

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMA DE BOMBEO SP801 DE LA  
UNIDAD DE SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA DE  
BARRANCABERMEJA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA RCA.

DANIEL ANDRES SOSSA TELLEZ.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO – QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS  
BUCARAMANGA  
2021

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMA DE BOMBEO SP801 DE LA  
UNIDAD DE SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA DE  
BARRANCABERMEJA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA RCA.

DANIEL ANDRES SOSSA TELLEZ.

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de Especialista  
en Producción de Hidrocarburos.

Director  
PhD. Ronald Alfonso Mercado Ojeda.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO – QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS  
BUCARAMANGA  
2021

## **DEDICATORIA.**

*Dedico este trabajo a Dios y a mi familia quienes continuamente demuestran su amor y cariño y son el motor me mueven mi vida.*

**Daniel S.**

## **AGRADECIMIENTOS.**

El autor de este documento manifiesta sus más sinceros agradecimientos a la Universidad Industrial de Santander por formar especialistas en Producción de Hidrocarburos.

## CONTENIDO.

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN.....	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
2. JUSTIFICACIÓN.....	15
3 OBJETIVOS.....	16
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
4. ANÁLISIS DE LA LITERATURA.....	17
4.1. MARCO HISTÓRICO.....	17
4.2. MARCO TEÓRICO.....	18
4.2.1. Análisis de causa raíz o RCA.....	18
4.2.2. Equipo de trabajo para elaboración de RCA.....	19
4.2.3. Aplicación del análisis causa raíz.....	20
4.2.4. Sistemas de bombeo.....	21
4.2.5. Bombas desplazamiento positivo.....	22
4.2.6. Bombas dinámicas “Centrifugas”.....	22
4.2.7. Método de tintas penetrantes para evaluación de soldaduras.....	23
4.2.8. Sensores de presión.....	23
4.3. MARCO CONCEPTUAL.....	24
4.3.1. Mantenimiento predictivo.....	24
4.3.2. Mantenimiento preventivo.....	25
4.3.3. Mantenimiento correctivo.....	26

5. SISTEMAS Y SUB SISTEMAS QUE COMPONEN LA BOMBA SP801 EN LA PLANTA DE SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA BARRANCABERMEJA.....	28
5.1. FUNCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE HACEN PARTE DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	29
5.1.1. Metodología RCA aplicada al sistema de bombeo.....	29
5.1.2. Metodología RCA aplicada a tubería y sensores de presión.....	32
5.1.3. Desarrollo de la solución.....	34
6. ESTÁNDAR DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA BOMBA SP801 DE LA PLANTA DE SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA BARRANCABERMEJA.....	35
6.1. ESTÁNDAR DE MANTENIMIENTO DE LA BOMBA SP801.....	35
6.1.1. Actividades de mantenimiento de la bomba SP801.....	38
6.2. Estándar de mantenimiento y calibración de los sensores de presión PIT80101 y PT80102.....	45
6.2.1. Limpieza.....	46
6.2.2. Configuración.....	46
6.2.3. Verificación.....	47
6.3. ESTÁNDAR PARA INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES.....	48
6.3.1. Tintas penetrantes.....	48
7. PAQUETES DE TRABAJO PARA ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA BOMBA SP801 DE SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA BARRANCABERMEJA.....	50
7.1. INDICADOR OPERATIVO DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	50
7.2.ELEMENTOS QUE CONFORMAN LOS PAQUETES DE MANTENIMIENTO.....	51

7.3. PAQUETES DE TRABAJO PARA EL ÁREA MECÁNICA. ....	52
7.4. PAQUETES DE TRABAJO PARA EL ÁREA INSTRUMENTOS.....	53
7.5. PAQUETES DE TRABAJO PARA EL ÁREA METALÚRGICA. ....	54
8. CONCLUSIONES. ....	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
ANEXOS.....	58

## ÍNDICE DE TABLAS.

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo.....	26
Tabla 2 Ventajas y desventajas del mantenimiento correctivo. ....	27
Tabla 3 Elementos que componen el sistema de bombeo SP801.....	28
Tabla 4 Reporte de falla en rodamientos. ....	31
Tabla 5 Reporte de falla en sensores de presión. ....	33
Tabla 6 Lista de chequeo para mantenimiento de bomba SP801.....	36
Tabla 7 Verificación de transmisores de presión. ....	48
Tabla 8 Cronograma actividades mantenimiento sistema de bombeo.....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Cabezal de distribución de agua cruda.....	15
Figura 2 Historia de la refinería de Barrancabermeja. ....	17
Figura 3 Análisis para clasificar fallas. ....	18
Figura 4 Preguntas para realizar un RCA. ....	19
Figura 5 Equipo para la elaboración de un RCA.....	19
Figura 6 Análisis del problema en la ejecución del RCA.....	20
Figura 7 Clasificación sistemas de bombeo.....	21
Figura 8 Funcionamiento bomba desplazamiento positivo. ....	22
Figura 9 Bomba centrífuga tipo voluta. ....	22
Figura 10 Clasificación de sensores de presión.....	23
Figura 11 Tipos de mantenimiento.....	24
Figura 12 Variables registradas en mantenimiento predictivo. ....	25
Figura 13 Fases para la ejecución de mantenimiento preventivo. ....	26
Figura 14 Sistema de bombeo SP801. ....	28
Figura 15 Función de los elementos que componen el sistema de bombeo. ....	29
Figura 16 Bomba SP801.....	30
Figura 17 Diagrama causa efecto de falla en rodamientos. ....	32
Figura 18 Diagrama causa efecto de falla en sensores de presión. ....	33
Figura 19 Diagrama causa efecto de falla tubería. ....	34
Figura 20 Funciones y fallas funcionales de sistema de bombeo.....	35
Figura 21 Puntos de lubricación de las balineras de la bomba SP801. ....	37
Figura 22 Chequeo diario y mensual de la bomba SP801 .....	38
Figura 23 Realizar lavado de bomba .....	39
Figura 24 Ubicar bomba en posición vertical. ....	40
Figura 25 Diferencial para izaje de coca.....	40
Figura 26 Desinstalación de los tornillos de anclaje en el plato de restricción que forma parte del cuerpo de la bomba. ....	42

Figura 27 Retiro de manzana de acople y el deflector.....	43
Figura 28 Tornillo de anclaje de la caja de rodamientos.....	43
Figura 29 Actividades de mantenimiento sensores de presión.....	46
Figura 30 Conexión HART a sensores de presión.....	47
Figura 31 Conexiones para realizar verificación.....	48
Figura 32 Causa efecto para evitar no detectar fisuras en tuberías.....	49
Figura 33 Elementos que conforman los paquetes de mantenimiento.....	52
Figura 34 Paquetes de trabajo para área mecánica.....	53
Figura 35 Paquetes de trabajo para área instrumentos.....	53
Figura 36 Paquetes de trabajo para área metalúrgica.....	54

## RESUMEN.

**TITULO:** Plan de mantenimiento para sistema de bombeo sp801 de la unidad de servicios industriales de la refinería de Barrancabermeja utilizando la metodología RCA\* .

**AUTOR:** Daniel Andres Sossa Tellez\*\*

**PALABRAS CLAVES:** RCA, Mantenimiento, Sensor de presión, sistemas de bombeo.

**DESCRIPCIÓN:** Para iniciar en este trabajo de grado se hace referencia a aspectos como que es un RCA (Análisis de Causa Raíz) y cuáles son los aspectos de mayor relevancia para su aplicación como por ejemplo equipo de trabajo para su elaboración, adicionalmente se presentan los sistemas de bombeo enfatizando en bombas dinámicas “centrifugas”, sensores de presión electrónicos de equilibrio de fuerzas, piezoeléctricos, extensiométricos, seguido a esto se definen conceptos de mantenimiento, correctivo y predictivo, preventivo, este ultimo se trata de actividades periódicas sobre un equipo o proceso con el fin de identificar condiciones de falla que puedan generar paradas de la producción o maquinaria. Ya en el desarrollo de este trabajo de grado se presentan los aspectos de mayor relevancia para realizar el mantenimiento de sistema de bombeo SP801 el cual se basa en estándar de mantenimiento, limpieza, configuración, verificación, paso a paso para realizar inspección utilizando el método de tintas penetrantes, para llegar a este se inicia con la identificación de los sistemas y subsistemas para aplicar el RCA al sistema de bombeo, tubería y sensores de presión, para el caso de los paquetes de mantenimiento se establece indicador de sistema operativo, elementos que conforman los paquetes de mantenimiento, paquetes de trabajo para área mecánica, instrumentos y metalurgia.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Hidrocarburos, Director:

## ABSTRACT

**TITLE:** Maintenance plan for pumping system sp801 of the industrial services unit of the Barrancabermeja refinery using the RCA methodology \*

**AUTHOR:** Daniel Andres Sossa Tellez \*\*

**KEY WORDS:** RCA, Maintenance, Pressure sensor, pumping systems.

**DESCRIPTION:** To start this degree work, reference is made to aspects such as RCA (Root Cause Analysis) and decisions are the most relevant aspects for its application, such as work equipment for its elaboration, additionally, the systems of pumping emphasizing on dynamic “centrifugal” pumps, electronic pressure sensors for balance of forces, piezoelectric, extensiometric, followed by maintenance, corrective and predictive, preventive concepts, the latter is about periodic activities on a team or process with in order to identify fault conditions that will generate production or machinery stoppages. Already in the development of this degree work, the most relevant aspects are presented to perform the maintenance of the SP801 pumping system, which is based on the standard of maintenance, cleaning, configuration, verification, step by step to perform inspection using the method of penetrating inks, to reach this, it begins with the identification of the systems and subsystems to apply the RCA to the pumping system, piping and pressure sensors, in the case of maintenance packages an operating system indicator is established, elements that make up maintenance packages, work packages for mechanical area, instruments and metallurgy.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Specialization in Hydrocarbon Management, Director

## **INTRODUCCIÓN.**

La operación de diferentes plantas en la refinería Barrancabermeja dependen del sistema de bombeo SP801 del área servicios industriales, es por ello que se plantea como objetivo principal elaborar un plan de mantenimiento para el sistema de bombeo SP801 de la Unidad de Servicios industriales de la Refinería de Barrancabermeja utilizando la metodología RCA y de acuerdo a los objetivos planteados procede a dividir el trabajo en tres fases que son revisión bibliográfica, análisis de la información y elaboración de la propuesta y finalmente elaboración del documento según norma ICONTEC.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Según lo indica el artículo de Portafolio titulado “Aporte de Ecopetrol a la Nación será de \$23,1 billones” escrito por Abel Cárdenas el 20 de marzo de 2019 durante su intervención en el foro Colombia Genera en Cartagena, deja ver que Ecopetrol es una arteria económica para la nación; ahora bien la refinería de Barrancabermeja abastece el mercado nacional y exporta excedentes de fuel oil y petroquímicos al mercado nacional, además produce Diesel, gasolina, jet, GLP, propileno, asfalto, fuel oil, aromáticos, bases lubricantes, avigas, azufre, ceras parafínicas, disolventes alifáticos y polietileno, de ahí la gran presencia económica de Ecopetrol S.A para Colombia.

