



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**FORMULACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO  
BASADO EN RCM PARA BOMBAS DE VACÍO DEL  
HOSPITAL UNIVERSITARIO SAN VICENTE  
FUNDACIÓN**

**Autor**

**Faber Alberto Cardona Zapata**

**Universidad de Antioquia**

**Facultad De Ingeniería, Departamento De Ingeniería Mecánica**

**Medellín, Colombia**

**2020**



Formulación De Plan De Mantenimiento Basado En RCM Para Bombas De Vacío Del  
Hospital Universitario San Vicente Fundación

**Faber Alberto Cardona Zapata**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Mecánico**

Asesores:

Asesor Interno:

Silvio Andrés Salazar Martínez

IM, MSc. Profesor

Asesor Externo:

Sergio Alberto Alzate Gallego

Ingeniero Electromecánico

Línea de Investigación:

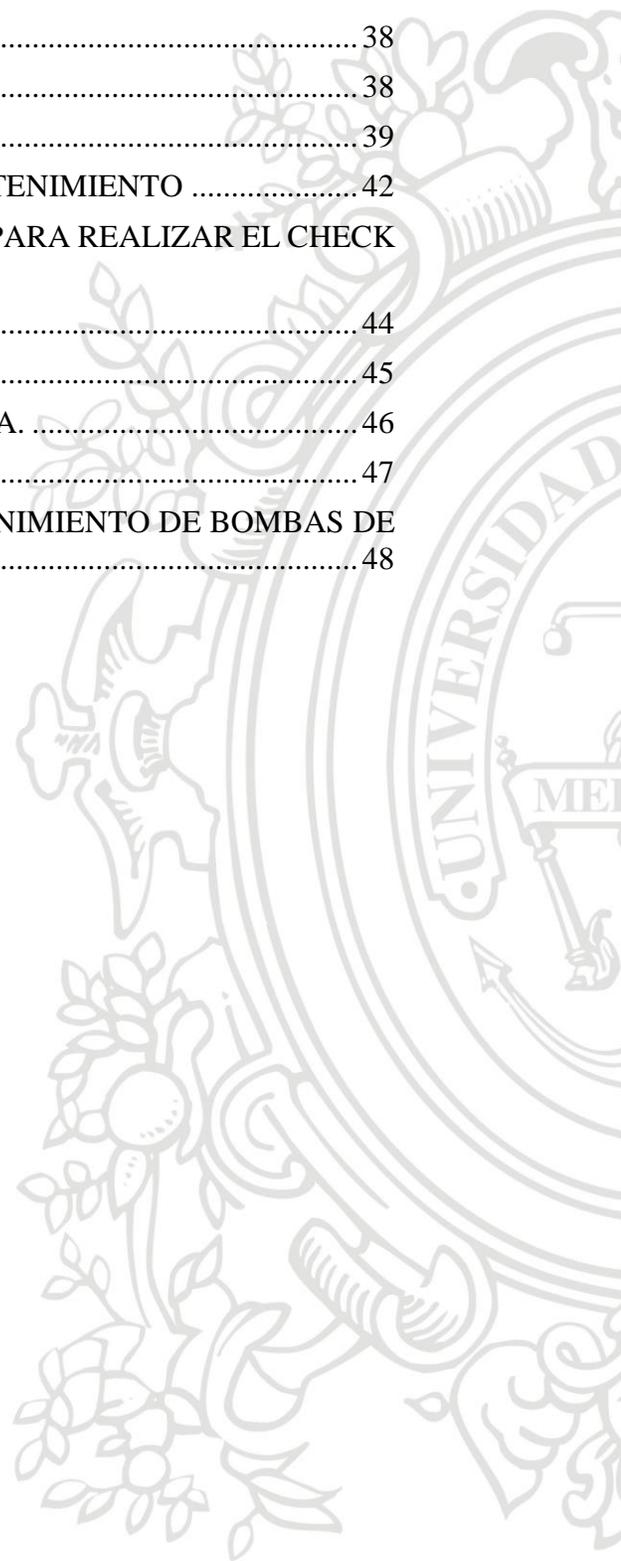
Mantenimiento

Universidad de Antioquia  
Facultad De Ingeniería, Departamento De Ingeniería Mecánica.  
Medellín, Colombia  
2020.

