de los métodos utilizados en la instalación como causa de falla en los sellos mecánicos se verificó de la misma manera que la falla anterior: los procedimientos de parada y arranque de la bomba, la instalación y la seguridad utilizada por el personal, se observó y se concluyó que utilizan grasa mineral para introducir el sello mecánico en el eje. El resultado arrojado por el test elastomérico demostró que el material del oring es Vitón, la composición química de este agregado es compatible con la grasa mineral. Por lo tanto el uso de aditivos incorrectos al instalar el sello mecánico no se considera como causa de falla.

4.4.3.5 Equipo

Para evaluar la influencia de los equipos como causa de falla en los sellos mecánicos, se verificó de la misma manera que la falla anterior: la lubricación y vibraciones en la bomba, y golpes de arietes en las tuberías. Concluyendo que ninguna de las hipótesis planteadas con consideradas como causa de falla en los sellos

4.4.3.6 Medio de Operación

a) Agentes Corrosivos

Se aplicó el mismo análisis utilizado en el punto 4.4.1.6 de la falla fractura en las caras, para descartar la influencia de agentes corrosivos que dañen al sello mecánico como causa de falla. Concluyéndose para esta falla que los medios en el que se encuentra operando el sello mecánico son mosto y soda cáustica, agentes corrosivos tanto para el carbono de las caras del sello estacionario como para el sello

rotativo. Debido a la mala selección de los materiales constitutivos del sello mecánico, éstos no se encuentran diseñados para soportar estos agentes. Por la tanto se considera este aspecto como causa de falla.

La figura 4.11 muestra un diagrama de causa-efecto con las hipótesis consideradas y descartadas utilizadas para verificar las causas de la adherencia de partículas en el sello.