Para la operación de las diferentes plantas de la refinería Barrancabermeja que generan estos productos, la Unidad de Servicios Industriales es de gran importancia ya que a través de ella es posible generar vapor, electricidad, suministrar aire comprimido y captar agua del río Magdalena para ser utilizada en diversos procesos mediante el sistema de bombeo SP801. Sin embargo la vida útil de los rodamientos de esta bomba es de aproximadamente 8000 horas, cumplido este tiempo se presenta incremento de los niveles de vibración lo cual lleva a una pérdida progresiva de su capacidad hidráulica. El impacto por falla del sistema de captación tiene connotaciones económicas, ambientales, y de imagen por salida de las plantas de agua y la consecuente apagada general de la Refinería lado sur y norte. Adicional a ello, se limita la restitución para los sistemas de enfriamiento, de generación de vapor, y energía eléctrica. Según esto se plantea la pregunta: ¿Cómo identificar los criterios que le permiten a la bomba SP801 cumplir su función de manera segura y confiable? El desarrollo de esta monografía dará respuesta a esta pregunta ya que a su ejecución entregará como resultado a creación de un plan de mantenimiento utilizando la metodología RCA.

## 2. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a lo indicado en la figura 1 en el cabezal del sistema de distribución de agua cruda, la falla en el sistema de bombeo SP801 pondría en riesgo la operación de los equipos que hacen parte de la unidad de servicios industriales y como consecuencia la funcionalidad de la Refinería Barrancabermeja, esta razón contribuye a la justificación de realizar un proyecto que permita elaborar un plan de mantenimiento para este sistema.

**Figura 1** Cabezal de distribución de agua cruda.



**Fuente:** Autor.

### **3. OBJETIVOS.**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL.**

Elaborar un plan de mantenimiento para el sistema de bombeo SP801 de la Unidad de Servicios industriales de la Refinería de Barrancabermeja utilizando la metodología RCA.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

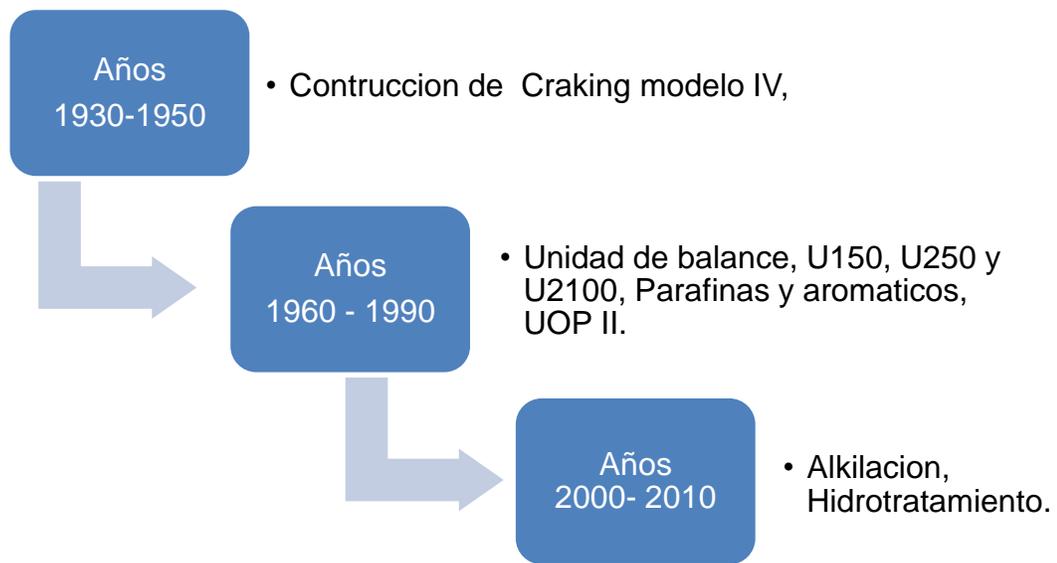
- Elaborar un listado de los subsistemas que componen el sistema de bombeo SP801, para identificar las funciones de cada uno de ellos, a través de diagramas de proceso, instrumentación, control y tuberías la planta servicios industriales de la Refinería Barrancabermeja.
- Identificar las fallas funcionales del sistema SP801, para elaborar un estándar de mantenimiento, mediante la aplicación de método RCA.
- Elaborar los paquetes de trabajo en la especialidad que aplique, para ejecutar las actividades de origen preventivo del sistema de bombeo SP801.

## 4. ANÁLISIS DE LA LITERATURA.

### 4.1. Marco histórico.

La Refinería de Barrancabermeja abastece el mercado nacional y exporta excedentes de fuel oil y petroquímicos al mercado internacional, esta inicio operaciones en el año de 1922. Desde sus inicios ha desarrollado grandes obras con el fin de garantizar una continua actualización tecnológica como se observa en la figura 2 (Historia de Ecopetrol, 2014).

**Figura 2** Historia de la refinería de Barrancabermeja.

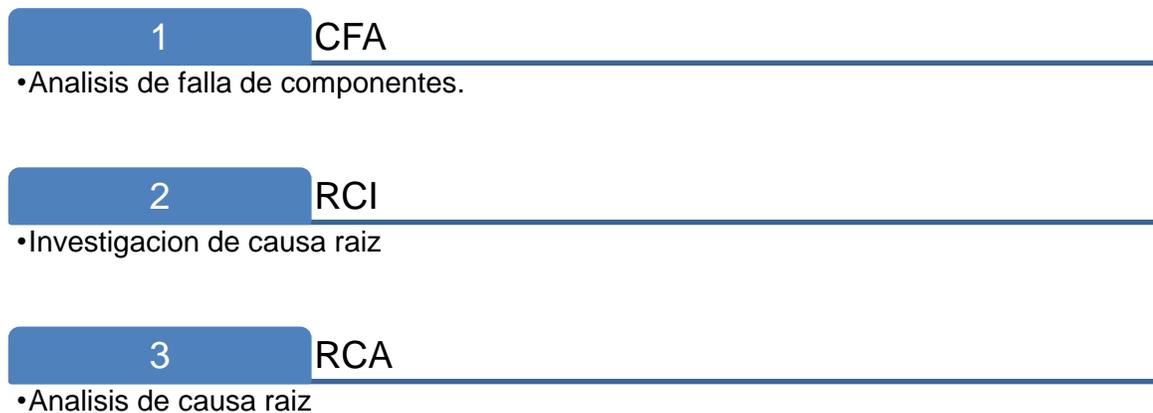


**Fuente:** Autor.

## 4.2. Marco teórico.

4.2.1. **Análisis de causa raíz o RCA.** Después que ha ocurrido una falla en un equipo o proceso esta se percibe por ciertas manifestaciones, lo cual deja ver que se actúa sobre las consecuencias y no sobre el origen de la falla, esto ocasiona que en el momento de volver a poner en servicio el equipo o proceso se volverá a repetir la falla una y otra vez. Los análisis para clasificar una falla se pueden evidenciar en la figura 3.

**Figura 3** Análisis para clasificar fallas.



**Fuente:** Autor.

Por esta razón entre más complejo sea el sistema habrá mayor dificultad en localizar el origen o raíz de la falla. Identificar la causa raíz es fundamental, pero sólo de por sí, no resuelve el problema, para ello habrá que estudiar distintas acciones correctivas. El Análisis de Causa Raíz es una herramienta utilizada para identificar causa de falla, de manera de evitar sus consecuencias (Altmann, 2019). Existen tres preguntas básicas al momento de realizar un RCA (ver figura 4).

**Figura 4** Preguntas para realizar un RCA.

- 1** Definir (metas).
  - Cual es el problema?.
- 2** Analizar (causas)
  - Porque ocurrio?
- 3** Prevenir (soluciones)
  - Que se hara para prevenirlo.

**Fuente:** Pequeñas charlas de gestión de mantenimiento [en línea]. [Citado 5 Agosto 2019].  
Disponble en internet  
<http://www.ridssso.com/documentos/muro/fbe6005572088684d7d45c9bcf0436ee.pdf>

4.2.2. **Equipo de trabajo para elaboración de RCA.** El equipo RCA es muy importante a la hora de analizar la falla, la conformación varía dependiendo del problema que se esté analizando, el RCA está integrado por las personas (Muñoz, 2012) indicadas en la figura 5.

**Figura 5** Equipo para la elaboración de un RCA.

- 1** Lider o analista principal.
  - Encargado de liderar el analisis.
- 2** Facilitador
  - Explica detalladamente los pasos a seguir.
- 3** Supervisor y técnico.
  - Encargados de identificar los elementos del equipo en falla. .

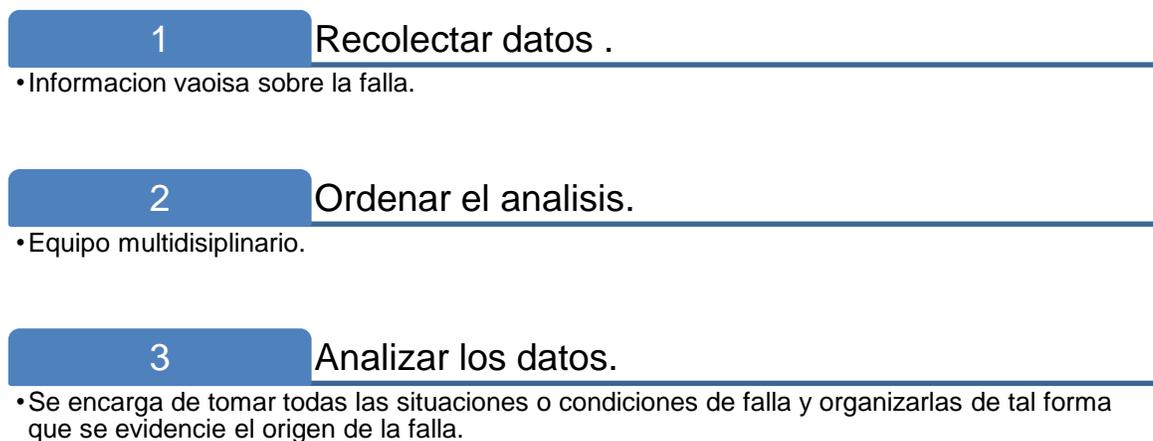
**Fuente:** Autor.

4.2.3. **Aplicación del análisis causa raíz.** La aplicación del análisis de causa raíz consta de cinco etapas básicas que se definirán a continuación:

**Etapas 1. Definición del problema:** Esta etapa consiste en identificar cual es el problema o situación que se desea solucionar, en este punto se decide la aplicación de la herramienta ACR en busca de mejoras para el funcionamiento de los equipos o erradicar problemas complejos.