## CONTENIDO

1	RESUMEN.....	7
2	PROBLEMA.....	8
2.1	ANTECEDENTES .....	8
2.2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	8
2.3	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	9
3	JUSTIFICACIÓN.....	10
4	OBJETIVOS.....	11
4.1	OBJETIVO GENERAL.....	11
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
5	MARCO TEÓRICO.....	12
5.1	BOMBAS DE VACÍO.....	12
5.2	MOTORES ELÉCTRICOS .....	12
5.3	CONFIABILIDAD.....	13
5.4	MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) .....	14
5.5	METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS RCM .....	15
5.6	ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	16
5.7	MATRIZ DE CRITICIDAD.....	19
5.8	TAXONOMÍA.....	20
5.9	PASOS DE UN ANÁLISIS RCM.....	20
5.10	FUNCIONES .....	20
5.11	CONTEXTO OPERACIONAL.....	21
5.12	FUNCIONES .....	21
5.12.1	Funciones primarias.....	21
5.12.2	Funciones secundarias .....	22
5.13	FALLAS FUNCIONALES.....	23
5.14	MODOS DE FALLA.....	24
5.15	EFFECTOS DE LOS FALLOS .....	26
6	METODOLOGÍA .....	27
6.1	CONTEXTO OPERACIONAL.....	27
6.2	IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE BOMBAS DE VACÍO.....	30
6.3	IDENTIFICACIÓN DE CONSUMOS Y EL HISTORIAL DE MANTENIMIENTO EN LA PLATAFORMA SAP.....	31

6.4	DEFINICIÓN DE LA BOMBA DE VACÍO MÁS CRÍTICA.....	33
6.5	ESTRUCTURA DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE MANTENIMIENTO. ....	33
6.6	ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA LA BOMBA DE VACÍO .....	35
6.7	ANÁLISIS TAXONÓMICO.....	38
6.8	DISPONIBILIDAD .....	38
6.9	HOJA DE ANALISIS RCM.....	39
6.10	RECOMENDACIONES Y ACCIONES DE MANTENIMIENTO .....	42
6.11	REALIZACIÓN DE ESTÁNDAR DE TRABAJO PARA REALIZAR EL CHECK LIST. 43	
7	CONCLUSIONES .....	44
8	RECOMENDACIONES .....	45
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y CIBERGRAFÍA. ....	46
	ANEXO 1. ESTÁNDAR DE TRABAJO.....	47
	ANEXO 2. MANUAL DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS DE VACÍO .....	48



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ejemplo de funciones para el sistema de generación de vacío.....	22
Tabla 2. Ejemplo de fallas funcionales para una bomba de vacío.....	23
Tabla 3. Ejemplo de modo de falla de bomba de vacío.....	25
Tabla 4. Ejemplo de efectos de fallas. ....	26
Tabla 5. Especificaciones de bombas de vacío.....	30
Tabla 6. Consumos de los equipos de generación de vacío.....	32
Tabla 7. Personal del área de mantenimiento, con el nivel de estudios y experiencia. ....	34
Tabla 8. Rangos de posibilidad de falla.....	36
Tabla 9. Análisis de consecuencia para la seguridad de las personas. ....	36
Tabla 10. Análisis de consecuencia para la producción de vacío.....	36
Tabla 11. Análisis de consecuencia para el medio ambiente. ....	37
Tabla 12. Matriz de criticidad.....	37
Tabla 13. Datos de la bomba de vacío en el año 2019 .....	39
Tabla 14. Recomendaciones componentes de mayor criticidad.....	42



## INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Principio de funcionamiento de bomba de vacío[2].....	12
Imagen 2. Clasificación de mantenimiento RCM [6].....	15
Imagen 3. Modelo de análisis para RCM [7].....	16
Imagen 4. Análisis de criticidad [8] .....	18
Imagen 5. Ejemplo de análisis de criticidad.[10] .....	19
Imagen 6. Ejemplo de matriz de criticidad.....	19
Imagen 7. Mapa del Hospital San Vicente Fundación.[16].....	29
Imagen 8. Pinza amperimétrica UNI-T .....	31
Imagen 9. consumo bloque 8.....	33
Imagen 10. Organigrama del personal equipos de apoyo (Electromecánica). .....	34
Imagen 11. Resultados de encuesta de valoración de consecuencia. ....	35
Imagen 12. Árbol taxonómico.....	38
Imagen 13. Gráfico de disponibilidad de la bomba de vacío del bloque 8.....	39
Imagen 14. Hoja de análisis RCM.....	41
Imagen 15. Explosionado de bomba de vacío.....	48
Imagen 16. Lista de partes de bomba de vacío.....	49

# 1 RESUMEN

En el presente trabajo se realiza la formulación de un plan de “Mantenimiento Basado en la Confiabilidad” (Reliability Centred Maintenance-RCM) para los equipos de generación de vacío del Hospital Universitario San Vicente Fundación, para posteriormente realizar la implementación y así mejorar el proceso de funcionamiento de los equipos aumentando la disponibilidad del proceso durante todo el año, ya que la generación de vacío dentro del hospital se necesita de manera constante para el uso de los pacientes que se encuentran en las salas de cuidados intensivos y salas de hospitalización.