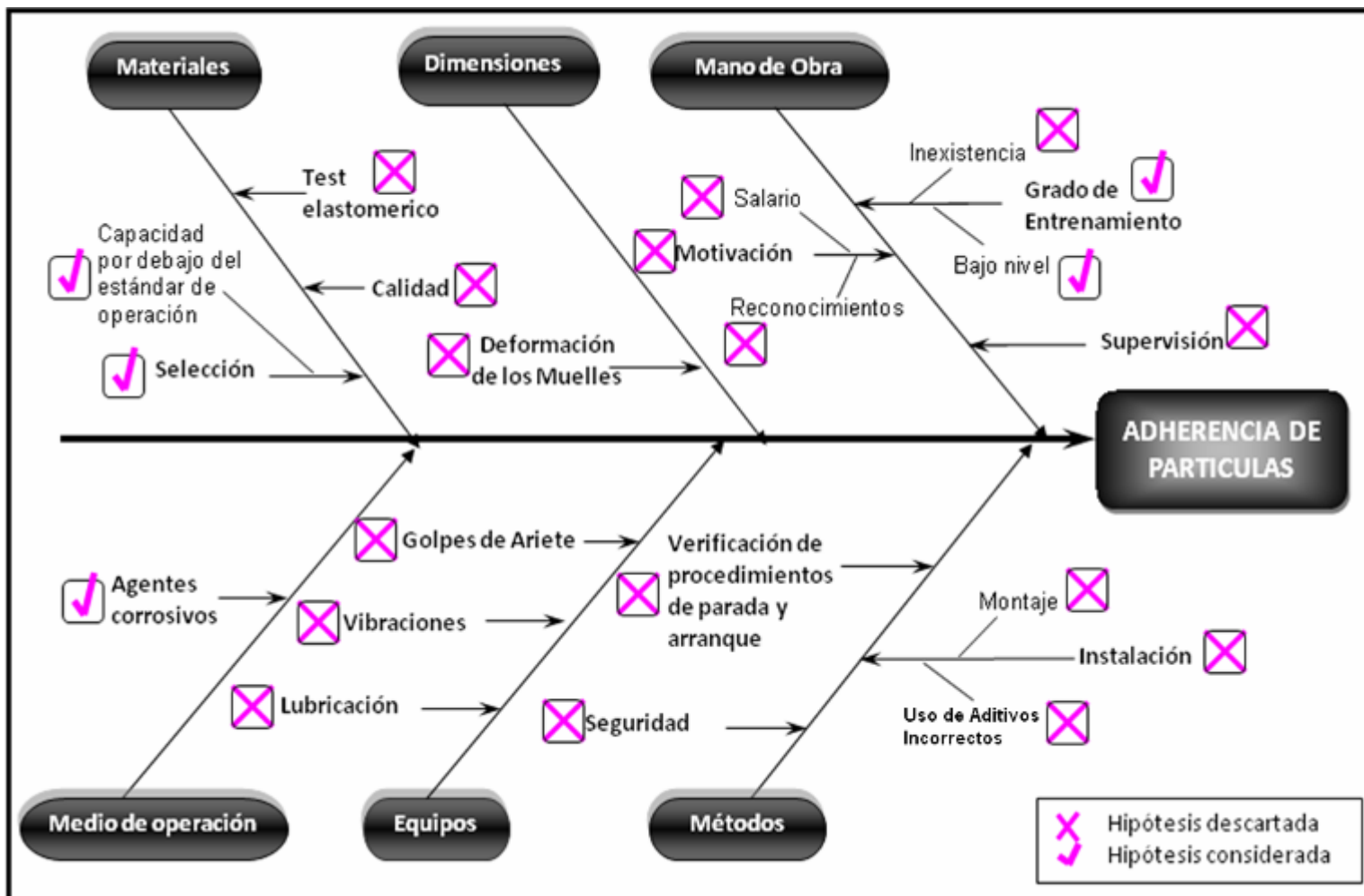


Figura N° 4.11 Diagrama causa efecto con las hipótesis descartadas y consideradas de la falla: adherencia de partículas en el sello mecánico.

En el diagrama causa-efecto mostrado en la figura 4.11 se presenta el descarte de las hipótesis para la falla de adherencia de partículas como se puede observar las causas que se producen esta falla son debidas a una mala selección de material del sello mecánico con respecto al flujo bombeado y la falta de entrenamiento del personal de mantenimiento. Se recomienda cambiar el tipo de sello mecánico por uno con caras de carburo de silicio, material compatible con las condiciones del fluido bombeado, así como reforzar el adiestramiento y capacitación del personal del mantenimiento sobre la instalación de sellos mecánicos

4.4.4 Falla de Desgaste o Rayado en las Caras del Sello Mecánico

Este tipo de falla se encuentra en el sello correspondiente al ítem 7 de la Tabla N° 4.5. Este tipo de sello se encuentra presente en el área de cocimiento y el principal producto que circula es azúcar caramelizada. A continuación se describirá y caracterizará el tipo de falla y luego se aplicará el Diagrama de Ishikawa.

Se observó el sello tanto estático como rotativo desgastada y rayada alrededor de las caras como se puede apreciar en la figura 4.12.



Figura N° 4.12 Muestra de la falla de desgaste y rayado de las caras en el sello mecánico.

La figura 4.13 muestra un diagrama de causa-efecto con las hipótesis que se evaluaron para verificar las causas de estas fallas