**Etapas 2. Análisis del problema:** Costa del análisis preliminar y el desarrollo en pleno de la herramienta y definición de los pasos para la aplicación del RCA, los cuales son los indicados en la figura 6.

**Figura 6** Análisis del problema en la ejecución del RCA.



**Fuente:** Autor.

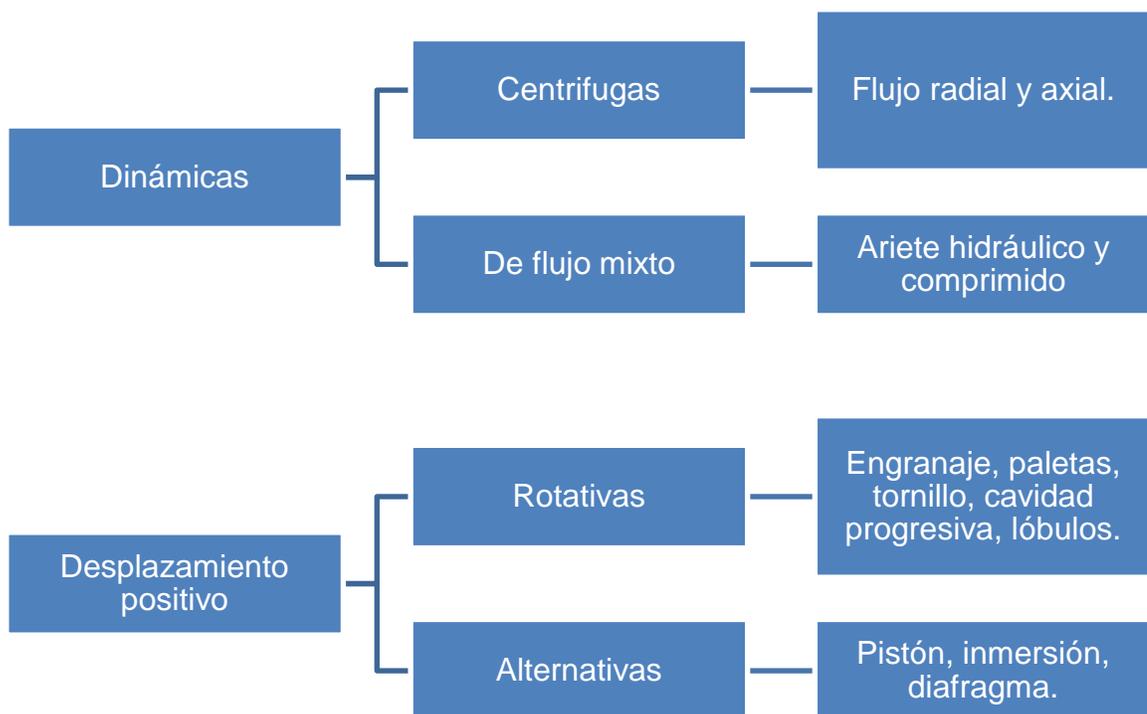
**Etapas 3. Identificar soluciones efectivas:** Esta etapa está ligada a los hallazgos y conclusiones obtenidas a lo largo de la aplicación del análisis causa raíz al problema estudiado, donde ya localizadas las causas de fondo se identifican las correcciones que se deberían realizar para asegurar la no ocurrencia del fallo.

**Etapas 4. Implementar soluciones:** Cuando se realizan las correcciones propuestas a eliminar la falla, basadas en el plan de seguimiento propuesto a las recomendaciones emitidas en el informe RCA.

**Etapas 5. Pasos del Árbol Lógico de Fallas.** La elaboración del árbol lógico de falla se debe efectuar mediante un proceso ordenado, donde las diferentes etapas que lo componen guiarán al grupo de análisis del RCA a encontrar la causa raíz que está originando el problema, la estructura para el análisis de los elementos encontrados en cada una de las etapas genera un análisis combinatorio o ramificado llamado árbol lógico de falla cuya estructura conceptual.

4.2.4. **Sistemas de bombeo.** Este se puede definir como un conjunto de elementos que permiten el transporte de un fluido a través de tuberías (Ayala, 2014). Dentro de estos elementos se encuentran las bombas las cuales se pueden clasificar como se indica en el mapa conceptual del al figura 7 (Carrillo, 2010).

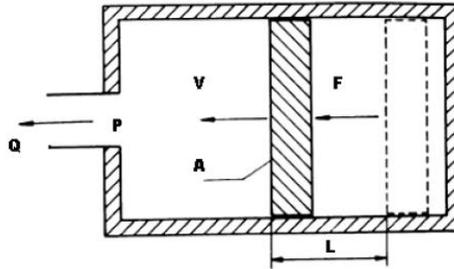
**Figura 7** Clasificación sistemas de bombeo.



**Fuente:** Autor.

4.2.5. **Bombas desplazamiento positivo.** Al disminuir el volumen a la izquierda del embolo el fluido se verá obligado a salir sea cual fuere la presión, con el requisito que la fuerza aplicada sea capaz de realizar el movimiento y las paredes del cilindro soportar la presión (ver figura 8).

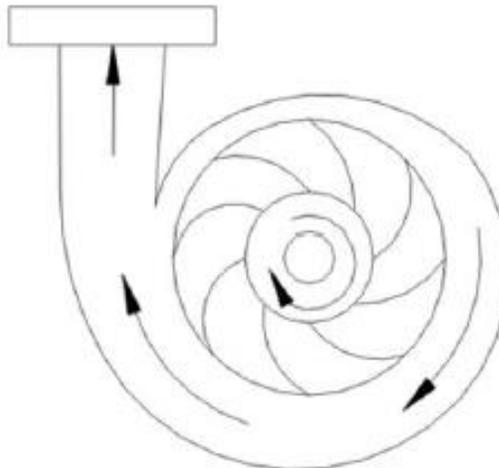
**Figura 8** Funcionamiento bomba desplazamiento positivo.



**Fuente:** Carrillo E. 2010. Guía para el curso de máquinas hidráulicas. Universidad de San Carlos. Guatemala, p. 2.

4.2.6. **Bombas dinámicas “Centrifugas”.** Este tipo de bombas utiliza la fuerza de un impulsor (ver figura 9) que gira dentro de una carcasa y este movimiento impulsa al fluido (Pérez, 2017).

**Figura 9** Bomba centrifuga tipo voluta.

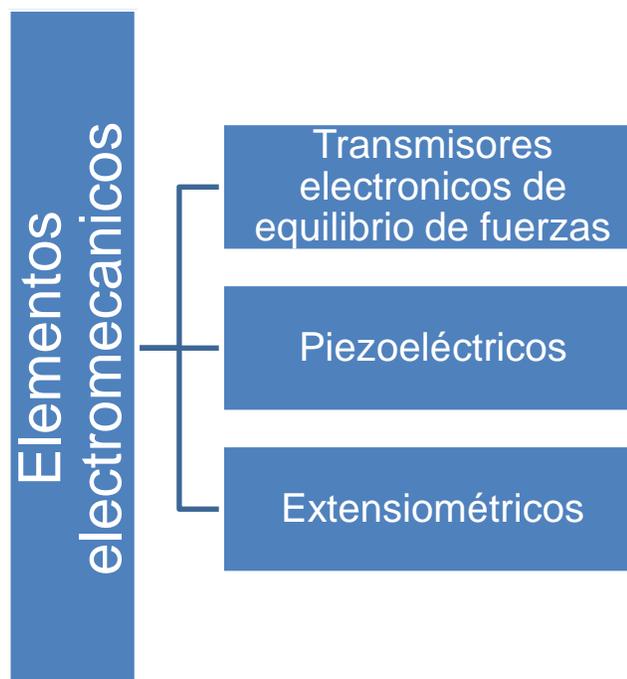


**Fuente:** Pérez D. 2017. Diseño del sistema de bombeo para el abastecimiento óptimo de agua potable del distrito de HUANCÁN-HUANCAYO. Universidad Nacional de centro de Perú, p. 43.

**4.2.7. Método de tintas penetrantes para evaluación de soldaduras.** Este método de tintas penetrantes busca detectar las discontinuidades que se encuentran abiertas en una superficie. El principio de funcionamiento de este se denomina capilaridad que es la capacidad de un líquido de penetrar en espacios sumamente reducidos y una de las principales ventajas es que puede ser aplicado en materiales magnéticos y no magnéticos.

**4.2.8. Sensores de presión.** Existe una gran variedad de elementos para medir presión, sin embargo al hablar de los elementos electromecánicos, todos ellos utilizan un elemento mecánico elástico combinado un transductor eléctrico que genera la señal correspondiente (Creus, 2007). En la figura 10 se indica esta clasificación.

**Figura 10** Clasificación de sensores de presión.



**Fuente:** Creus, A. (2007). Instrumentación industrial. Marcombo Editores, p 81.

### 4.3. Marco conceptual.

La finalidad del mantenimiento entonces es conseguir el máximo nivel de efectividad en el funcionamiento del sistema productivo, en la figura 11 se indican los diferentes tipos.

**Figura 11** Tipos de mantenimiento.

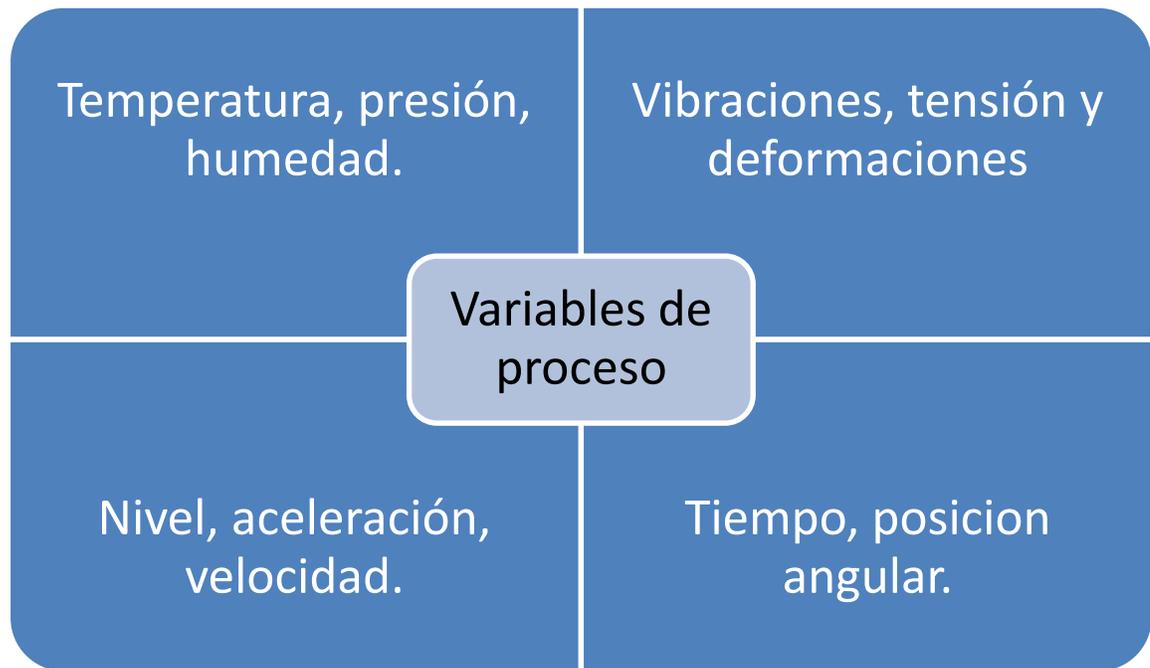
1	<b>Predictivo.</b>
	•Permiten la identificación de una condición previa a la falla.
2	<b>Preventivo.</b>
	•Garantiza la operación del equipo dentro de los límites establecidos.
3	<b>Correctivo.</b>
	•Se realiza después de presentada la falla.