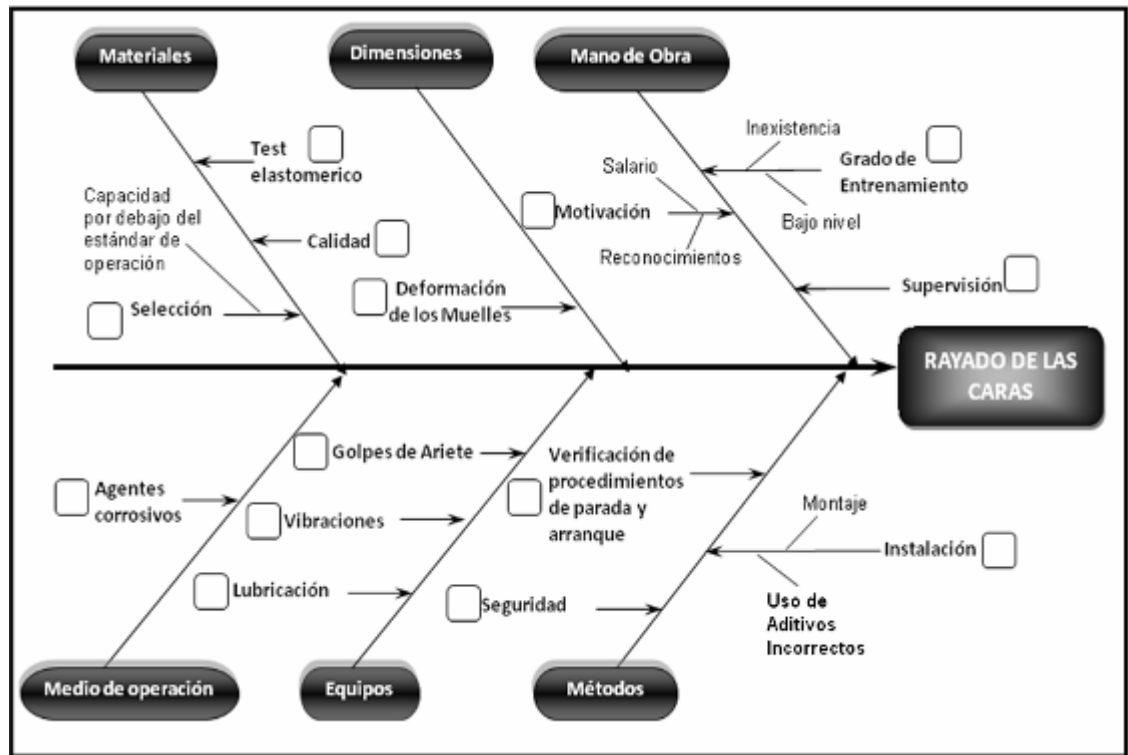


Figura N° 4.13 Diagrama causa-efecto (Ishikawa) con las hipótesis que se evaluarán de la falla: rayado en las caras del sello mecánico.

A continuación se describen los resultados de las evaluaciones y estudios expuestos anteriormente en el diagrama Ishikawa.

4.4.4.1 Material

Se aplicó el mismo análisis utilizado en el punto 4.4.1.1 de la falla fractura en las caras, para descartar la influencia de la selección del material del sello, la influencia de la calidad de los materiales y la verificación del material del oring por medio del test elastomérico como causa de falla y se llegó a las mismas conclusiones

expuestas en el punto señalado, por lo que se considera descartar estas hipótesis como causa de falla.

4.4.4.2 Dimensiones

Se aplicó el mismo análisis utilizado en el punto 4.4.1.2 de la falla fractura en las caras, para descartar la deformación de los muelles como causa de falla. Concluyéndose para esta falla que las dimensiones del sello mecánico se encuentra dentro de los parámetros exigidos por el fabricante de los sellos mecánicos, por lo que se considera descarta la hipótesis que la deformación del muelle influye en las causas de la falla

4.4.4.3 Mano de Obra

Para evaluar la influencia de la mano de obra en las causas de fallas en los sellos mecánicos, se utilizó la misma herramienta del punto 4.4.1.3 de la falla fractura en las caras. Se aplicó el mismo instrumento “Encuesta formal sobre el clima organizacional”. Concluyendo que si es causal de falla el grado de entrenamiento al personal.

4.4.4.4 Métodos

Para evaluar la influencia de los métodos utilizados en la instalación como causa de falla en los sellos mecánicos se verificó de la misma manera que la falla anterior: los procedimientos de parada y arranque de la bomba, la instalación y la seguridad utilizada por el personal y se concluyó que utilizan grasa mineral para introducir el sello mecánico en el eje, siendo este aditivo incompatible con el material elastomérico del fuelle, por lo tanto el uso de aditivos incorrectos al instalar el sello es causa fundamental de falla.

Además se observó que al realizar el montaje debido a la forma del impulsor (abierto) éste quedaba mordiendo la punta del resorte del sello mecánico evitando una correcta compresión en las caras del sello ocasionando que estas se rayaran. Por lo tanto el mal montaje en instalación del sello es causa principal de esta falla.

4.4.4.5 Equipo

Para evaluar la influencia de los equipos como causa de falla en los sellos mecánicos, se verificó de la misma manera que la falla anterior: la lubricación y vibraciones en la bomba, y golpes de arietes en las tuberías. Concluyendo que ninguna de las hipótesis planteadas con consideradas como causa de falla en los sellos

4.4.4.6 Medio de Operación

Se aplicó el mismo análisis utilizado en el punto 4.4.1.6 de la falla fractura en las caras, para descartar la influencia de agentes corrosivos que dañen al sello mecánico como causa de falla. Concluyéndose para esta falla que los materiales constitutivos del sello mecánico fueron diseñados para soportar estos agentes y cumple con las condiciones de operación, por lo tanto se considera descartar este aspecto como posible causa de falla.

La figura 4.14 muestra un diagrama de causa-efecto con las hipótesis consideradas y descartadas utilizadas para verificar las causas de estas fallas:

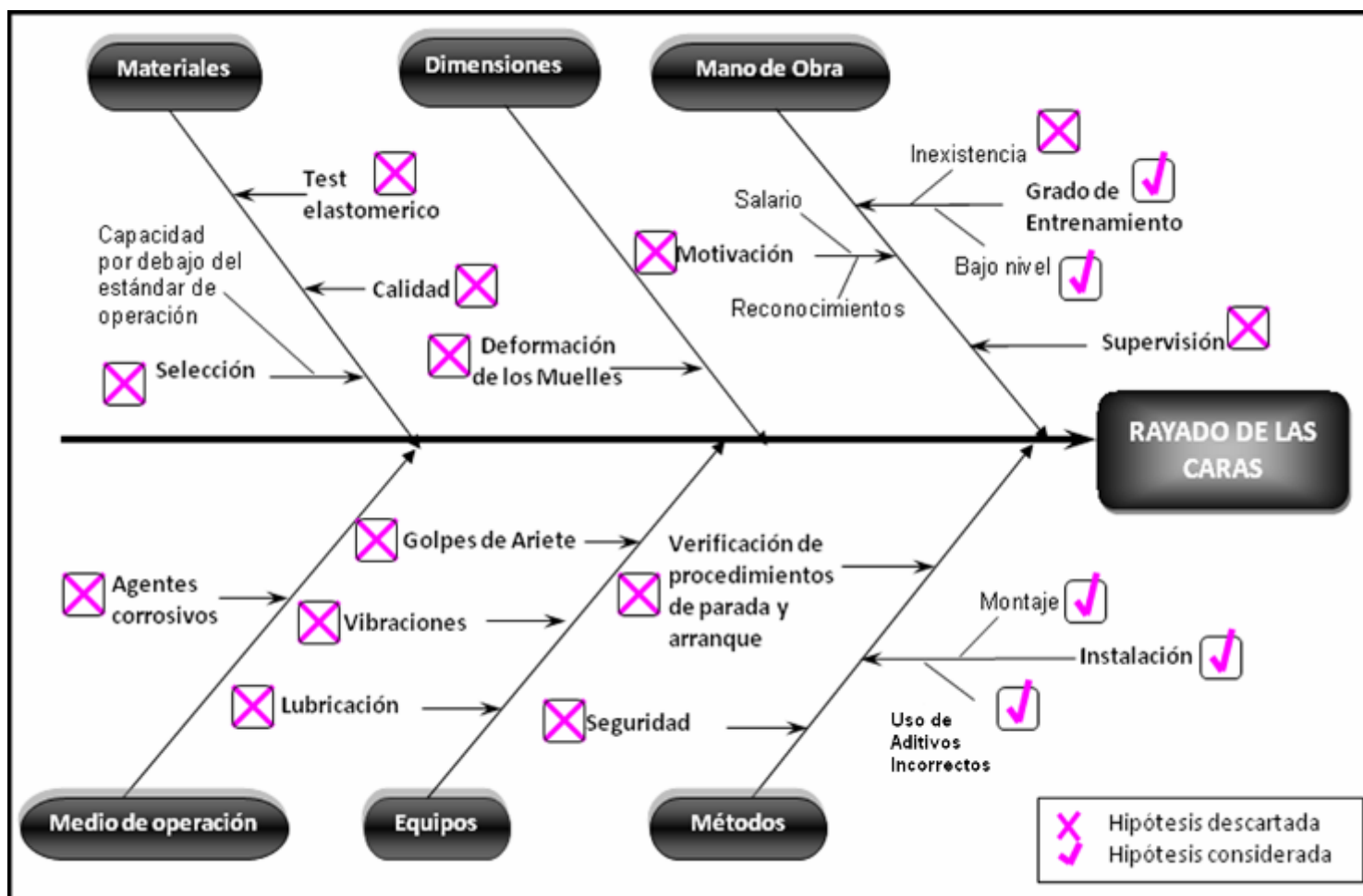


Figura N° 4.14 Diagrama causa efecto con las hipótesis consideradas y descartadas de la falla: rayado en las caras del sello mecánico.