**Fuente:** Autor.

**4.3.1. Mantenimiento predictivo.** Para definir este concepto de mantenimiento se utiliza la norma ISO 13372 de 2004 (ISO 13372, 2004) la cual indica que este mantenimiento está enfocado en la predicción de la falla y en la toma de decisiones basadas en la condición del equipo para prevenir su degradación o falla. Otra definición de esta técnica es la indicada por la EPRI (EPRI, 2000) que lo define como un proceso que requiere de tecnologías y personal capacitado, que integre todos los indicadores disponibles de la condición de los equipos.

Entonces de esta metodología de mantenimiento se puede decir que se trata de técnicas que buscan definir la tendencia operacional del equipo, las variables que generalmente se monitorean son las indicadas en la figura 12 (González, 2007).

Figura 12 Variables registradas en mantenimiento predictivo.



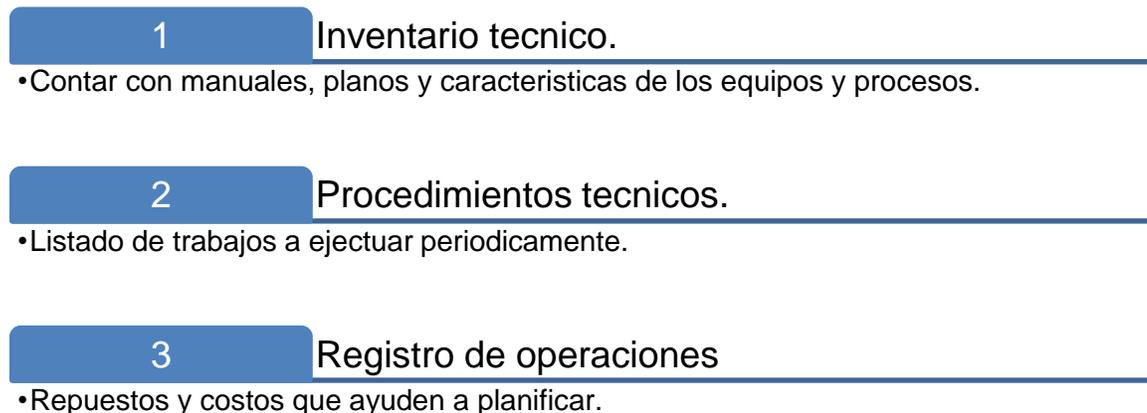
**Fuente:** Autor.

Al aplicar mantenimiento predictivo a un equipo o proceso se puede decir que se tiene las siguientes ventajas (Operations & Maintenance. 2004):

- Incremento de vida útil.
- Disminuye tiempo de paradas.
- Genera ahorro de energía, etc.

**4.3.2. Mantenimiento preventivo.** Este tipo de mantenimiento se trata de actividades periódicas sobre un equipo o proceso con el fin de identificar condiciones de falla que puedan generar paradas de la producción o maquinaria (Sierra, 2004). Las fases para la ejecución de este tipo de mantenimiento se presentan en la figura 13 (Díaz, 2014).

**Figura 13** Fases para la ejecución de mantenimiento preventivo.



**Fuente:** Autor.

Las ventajas y desventajas de la aplicación de esta técnica de mantenimiento se describen en la tabla 1, resaltando que esta tiene un bajo costo al compararla con el mantenimiento predictivo (Díaz, 2014).

**Tabla 1** Ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo.

Ventajas	Desventajas.
Reducción de riesgo de fallas. Reduce probabilidad de paradas. Permite llevar un mejor control y planeación.	Requiere de experiencia del personal de mantenimiento como recomendaciones del fabricante.

**Fuente:** Autor.

**4.3.3. Mantenimiento correctivo.** Este tipo de mantenimiento es el más común en las pequeñas y medianas empresas (Arenas, 2016), este se basa en la intervención después de presentarse una avería en el equipo o proceso. Las ventajas y desventajas se presentan en la tabla 2.

**Tabla 2** Ventajas y desventajas del mantenimiento correctivo.

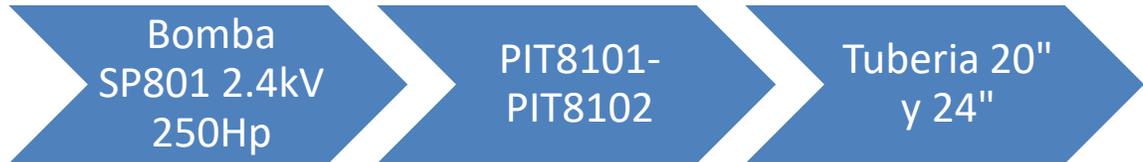
Ventajas	Desventajas.
No requiere gran infraestructura técnica. Máximo aprovechamiento de vida útil de equipos.	Las averías se presentan en forma imprevista ocasionando problemas en la producción por fallas inesperadas.

**Fuente:** Autor.

## 5. SISTEMAS Y SUB SISTEMAS QUE COMPONEN LA BOMBA SP801 EN LA PLANTA DE SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA BARRANCABERMEJA.

Para iniciar la identificación de los sistemas y subsistemas del equipo de bombeo SP801, es necesario revisar el diagrama de proceso (ver figura 14). La bomba se encuentra ubicada en un bote en el río Magdalena, la tubería encargada de transportar el agua es de 12", 20" y 24", adicional a ello se cuenta con dos transmisores indicadores de presión PIT80101 y 02.

**Figura 14** Sistema de bombeo SP801.



**Fuente:** Autor.

De este diagrama de proceso es posible decir que los elementos que componen el sistema de bombeo SP801 son los indicados en la tabla 3

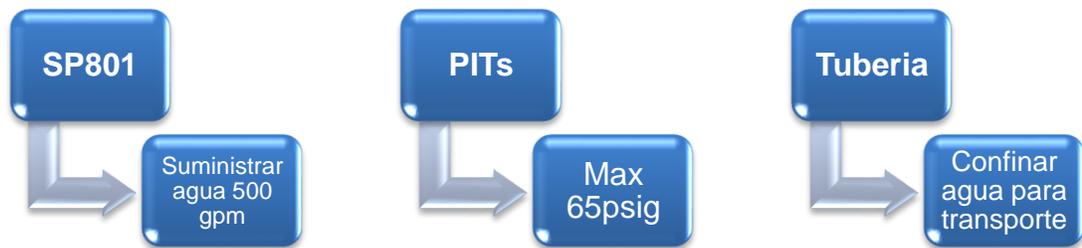
**Tabla 3** Elementos que componen el sistema de bombeo SP801.

Sistema	Función.
Bomba SP801	Transportar agua del río Magdalena a un caudal de 500GPM
Sensores de presión.	Detectar la presión de descarga de la bomba SP801
Tubería	Transportar el agua del río Magdalena a la refinería.

**Fuente:** Autor.

5.1. **Función de los elementos que hacen parte del sistema de bombeo.** La función de cada uno de estos elementos se presenta en el organigrama horizontal de la figura 15, los PIT están encargados de registrar la presión de la línea de descarga y si estos dos registran valores inferiores a la ventana operativa de la bomba de agua SP801 se tomará como una falla por pérdida de capacidad hidráulica del sistema lo cual podría poner en riesgo la operación de la refinería lado sur y norte.

**Figura 15** Función de los elementos que componen el sistema de bombeo.



**Fuente:** Autor.

5.1.1. **Metodología RCA aplicada al sistema de bombeo.** La aplicación de esta metodología tiene como objetivo establecer cuál sería la causa raíz de una falla generada por un mantenimiento inoportuno. Es importante señalar, que según indicaciones del fabricante de la bomba (ver figura 16), una falla de los rodamientos axiales producen excesos de vibraciones lo cual ocasiona pérdida de capacidad hidráulica y es la situación de mayor gravedad, por esta razón el análisis de desarrollado a continuación se centrará en este componente.

**Figura 16** Bomba SP801.



**Fuente:** Autor.

Ante la presencia de una falla en los rodamientos de la bomba, generarían una serie de condiciones (Ver tabla 4) que dentro del análisis RCA se llama reporte del incidente, este análisis es fundamental para establecer el diagrama causa efecto que se presenta más adelante. Para ello se plantean una serie de preguntas y respuestas que dejarán en evidencia la gravedad de la situación ante una falla de los rodamientos.

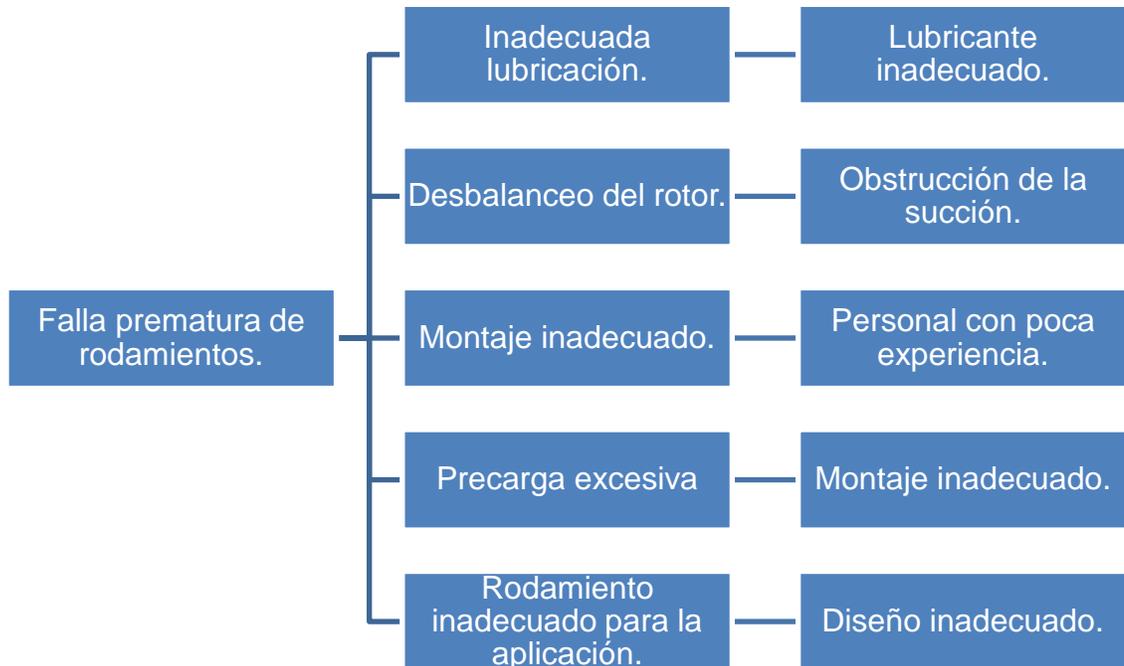
**Tabla 4** Reporte de falla en rodamientos.