En el diagrama causa-efecto mostrado en la figura 4.14 se presenta el descarte de las hipótesis para la falla de desgaste y rayado de las caras del sello mecánico como se puede observar las causas que se producen esta falla debidas a un mal montaje del sello mecánico, el uso de aditivos incorrectos al instalar el sello y la falta de entrenamiento del personal de mantenimiento. Se plantea tener especial cuidado al instalar este tipo de sello en la bomba debido a que por la geometría del impeler de la bomba, éste puede presentar errores de montaje, así como reforzar el adiestramiento y capacitación del personal de mantenimiento sobre el mantenimiento e instalación de sello mecánicos.

4.5 Resultado de las Propuestas de Acciones y/o Lineamientos para la Disminución de la Frecuencia de Fallas en los Sellos Mecánicos, en Función de las Causas Determinadas en el Análisis Anterior

Para cumplir con los objetivos de la investigación, se propondrá a continuación algunas formas de solución a las causas que producen las fallas de los sellos mecánicos. Las siguientes propuestas se realizarán con el fin de lograr suministrar información valiosa que permitan la pronta solución a los problemas y de esta manera atenuar en gran medida las fallas presentadas en la planta.

4.5.1. Fractura en las caras de los sellos mecánicos

Causas

- Grado de entrenamiento del personal de mantenimiento
- Bajo nivel de capacitación técnica.
- Deformación de los muelles.
- Instalación inapropiada.
- Uso de aditivos incorrectos.

Propuesta

- Verificar que el descentramiento del eje, deflexión del eje y juego terminal axial en el equipo sean del tamaño apropiado con respecto al sello a utilizar para un correcto funcionamiento del sistema.
- Verificar las longitudes operacionales de cada sello antes de instalarlo según el modelo del sello mecánico en el catálogo del fabricante.
- Utilizar grasa sintética Turmopolgrease sh 2D para instalar los anillos elastoméricos (oring).
- Adiestrar al personal con cursos sobre instalación de sellos mecánicos y otras formas de capacitación técnica apropiadas para el correcto desenvolvimiento de los mismos en la empresa.

4.5.2. Desgaste del Fuelle Elastomérico del Sello Mecánico

Causas

- Grado de entrenamiento del personal de mantenimiento.
- Bajo nivel de capacitación técnica.
- Instalación inapropiada.
- Uso de aditivos incorrectos.

Propuestas

- Se propone hacer análisis químico del fluido, para seleccionar el sello.
- Revisar los materiales utilizados por el sello mecánico instalados con los recomendados por el catálogo del fabricante para constatar que sean los apropiados para el flujo de bombeado.
- Utilizar grasa sintética Turmopolgrease sh 2D para instalar los anillos elastoméricos.
- Como control de las especificaciones del sello utilizar el tester elastomérico para verificar el material de los anillos elastoméricos que se vayan a instalar.

- Adiestrar al personal con cursos sobre instalación de sellos mecánicos y otras formas de capacitación técnica apropiadas para el correcto desenvolvimiento de los mismos en la empresa.
- Reducir la temperatura y/o presión de operación por medio del plan API 23. Este plan consiste en realizar una circulación forzada por un anillo de bombeo, en un circuito cerrado desde la caja de sellado, pasando por un intercambiador de calor.
- Cambiar el sello tipo MG1/G6 por el tipo M37G/G6 o un tipo Cartex. En la Tabla N° 4.6 se muestran las condiciones de estos sellos, estas condiciones fueron suministradas por el fabricante de sellos mecánicos. La frecuencia de falla del sistema actual suministrada por el sistema SAP R/3 es de 2 a 3 fallas anuales, debido al fuelle elastomérico. Este sello trabaja dentro de sus límites operacionales y es utilizado en las Pailas.

Tabla N°4.6. Comparación de las características de operación de los sellos MG1, M37G y CARTEX, utilizados para la propuesta de cambio del tipo de sello mecánico.

Características		Modelo del sello		
		MG1	M37G (Recomendado)	CARTEX (Recomendado)
Operaciones Límites	Diámetro	10 a 100 mm	16 mm en adelante	25 a 100 mm
	Presión	12 bar	10 bar	20 bar
	Temperatura	-20 a 120 °C	-20 a 180 °C	-40 a 220 °C
	Vg	10 m/s	20 m/s	16 m/s
Materiales	Caras	Q1Q1	Q12Q1	Q12Q1
	O-ring	E	E	E
	Otros	GG	GG	GM
Facilidad de mantenimiento	Mala			
	Regular	X	X	
	Buena			X
Instalación		Difícil	Regular	Fácil
Adaptaciones para la instalación		No requiere	No requiere	Requiere dos tornillos
Costo				
Contacto con el fluido		En contacto con el fluido	En contacto con el fluido	Resortes fuera del contacto con el fluido
Observaciones		No depende del sentido de giro No balanceado Empuje mono resorte	Depende del sentido de giro No balanceado Empuje mono resorte	No depende del sentido de giro Balanceado Cartucho De empuje "resortes estacionarios"

4.5.3. Adherencia de Partículas en el Sello Mecánico

Causas

- Capacidad de los materiales constitutivos del sello por debajo del estándar de operación recomendado por el fabricante de sellos mecánicos.
- Selección inapropiada de los materiales del sello mecánico para el flujo de bombeado.
- Bajo nivel de capacitación técnica.
- Agentes corrosivos en el medio de operación.

Propuestas

- Realizar un análisis químico del fluido que se adhiera a las partes del sello mecánico.
- Verificar que el sello haya sido diseñado para las condiciones para la cual está trabajando.
- Adiestrar al personal con cursos sobre instalación de sellos mecánicos y otras formas de capacitación técnica apropiadas para el correcto desenvolvimiento de los mismos en la empresa.
- Colocar un sello de caras de carburo de silicio o carburo de tungsteno.

4.5.4. Rayado en las Caras del Sello Mecánico

Causas

- Grado de entrenamiento del personal de mantenimiento.
- Bajo nivel de capacitación técnica.
- Uso de aditivos incorrectos.
- Montaje inapropiado.

Propuestas

- Corregir procedimientos de ensamble.
- Adiestrar al personal con cursos sobre instalación de sellos mecánicos y otras formas de capacitación técnica apropiadas para el correcto desenvolvimiento de los mismos en la empresa.
- Utilizar grasa sintética para instalar los anillos elastoméricos.

4.6 Resultado del Manual de Instrucciones para el Manejo, Instalación e Inspección Necesaria Durante el Mantenimiento de los Sellos Mecánicos de las Bombas de Procesos de la Planta

A lo largo del presente capítulo se determinó por medio del diagrama Ishikawa las principales causas de las fallas en los sellos mecánicos, coincidiendo en todas las fallas el bajo nivel de capacitación técnica del personal de mantenimiento como factor causal de las mismas, por lo que se elaboró el manual de instrucción e inspección de los sellos mecánicos con el propósito de poseer con un instructivo para el uso interno del Departamento de Mantenimiento de la empresa y para instruir a los operadores sobre el manejo de los componentes del sello mecánico.

Este instructivo permitirá disminuir las causas de las fallas encontradas en los sellos mecánicos por medio de la instrucción a los operadores, les permitirá adquirir conocimientos sobre definición de términos empleados en los sellos, medidas de seguridad, las instrucciones para el manejo, instalación e inspección necesaria durante el mantenimiento de los sellos mecánicos, la caracterización diversos tipos de fallas, sus causas y formas de eliminación.

Por limitaciones de espacio en el apéndice H se ubicó este manual de instrucciones para el manejo, instalación e inspección de los sellos mecánicos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El inventario realizado al área de elaboración de cerveza y malta arrojó: 51 bombas centrífugas y 16 sellos mecánicos para el área de cocimiento, 26 bombas centrífugas y 8 sellos mecánicos para el área de fermentación, 42 bombas centrífugas y 6 sellos mecánicos para el área de filtración; para un total de 119 bombas centrífugas y 22 tipos de sellos mecánicos.
- En las 119 bombas presentes en la elaboración de la cerveza y malta: 79 de ellas fallaron únicamente por el sello mecánico y las 40 restantes presentaron fallas por causa de los rodamientos y motor entre otros; durante un lapso de tres (3) años.
- Se determinaron 12 bombas críticas, mediante el Principio de Pareto. Estas bombas utilizan 5 tipos diferentes de sellos mecánicos.
- Se clasificaron las 12 bombas críticas: 8 bombas y 5 diferentes tipos de sellos para el área de cocimiento, 3 bombas y 2 sellos mecánicos para el área de filtración, 1 bomba y 1 sello mecánico para el área de fermentación.
- En los cinco (5) tipos de sellos mecánicos, se encontraron las cuatro (4) fallas recurrentes: fractura en las caras, desgaste del fuelle elastomérico, adherencia de partículas y desgaste o rayado de las caras.