Pregunta	Respuesta.
Condición del sistema de bombeo.	Pérdida de capacidad hidráulica.
Sistema o proceso afectado	Rodamientos.
Consecuencias después de la falla	Perdida de suministro de agua del rio magdalena.
Impacto en personas.	El exceso de vibraciones ocasionaría fallas solo al equipo en mención Bomba SP801
Impacto ambiental.	Ante esta falla no se presentarían impactos ambientales ya que el producto tratado en este proceso es agua proveniente del rio Magdalena.
Impacto económico.	Una parada del lado norte- sur de la refinería traería como pérdida 250.000 [US/h].
Impacto en clientes	Se deja de cumplir con especificaciones de productos.

**Fuente:** Autor.

El diagrama de causa efecto de la figura 17 indica una serie de condiciones que pueden llevar a una falla prematura de los rodamientos, estas son el resultado de investigación con personal experto de la planta de servicios industriales y son fundamentales al momento de establecer un programa de mantenimiento preventivo. Como se puede observar la falla prematura de los rodamientos puede ser originada por varias causa, sin embargo también es importante señalar que según el fabricante de los rodamientos estos tienen una vida útil de 5 años.

**Figura 17** Diagrama causa efecto de falla en rodamientos.



**Fuente:** Autor.

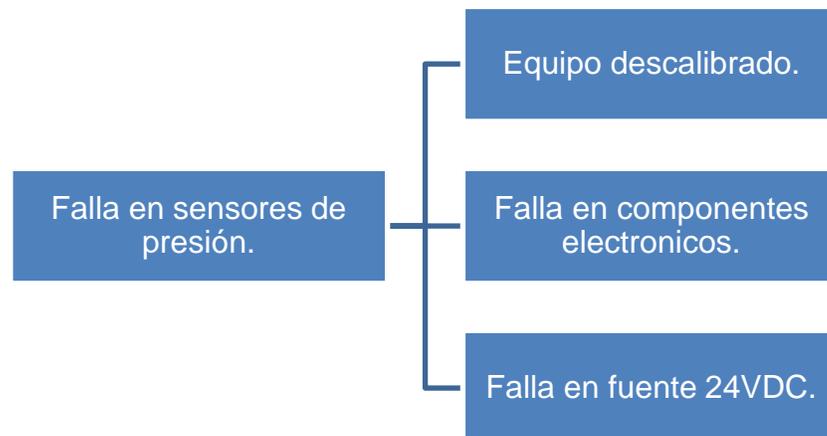
**5.1.2. Metodología RCA aplicada a tubería y sensores de presión.** Para el caso de los dos sensores de presión se aplican las preguntas indicadas en la tabla 5, estos son guía para realizar el diagrama causa efecto de la figura 18, el aspecto de mayor importancia es asegurar que el instrumento se encuentre calibrado para aumentar la confiabilidad de las mediciones.

**Tabla 5** Reporte de falla en sensores de presión. .

Pregunta	Respuesta.
Condición del sistema.	Indicación errónea en sensores de presión.
Sistema o proceso afectado	Sensores de presión.
Consecuencias después de la falla	Perdida en suministro de agua del rio Magdalena.
Impacto en personas.	Ninguna.
Impacto ambiental.	Ninguna.
Impacto económico.	Una parada del lado norte- sur de la refinería traería como pérdida 250.000 [US/h].
Impacto en clientes	Se deja de cumplir con especificaciones de productos.

**Fuente:** Autor.

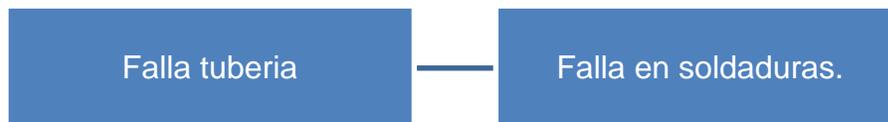
**Figura 18** Diagrama causa efecto de falla en sensores de presión.



**Fuente:** Autor.

Ahora bien, para el caso de la tubería de descarga de la bomba SP801, se realiza el diagrama causa efecto de la figura 19, aquí se evalúa un aspecto importante que es la falla en soldaduras.

**Figura 19** Diagrama causa efecto de falla tubería.



**Fuente:** Autor.

**5.1.3. Desarrollo de la solución.** Una vez se han identificado las causas raíces del sistema de bombeo, a continuación, se plantea la alternativa desarrollada con el objetivo, de evitar paradas inesperadas:

- Elaborar un plan de mantenimiento preventivo de la bomba SP801.
- Elaborar un Plan de inspección de la tubería.
- Elaborar un plan de calibración y mantenimiento de los sensores de presión.
- Estos planes se describen en el párrafo 6.

## 6. ESTÁNDAR DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL SISTEMA DE BOMBEO SP801 DE LA PLANTA DE SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA BARRANCABERMEJA.

Para iniciar con el estándar de mantenimiento del sistema de bombeo se definen la función y falla funcional de cada uno de los subsistemas del sistema de bombeo, esto se observa en la figura 20.

**Figura 20** Funciones y fallas funcionales de sistema de bombeo.

Subsistema	Función	Falla funcional.
• Bomba SP801	• Suministrar agua a 500 GPM.	• NO suministrar agua a 500 GPM.
Subsistema	Función	Falla funcional.
• PT80101-102	• Registrar presión de descarga hasta 65psi	• NO registrar presión de descarga hasta 65psi
Subsistema	Función	Falla funcional.
• Tubería	• Transportar agua del río Magdalena.	• NO transportar agua del río Magdalena.

**Fuente:** Autor.

Una vez se ha aplicado la metodología RCA para identificar la causa raíz que afectara la función de cada uno de los subsistemas del sistema de bombeo, se plantean los estándares de mantenimiento para cada uno de ellos.

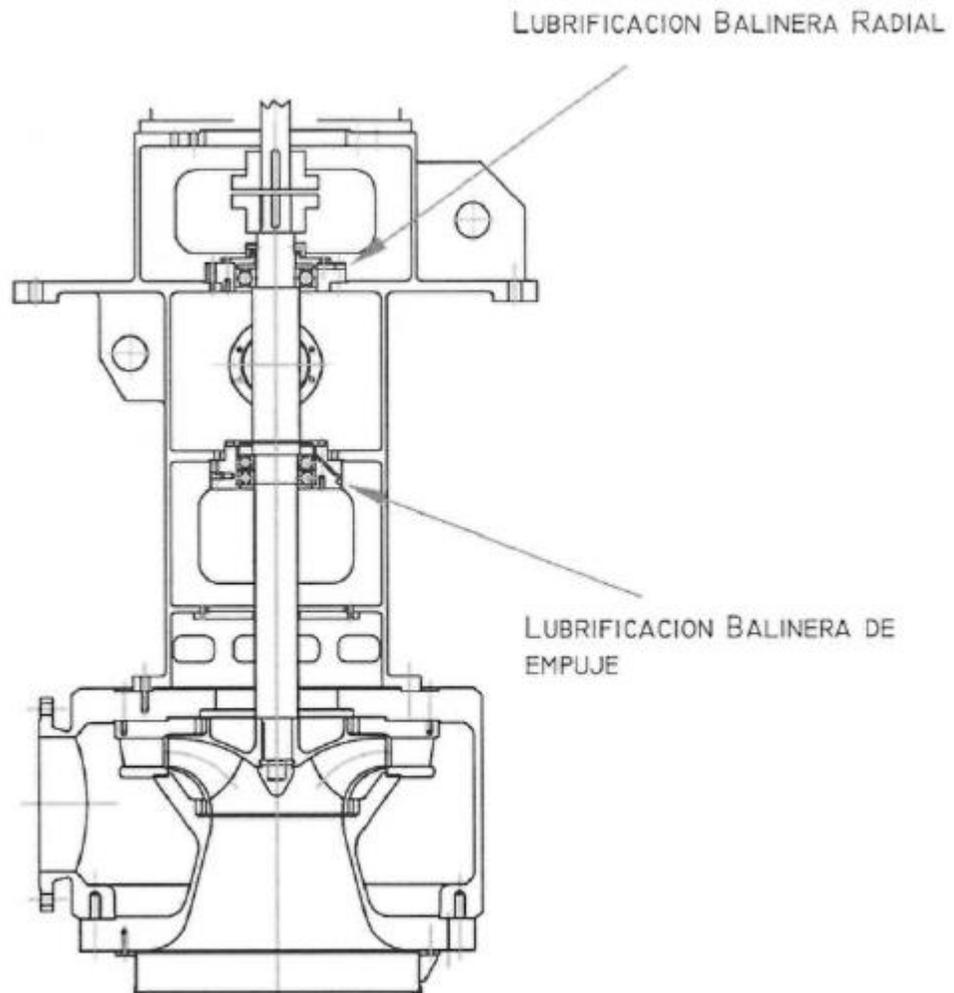
**6.1. Estándar de mantenimiento de la bomba SP801.** Antes de iniciar las acciones de mantenimiento de la bomba SP801 se deben realizar las listas de chequeo de la tabla 6.

**Tabla 6** Lista de chequeo para mantenimiento de bomba SP801.

Situación a observar.	SI	NO	No aplica	Observaciones.
Sentido de giro de rotación.				Desmontar la parte flexible del acople, después de esto darle arranque. En caso que el sentido de rotación no sea correcto, invertir los cables de rotación de motor.
Verificación alineación.				La alineación de motor-reductor debe ser realizada con la tubería de descarga suelta.
Rotación sin impedimento.				La rotación se debe realizar suavemente, no debe haber presencia de ruidos anormales.
Lubricación.				Las balineras deben estar lubricadas (ver figura 21).
Puesta en marcha.				Cuando se inicia la bomba, se debe hacer con la válvula de descarga cerrada y después abrirla suavemente y se debe garantizar que la temperatura de las balineras debe ser máximo 50°C.