- Las causas de la fractura en las caras del sello mecánico son: el ajuste o compresión incorrectos en la longitud operacional del resorte, durante la medición de sus dimensiones.
- Las causas del desgaste del fuelle elastomérico son: el uso de aditivos no apropiados durante su instalación.
- Las causas de la adherencia de partículas en el sello mecánico son: la mala selección del material del sello mecánico con respecto al flujo bombeado.
- Las causas del desgaste o rayado en las caras del sello mecánico son: mal montaje del sello mecánico y el uso de aditivos incorrectos al instalar el sello.
- El bajo nivel de entrenamiento del personal de mantenimiento influyó en las cuatro (4) fallas analizadas.
- La encuesta de clima organizacional aplicada a los 17 empleados del área de elaboración suministró como resultado un 46 por ciento de insatisfacción en relación con el grado de entrenamiento ofrecido al personal, a la limitada capacitación y desarrollo con respecto a sellos mecánicos para adquirir y reforzar sus competencias, así como los conocimientos sobre instalación de los mismos; y un 35 por ciento satisfecho.

5.2 Recomendaciones

- Implementar todas las propuestas y/o lineamientos planteados en el capítulo cuatro (4), para la disminución de la frecuencia de fallas en los sellos mecánicos.
- Adiestrar al personal con cursos sobre instalación de sellos mecánicos, cursos de manejo del sistema SAP R/3 y otras formas de capacitación técnica apropiadas para el correcto desenvolvimiento de los mismos en la empresa, así como proporcionar material de apoyo al personal y que este se encuentre escrito en español apto para el nivel de los empleados.
- Publicar y hacer uso del manual de instrucciones para el manejo, instalación e inspección necesaria durante el mantenimiento de los sellos mecánicos de las bombas de procesos de la Planta.
- Registrar en el sistema SAP R/3 información detallada de las fallas detectadas en los sellos mecánicos, por medio de la utilización de la hoja de registro de fallas para tener una visión más clara de lo que le ocurre al equipo.
- Verificar las longitudes operacionales de cada sello, según el modelo, antes de instalarlo en la bomba.
- Se recomienda realizar un análisis químico del fluido, cuando se presenten fallas en el sello mecánico por causas de adherencia de partículas en todo el sello, para seleccionar correctamente el sello mecánico a instalar en el medio.

- Implementar el uso de grasa sintética Turmopolgrease SH 2D para los anillos elastoméricos (o-rings).
- Utilizar como medio de seguridad y control de calidad el tester elastomérico para comprobar el material de los anillos elastoméricos, tanto de los que se va a instalar como de los que entra en stock de almacén.
- Estandarizar los tipos de sello en la empresa: se recomienda utilizar las caras de carburo de silicio o carburos de tungsteno, los anillos elastoméricos de EPDM, los resortes (muelles) y otros componentes de aceros CrNiMo.
- En el plan de mantenimiento predictivo incluir un análisis de vibraciones de las bombas para controlar posibles fallas por vibraciones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. MALAVE J., **“Análisis de las causas que ocasionan las fallas en un motocompresor reciprocante”**, Informe de Pasantía, Universidad de Oriente (2005).
- [2]. JAIME N., **“Diseño y construcción de anillos de desgaste para bombas centrífugas”**, Informe de Pasantía, Universidad de Oriente (1999).
- [3]. BRODERICK H., **“El Cerveceros en la Práctica: Un Manual para la Industria Cervecera”**, Asociación de Maestros Cerveceros de las América, Segunda edición, USA (1977).
- [4]. **“El arte de elaborar la cerveza Polar”**, Editado por Empresas Polar C.A. (1999).
- [5]. MATAIX, C., **“Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas”**, Segunda Edición. Editorial Harla. México (2001).
- [6]. JOHN CRANE VENEZUELA, **“Manual de sellos mecánicos”**, Barquisimeto, Estado Lara.
- [7]. EAGLE BURGMANN, **“Application Mechanical Seals”**, Wolfratshausen, Germany. Special Print Series
- [8]. MCNAUGHTON, K., **“Bombas, Selección, Uso y Mantenimiento”**, Segunda Edición, Editorial McGraw-Hill, México (1992).

- [9]. **“Manual de análisis de falla en materiales”**, Vencemos (1992).
- [10]. **“Manual de Mantenimiento”**, PDVSA, San Tomé (1988).
- [11]. VILLANUEVA E., **“Productividad del mantenimiento industrial”**, Editorial Continental S.A, México (2000).
- [12]. Manual Fondonorma **“Control Estadístico de Procesos y sistemas de la calidad”**, Barcelona, Marzo (2002).
- [13]. DUFFUAA, S. y DIXON, J. **“Sistemas de mantenimiento, planeación y control”**, Segunda Edición, Editorial Limusa Wiley S:A, México (2004).
- [14]. SUAREZ D., **Guía de Mantenimiento Mecánico**. Departamento de Mecánica, Universidad de Oriente - Núcleo Anzoátegui. Puerto la Cruz (2003).

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	“ANÁLISIS DE FALLAS DE LOS SELLOS MECÁNICOS EN LAS BOMBAS DE PROCESO DE UNA PLANTA CERVECERA”
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
CORDOVA A. MARIGRE	CVLAC: 16.254.365 EMAIL: indifuyuney@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Fallas
Sellos mecánicos
Mosto cervecero
Diagrama Causa-Efecto

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS	
	INGENIERÍA MECÁNICA

RESUMEN (ABSTRACT):

La investigación se fundamenta en el análisis de las fallas de los sellos mecánicos en las bombas centrífugas de proceso de la planta Cervecería Polar C.A, ubicada en el sector Ojo de Agua en Barcelona, estado Anzoátegui; con la finalidad de obtener las causas de estas fallas. Mediante el sistema de mantenimiento SAP R/3 se obtuvo el historial de fallas por sellos mecánicos ocurridas en las bombas centrífugas, registrados en la empresa durante los últimos tres (3) años. Para desarrollar este análisis se aplicó la metodología del Principio de Pareto con el objetivo de determinar las bombas que presentaban la más alta frecuencia de falla por sellos mecánicos, que impactaban considerablemente en los costos de producción y se aplicó la metodología de análisis Causa-Efecto, con el objeto de determinar las causas de las fallas de los sellos mecánicos. Las causas principales fueron: mala instalación, manejo inapropiado de los componentes del sello mecánico, ajuste incorrecto de los muelles e incompatibilidad de los materiales constitutivos del sello mecánico con el flujo bombeado. Para verificar las causas de las fallas de los sellos mecánicos se recopiló la información de las condiciones operativas del equipo; la aplicación de ensayos mecánicos, como test elastomérico, medición de las deformaciones de los muelles; verificación de los procedimientos de parada y arranque, y basándose en los resultados obtenidos, se propusieron medidas que permitieran la disminución de tales fallas y se elaboró un manual de instalación e inspección de los sellos mecánicos.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / EMAIL				
Martínez, Luís	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:	8.499.616			
	E_MAIL	luismart56@hotmail.com			
	E_MAIL				
Bravo, Darwin	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	8.298.181			
	E_MAIL	darwinjbg@cantv.net			
	E_MAIL				
Griffith, Luís	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	5.194.070			
	E_MAIL	luisgriffith21@hotmail.com			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2.009	04	16
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. ANÁLISIS DE FALLAS DE LOS SELLOS MECÁNICOS EN LAS BOMBAS DE PROCESO DE UNA PLANTA CERVECERA.doc	APPLICATION/MSWORD

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I
J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y
z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: Cervecería Polar C.A. Planta Oriente. Área de Elaboración

TEMPORAL: 6 meses

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Mecánico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Mecánica

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente. Núcleo Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al Artículo 57 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Para la Aprobación Definitiva de los Cursos Especiales de Grado como Modalidad de Trabajo de Grado, será requisito parcial la entrega, a un Jurado Calificador de una Monografía en la cual se profundice en uno o más Temas Relacionados con el Área de Concentración”

AUTOR

MARIGRE CORDOVA

TUTOR

Prof. Luís Martínez

JURADO

Prof. Darwin Bravo

JURADO

Prof. Luís Griffith

POR LA SUBCOMISION DE TESIS

Prof. Delia Villarroel