**Fuente:** Autor.

**Figura 21** Puntos de lubricación de las balineras de la bomba SP801.



**Fuente:** Autor.

Adicionalmente, para garantizar la continua operación de la bomba SP801, se deben cumplir los chequeos diarios y mensuales indicados en la figura 22.

**Figura 22** Chequeo diario y mensual de la bomba SP801



**Fuente:** Autor.

**6.1.1. Actividades de mantenimiento de la bomba SP801.** En la lista de chequeo que se cita en los ítems indicados a continuación, se busca garantizar que las condiciones de trabajo sean las adecuadas para realizar las actividades de mantenimiento preventivo.

- ¿El área de trabajo se encuentra despejada?.
- ¿El cuerpo de la bomba ha sido lavado (ver figura 23)?.
- ¿Las herramientas para realizar la actividad se encuentran en buen estado?.

**Figura 23** Realizar lavado de bomba



**Fuente:** Autor.

Para retirar la coca de succión se deben seguir las acciones listadas a continuación, teniendo en cuenta que durante la ejecución se pueden presentar golpes o machucones, por esta razón el ejecutor debe utilizar elementos de protección personal.

- Marque la posición de la coca de succión con respecto al tazón.
- Ubique la bomba de manera vertical (ver figura 24).

**Figura 24** Ubicar bomba en posición vertical.



**Fuente:** Autor.

- Retirar los tornillos que anclan la coca de succión al tazón.
- Ize la coca de succión con la ayuda de una diferencial (ver figura 25).

**Figura 25** Diferencial para izaje de coca.



**Fuente:** Autor.

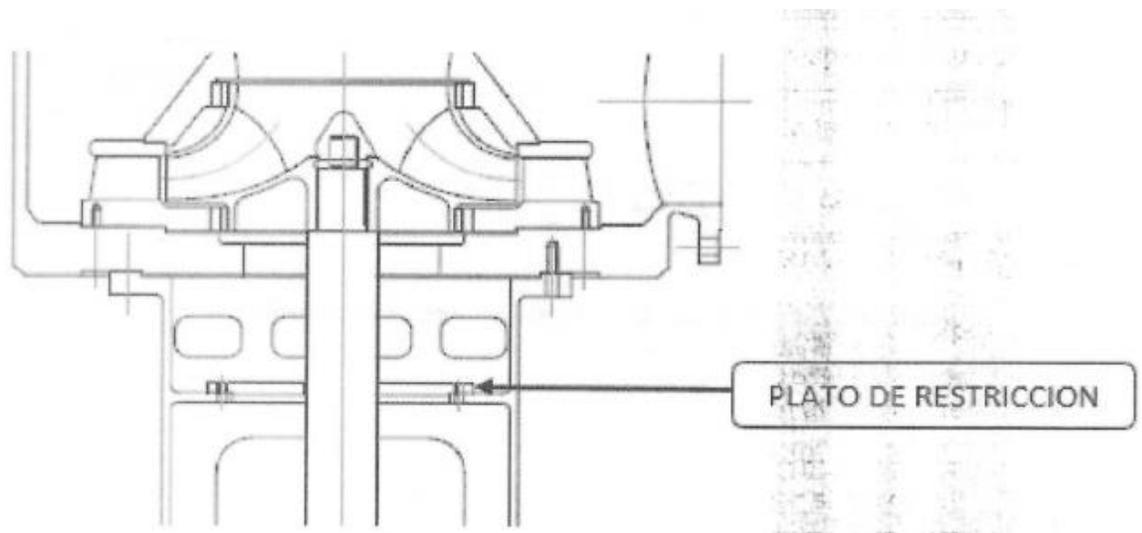
En este punto, la bomba se encuentra limpia y lista para retirar el impulsor y difusor, para ello se deben realizar entre dos personas las actividades mencionadas a continuación:

- Retirar el candado que tiene la tuerca del impulsor.
- Bloquear el eje desde el acople.
- Retirar la tuerca del impulsor con la ayuda de una copa, palanca y una extensión.
- Instalar dos prensas en C en el borde del impulsor e izarlo.
- Marcar detalladamente la posición del difusor respecto al tazón.
- Retirar los tornillos que anclan el difusor al tazón.
- Retirar difusor con ayuda de puente grúa.

Para retirar el tazón y el plato de protección (ver figura 26) de la bomba se deben seguir cada uno de los pasos mencionados a continuación:

- Marcar puntualmente la posición en la que se encuentra el tazón respecto al cuerpo de la bomba.
- Quite los tornillos que están uniendo el tazón a la estructura corporal de la bomba.
- Proceda a instalar tres unidades de tornillo de ojo y tres unidades de eslinga para izar el tazón.
- Proceda a retirar el tazón apoyándose en la grúa y ubíquelo en un sitio seguro.
- Desvincule los tornillos que anclan el plato de restricción a la estructura corporal de la bomba. (Ver figura 25)
- Desvincule el plato de restricción y ubíquelo en un lugar seguro.

**Figura 26** Desinstalación de los tornillos de anclaje en el plato de restricción que forma parte del cuerpo de la bomba.

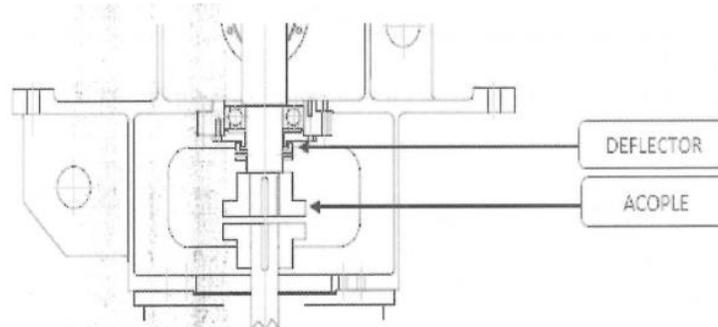


**Fuente** autor.

Para retirar el eje de la bomba es necesario seguir los pasos mencionados a continuación y así acceder a la caja de rodamientos.

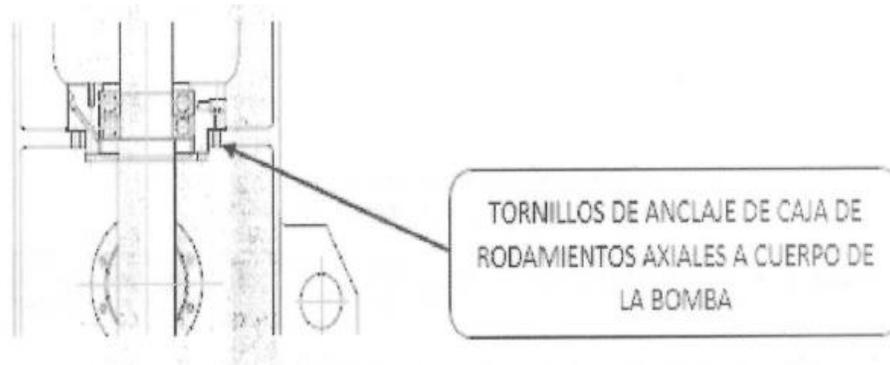
- Desvincule la manzana de acople en compañía del deflector, ver figura 27.
- El siguiente paso es aflojar y retirar los tornillos de la tapa de la caja de rodamiento radial de la bomba.
- Afloje y desvincule los tornillos que anclan la caja de rodamiento axial al cuerpo de la bomba, identifique puntualmente su posición, ver figura 28.
- Izar el eje de la bomba con una eslinga y el puente de grúa, buscar para ubicación un lugar seguro.
- Retire la caja de rodamientos radial y ubíquela en un lugar seguro.  
Proceda a enviar todas las partes a lavado.

**Figura 27** Retiro de manzana de acople y el deflector.



**Fuente** autor.

**Figura 28** Tornillo de anclaje de la caja de rodamientos.



**Fuente** autor

Para garantizar la correcta instalación de los rodamientos se deben cumplir cada uno de los pasos mencionados a continuación:

- Verificar que todas las piezas estén en buen estado para el proceso de armado, reporte esto en los formatos de calibración.
- Observe y verifique el rectificado de todas las roscas de este equipo. si las roscas no cumplen con los requisitos y as condiciones estándar informe la situación al supervisor.
- Coloque el cuerpo de la bomba en posición vertical con el pedestal hacia el piso.

- Asegúrese de cumplir con los estándares de instalación para el montaje y desmontaje de rodamientos.
- Instale correctamente los rodamientos axiales con su respectivo espaciador de eje.
- Prosiga a instalar el rodamiento radial en el eje.
- Instale la caja de los rodamientos axiales y mida el empaque para que se pueda ajustar la holgura axial.
- Proceda a instalar la caja de rodamiento radial en el cuerpo de la bomba.
- Lo siguiente es izar el eje de la bomba con sus componentes para instalarlo en el cuerpo de la bomba apoyándose en la ayuda de la eslinga y del puente de grúa.
- Ancle la caja de rodamientos axiales al cuerpo de la bomba con sus correspondientes tornillos y con el torque requerido.
- Ahora proceda a Instalar, tapa del rodamiento radial.
- Ahora instale el deflector y manzana de acople de la bomba.

Finalmente se deben realizar los pasos indicados a continuación para armar nuevamente la bomba y terminar el mantenimiento.

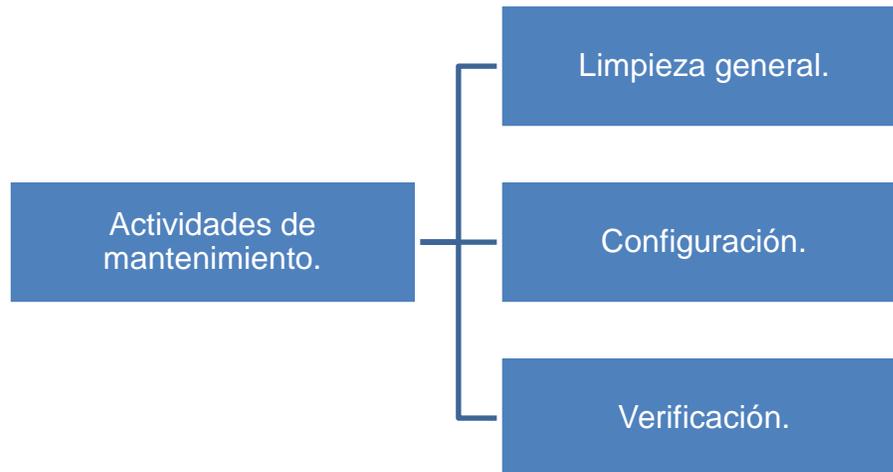
- Proceda a instalar el plato de restricción en lo que sería el cuerpo de la bomba.
- Ahora instale y aplique torque a los tornillos que hacen anclaje en el plato de restricción.
- Proceda a instalar el tazón en el cuerpo de la bomba.
- Asegúrese de la marcación y del posicionamiento del tazón respecto cuerpo de la bomba.
- Ahora proceda al anclaje de tornillos para unir el tazón al cuerpo de la bomba.
- Proceda a instalar el difusor apoyado en ayudas de la eslinga y el puente de grúa.

- Asegúrese de verificar la marcación y el correcto posicionamiento del difusor con respecto al tazón.
- Ahora proceda a instalar los tornillos que unen el difusor al tazón.
- Instale 2 prensas en C en el borde del impulsor.
- (verifique que la respectiva cuña este instalada).
- Ahora proceda a instalar el candado y la tuerca del impulsor.
- Ahora bloquee el eje desde el acople.
- Suministre el toque correspondiente a la tuerca y cierre el candado.
- Asegúrese de verificar la marcación y el posicionamiento de la coca de succión con respecto al tazón.
- Ahora proceda a izar la coca de succión, con la ayuda de 2 tornillos de ojo y con eslingas, (ver figura 13, especificar figura en este documento).
- Proceda a posicionar la coca de succión en el tazón para instalar los respectivos tornillos de anclaje.
- Proceda para la aplicación del torque correspondiente a los tornillos de anclaje.

## **6.2. Estándar de mantenimiento y calibración de los sensores de presión PIT80101 y PT80102.**

Las actividades de mantenimiento se dividen tal como se indica en la figura 29, todas ellas buscan garantizar la correcta operación de los sensores de presión PIT80101 y PT80102.

**Figura 29** Actividades de mantenimiento sensores de presión.



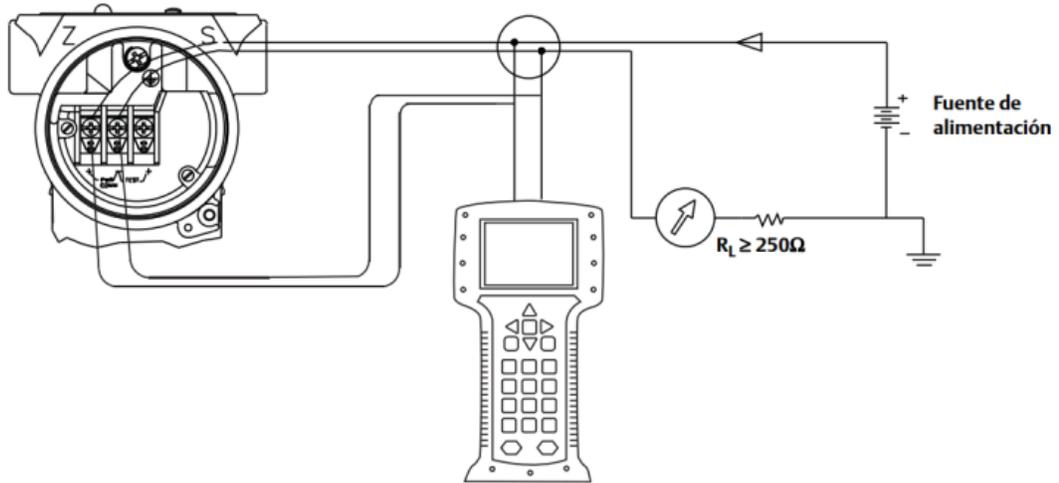
**Fuente:** Autor.

**6.2.1. Limpieza.** Para el desarrollo de esta actividad se deben cumplir cada uno de los ítems mencionados a continuación y seguir los lineamientos indicados en los paquetes de mantenimiento del capítulo siete de este documento.

- El sensor de presión se encuentra desconectado del circuito eléctrico de 24VDC.
- Utilizando una brocha retire material dentro de bornera de conexiones.
- Utilizando líquido desengrasante limpie el cuerpo externo de transmisor de presión.

**6.2.2. Configuración.** Para realizar esta actividad se debe deben realizar las conexiones indicadas en la figura 30 y seguir los pasos iniciados en la lista de chequeo descrita en el siguiente listado.

**Figura 30** Conexión HART a sensores de presión.

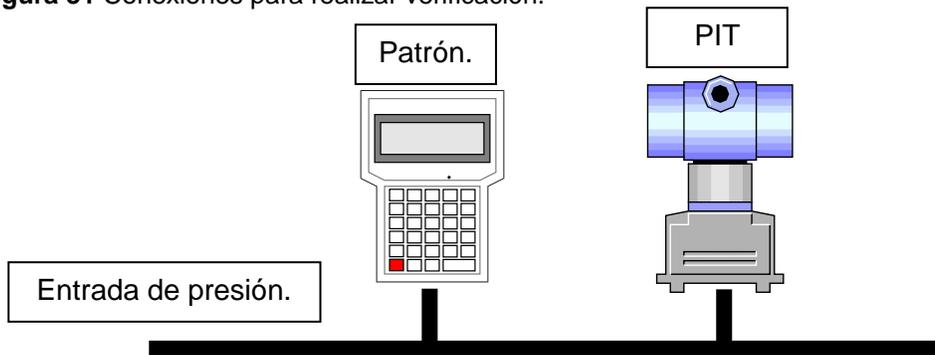


**Fuente:** Conexión HART. Recuperado de <https://www.emerson.com/documents/automation/manual-rosemount-3051-transmisor-de-presi%F3n-con-protocolo-hart-es-es-78704.pdf>, p. 24.

- Verifique el rango de medición de los sensores en Psi. Esta actividad es importante para saber en qué rango se realizara la calibración.

**6.2.3. Verificación.** Para realizar la verificación debe ser retirado y trasladado al taller de mantenimiento, para ello se deben tener en cuenta las apreciaciones indicadas en el capítulo siete de este documento. Se deben realizar las conexiones de la figura 31 y documentar la tabla 7, si la diferencia entre el display del sensor y el equipo utilizado como patrón es superior a 5 psi (este valor es indicado por personal de experiencia) se debe enviar a calibración.

**Figura 31** Conexiones para realizar verificación.



**Fuente:** Autor.

**Tabla 7** Verificación de transmisores de presión.

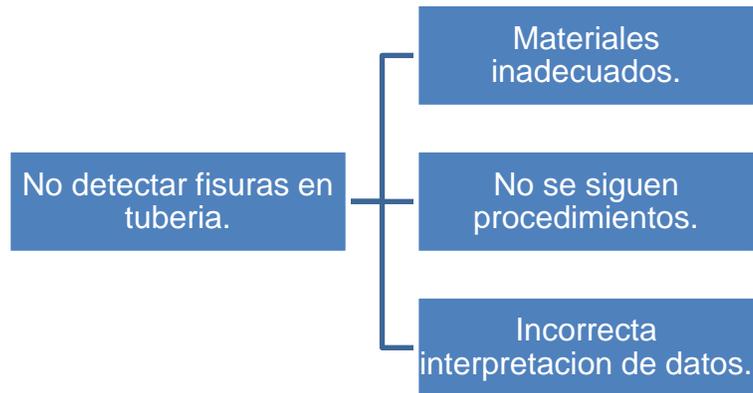
Porcentaje	Indicación de patrón.	Indicación de sensor de presión	Error
0%			
25%			
50%			
75%			
100%			

**Fuente:** Autor.

### 6.3. Estándar para inspección de tuberías por tintas penetrantes.

6.3.1. **Tintas penetrantes.** Para realizar este procedimiento se deben tener en cuenta los aspectos indicados en la figura 32 para evitar el riesgo de no detectar fisuras en la tubería. Por tal motivo, para cada una de ellas se plantean las actividades de mantenimiento.

**Figura 32** Causa efecto para evitar no detectar fisuras en tuberías.



**Fuente:** Autor.

- El cordón de soldadura a inspeccionar y sus alrededores deben estar limpios.
- Antes de aplicar la tinta penetrante se debe aplicar el limpiador E-59, teniendo en cuenta que este es exigido por las normas en las cuales se habla de este ensayo.
- Aplique tinta penetrante VP-30 inclinado ligeramente el Spray.
- Se deben retirar los excesos de tinta en la superficie y adicionalmente se dejará durante 5 minutos.
- Aplique agua a presión a menos de 40psi para realizar la limpieza.
- Aplique sobre la superficie el revelador D-70.
- Los tiempos mínimos y máximos son de 10 minutos y 1 hora para iniciar la inspección.
- Es importante tener en cuenta que la aceptación o inspección se debe realizar por persona idóneo (Ing. Metalúrgico) según los criterios establecidos en la tabla 341.3.2. de la norma ASME B31.3 (Ver Anexo I).

## 7. PAQUETES DE TRABAJO PARA ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA BARRANCABERMEJA.

Como se observa en las actividades planteadas de origen preventivo se tienen en cuenta diferentes frentes de trabajo, y para iniciar el desarrollo de los paquetes de trabajo de cada especialidad, es necesario tener en cuenta que las áreas que intervienen son:

- **Mecánico:** aplica para el mantenimiento de la bomba SP801.
- **Instrumentos:** aplica para los sensores de presión.
- **Metalúrgico:** aplica para verificación de soldaduras.

Adicionalmente, se plantea un cronograma de actividades anuales para todos los equipos que hacen parte de sistema de bombeo tal como se indica en la tabla 8, de esta es posible decir que las actividades para la bomba se realizarán cada dos años (indicado en manual), los PIT se deben verificar una vez al año (Experiencia de instrumentistas de planta) y la verificación de la tubería se debe realizar cada dos años (según experiencia de personal de planta).

**Tabla 8** Cronograma actividades mantenimiento sistema de bombeo.

Item	Equipo	Año											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Bomba												
2	PIT												
3	Tuberías												

**Fuente:** Autor.

### 7.1. Indicador operativo del sistema de bombeo.

Después de plantear las tareas de mantenimiento se establece como indicador para saber la disponibilidad del sistema de bombeo, cual se calcula utilizando la ecuación 1.

**Ecuación 1** Disponibilidad del equipo.

$$Disponibilidad = \frac{\sum(HCAL - HTMN)}{\sum HCAL} * 100$$

Dónde:

- *HCAL*: Número de horas calendario
- *HTMN*: Horas de intervención mantenimiento.

## **7.2. Elementos que conforman los paquetes de mantenimiento.**

Como se estableció en el capítulo anterior, todas las actividades de mantenimiento del sistema de bombeo se resumen en mecánico, instrumentos y metalúrgica. En la figura 33 se presenta un diagrama de flujo donde se establecen los elementos que debe contener cada paquete de trabajo para la ejecución de las tareas.

**Figura 33** Elementos que conforman los paquetes de mantenimiento.

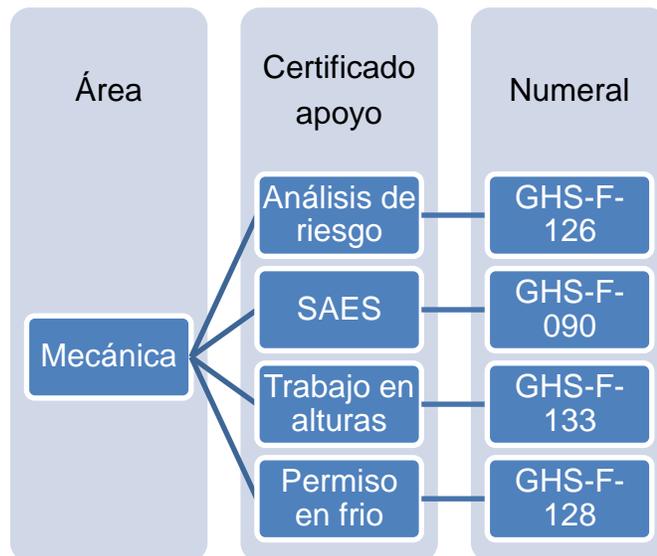


**Fuente:** Autor.

### **7.3. Paquetes de trabajo para el área Mecánica.**

En cuanto a los paquetes de mantenimiento, se hace referencia a la documentación pertinente que garantice una ejecución de las actividades de manera segura y que den cumplimiento a lo establecido en la planta de servicios industriales de la refinería Barrancabermeja, por esta razón en la figura 34, el SAES hace referencia al certificado de apoyo de Sistema Aislamiento Eléctrico Seguro con el fin de garantizar que la bomba SP801 no podrá ser energizada durante las actividades de mantenimiento.

**Figura 34** Paquetes de trabajo para área mecánica.

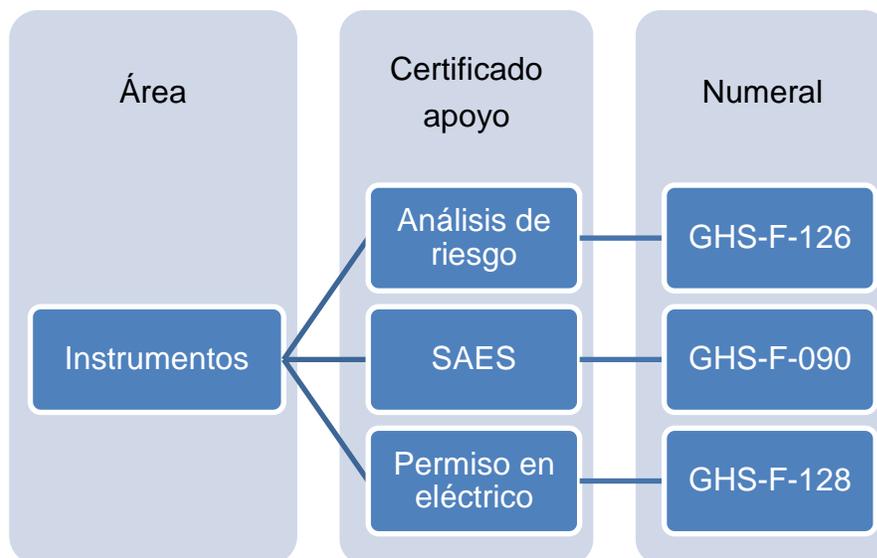


Fuente: Autor.

#### 7.4. Paquetes de trabajo para el área Instrumentos.

Para el caso de las actividades de instrumentos (PIT), los documentos anexos que se tendrán al procedimiento aquí planteado son los indicados en la figura 35.

**Figura 35** Paquetes de trabajo para área instrumentos.

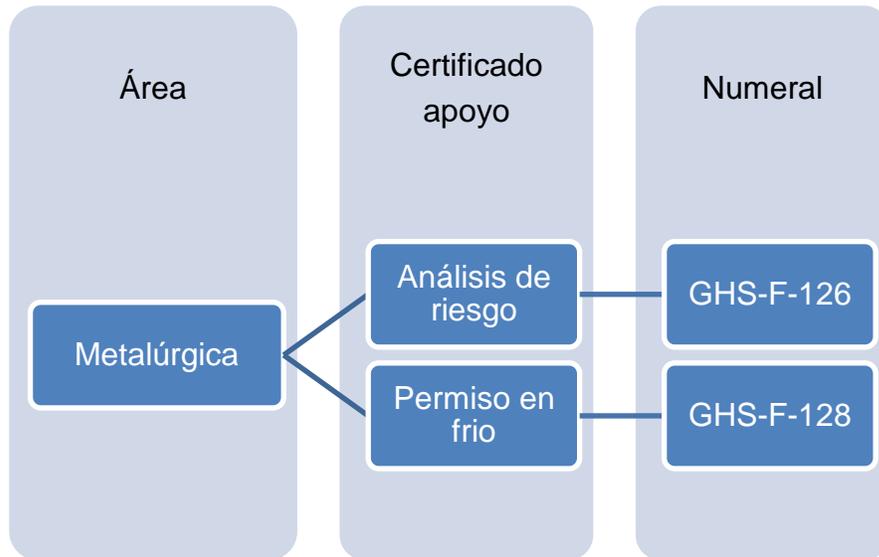


Fuente: Autor.

### 7.5. Paquetes de trabajo para el área Metalúrgica.

Finalmente para el caso de las actividades a realizar por área de metalúrgica se anexaran los documentos indicados en la figura 36.

**Figura 36** Paquetes de trabajo para área metalúrgica.



**Fuente:** Autor.

## **8. CONCLUSIONES.**

Los subsistemas que hacen parte del sistema de bombeo SP801 de la planta de servicios industriales de la refinería Barrancabermeja son la bomba centrífuga 801, dos sensores transmisores indicadores de presión PIT80101 y PIT80102 y la tubería de 20 pulgadas y 24 pulgadas.

Para identificar las fallas funcionales de los subsistemas, se aplicó la metodología RCA y a través de diagramas causa efecto se estableció que para la bomba centrífuga la falla prematura en los rodamientos puede ser ocasionada por inadecuada lubricación, desbalanceo del rotor, precarga excesiva, rodamientos inadecuados para la aplicación. Para el caso de los sensores de presión, la falla puede estar asociada a equipo descalibrado, falla en componentes electrónicos o falla en fuente de alimentación de 24Vdc. Finalmente, para el caso de la tubería la falla esta asociada a problemas con soldaduras.

Los paquetes de trabajo indican cuales son los documentos anexos para la ejecución de las actividades de mantenimiento preventivo de las áreas mecánica, instrumentos y metalúrgica, estos son permisos de trabajo GHS-F-128, análisis de riesgo GHS-F-126, SAES GHS-F-090 y trabajo en alturas GHS-F-133.

## BIBLIOGRAFIA

ALTMANN, C. (2019). El Análisis de Causa Raíz, como herramienta en la mejora de la Confiabilidad [en línea]. [Citado 5 Agosto 2019]. Disponible en internet <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/causaraizaltmann.pdf>

AYALA Y. 2014. Mejoramiento del sistema de bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas en volcan compañía minera S.A.A. Universidad Nacional del centro del Perú, p. 22.

ARENAS J. 2016. Propuesta de mejora en la gestión del área de mantenimiento, para la optimización del desempeño de la empresa “MANFER S.R.L. Universidad Católica de San Pablo. Peru, p. 27.

CARRILLO E. 2010. Guía para el curso de máquinas hidráulicas. Universidad de San Carlos. Guatemala, p. 2.

CREUS, A. (2007). Instrumentación industrial. Marcombo Editores, p 81.

DÍAZ C & Figeroa K. 2014. Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa L&L. Universidad Autónoma del Caribe, p. 21.

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI). Predictive Maintenance Self Assessment Guidelines for Nuclear Power Plants. 2000, p. 1.

GONZÁLEZ C. Principios de mantenimiento. 2007. Universidad Industrial de Santander UIS, p 37.

HISTORIA DE ECOPETROL. (2014). Recuperado de <https://nuevoportal.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra->

empresa/quienes-somos/lo-que-hacemos/refinacion/complejo-barrancabermeja>.

ISO 13372 de 2004. Condition monitoring and diagnostics of machines, p. 2. Operations & Maintenance. 2004. Types of maintenance programs, p. 53.

PÉREZ D. 2017. Diseño del sistema de bombeo para el abastecimiento óptimo de agua potable del distrito de HUANCÁN-HUANCAYO. Universidad Nacional de centro de Perú, p. 43

Pequeñas charlas de gestión de mantenimiento [en línea]. [Citado 5 Agosto 2019]. Disponible en internet <http://www.ridsso.com/documentos/muro/fbe6005572088684d7d45c9bcf0436ee.pdf>

MUÑOZ, M (2012). Mantenimiento Industrial. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III. Madrid: España.

SIERRA G. 2004. Programa de mantenimiento preventivo para la empresa metalmecánica industrias AVM. Universidad Industrial de Santander, p. 14.

VALDIVIESO J. 2010. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa Extruplas S.A. Universidad Politecnica Salesiana. Ecuador, p. 46.

## Anexos.

### Anexo I. Criterio de aceptación de soldaduras y Métodos de examen para evaluación de imperfecciones.

En la figura 37 se presentan los criterios de aceptación y rechazo según la norma ASME B31.3.

Criterio (A - M) para tipos de soldadura y para condiciones de servicio [Nota (1)]											Método de examen				
Servicio normal y de fluidos Categoría M			Condiciones cíclicas severas			Servicio de fluidos Categoría D					Imperfección de soldadura	Visual	Radiografía	Partículas Magnéticas	Líquidos Penetrantes
Tipo de soldadura			Tipo de soldadura			Tipo de soldadura									
Sold. en ranura circunferenciales, mitradas y conexiones de derivaciones [Nota (2)]	Sold. de costura longitudinal [Nota (3)]	Sold. de filete [Nota (4)]	Sold. en ranura circunferenciales, mitradas y conexiones de derivaciones [Nota (2)]	Sold. de costura longitudinal [Nota (3)]	Sold. de filete [Nota (4)]	Sold. en ranura circunferenciales, mitradas	Sold. de costura longitudinal [Nota (3)]	Sold. de filete [Nota (4)]	Conexiones de derivaciones [Nota (2)]						
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	Grieta	✓	✓	✓	✓
A	A	A	A	A	A	C	A	N/A	A	A	Falta de fusión	✓	✓	✓	...
B	A	N/A	A	A	N/A	C	A	N/A	B	B	Penetración incompleta	✓	✓	...	...
E	E	N/A	D	D	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Porosidad interna	...	✓	...	...
G	G	N/A	F	F	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Inclusión interna de escoria, inclusión de tungsteno o indicación alargada	...	✓	...	...
H	A	H	A	A	A	1	A	H	H	H	Corte bajo	✓	✓	...	...
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	Superficie porosa o inclusión de escoria expuesta [Nota (5)]	✓	...	...	...
N/A	N/A	N/A	J	J	J	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Acabado superficial	✓	...	...	...
K	K	N/A	K	K	N/A	K	K	N/A	K	K	Superficie de raíz cóncava (socavado)	✓	✓	...	...
L	L	L	L	L	L	M	M	M	M	M	Refuerzo de soldadura o protuberancia interna	✓	...	...	...