Se hizo un seguimiento a las 10 bombas de generación de vacío, el proceso implica medir el consumo eléctrico de estos equipos y realizar un rastreo histórico de los mantenimientos correctivos y preventivos que se han realizado por medio del sistema de manejo de información (Sistema, Aplicación, Producto en Procesamiento de Datos - SAP)

Posteriormente se aplica la metodología del RCM que consiste en realizar un contexto operacional, análisis de criticidad, análisis taxonómico del equipo y la hoja de análisis con sus respectivos ítems indicando cuales son las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de la falla.

Con lo anterior, se realiza el estándar de trabajo que es el entregable final, para que el equipo de mantenimiento pueda implementar las rutinas de mantenimiento a los equipos de generación de vacío, garantizando que el personal conozca su funcionamiento y así disminuir los tiempos de parada del equipo por averías imprevistas que impliquen la no producción del servicio de vacío el cual es de gran importancia en el hospital.

**Palabras clave:**

*Reliability Centred Maintenance (RCM), Mantenimiento Basado en la Confiabilidad, Bombas de Vacío, Ingeniería de Hospitales.*

## **2 PROBLEMA**

### **2.1 ANTECEDENTES**

El mantenimiento hace parte fundamental de cualquier entidad que cuente con recursos físicos, ya que, estos por su funcionamiento cotidiano, presentan desgaste el cual repercute en fallas, las cuales provocan paros no deseados. Para poder evitar estas fallas se utilizan metodologías útiles para prevenir estos sucesos, en este caso se implementará el RCM, a fin de obtener un plan de mantenimiento que dé una solución satisfactoria al problema.

En Colombia se observa que la gestión de mantenimiento, en un gran porcentaje de empresas o entidades, cuentan con problemas que se pueden evaluar y tomar acciones para que no ocurran con tanta frecuencia. Según la Asociación Colombiana de Ingenieros (ACIEM), el problema con mayor valor porcentual es la falta de capacitación del personal con un 23,7%, seguido de la desarticulación de las áreas de trabajo con un 23,5% y por políticas administrativas obsoletas con un 22,8% y por falta de liderazgo 16,9%; por lo tanto, en el país se debe trabajar en estas falencias para poder pensar en un crecimiento económico estable, para las empresas o entidades.[1]

El Hospital Universitario San Vicente Fundación (HUSVF) es una institución privada sin ánimo de lucro, que presta servicios de salud con énfasis en la atención del paciente de alta complejidad, está habilitado como un hospital de cuarto grado de complejidad, por lo que debe de tener altos estándares de calidad en todos sus activos físicos, ya que, siempre debe de tener disponibles los equipos médicos y el personal capacitado para cualquier contingencia.

En la actualidad el hospital está generando planes de mantenimiento basados en la metodología de RCM de los diferentes equipos mecánicos y eléctricos, el primer plan desarrollado fue para los equipos de generación de aire medicinal, lo que permitió tener una disponibilidad de estos equipos del 99.9%, esto se logró realizando un seguimiento a los compresores y realizando mantenimientos preventivos de forma frecuente.

Con base en la experiencia anterior se va a replicar con las bombas de vacío, para ello se cuenta con el sistema de manejo de información SAP, en el cual se ha recogido información del número de mantenimientos correctivos, en los diferentes intervalos de tiempo.

La selección de las bombas de vacío se debe a que estos equipos en la actualidad trabajan las 24 horas del día, 7 días a la semana siendo parte fundamental y crítica en el tratamiento hospitalario que se les da a los pacientes de la entidad. El equipo de reemplazo no tiene la capacidad suficiente para sustentar la demanda de estas salas.

### **2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

El hospital San Vicente Fundación, cuenta con planes de mantenimiento de equipos de refrigeración, generadores de energía eléctrica, generación de aire medicinal, entre otros. Todos estos equipos deben contar con una alta confiabilidad, ya que, se tiene el riesgo de perder vidas humanas si alguno de esta falla, por lo tanto, el personal de mantenimiento

electromecánico denominado internamente como Equipos de Apoyo, requiere establecer una estrategia de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para posteriormente implementarlo y realizar una mejora continua a los equipos de generación de vacío, para aumentar la disponibilidad y disminuir el coste de mantenimiento.

### **2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El Hospital San Vicente Fundación en la actualidad no cuenta con un plan de mantenimiento definido para los equipos de generación de vacío, lo que si se tiene es una revisión sistemática de los equipos en los cuales los operarios de mantenimiento revisan niveles de aceite u horas de trabajo de este, limpieza de los equipos y alternancia de los motores, etc. todo este procedimiento lo realizan por medio de recomendaciones de fabricantes de los equipos.



### 3 JUSTIFICACIÓN

El Hospital Universitario San Vicente Fundación es una institución privada sin ánimo de lucro, este presta servicio de salud con énfasis en pacientes de alta complejidad, lo que implica garantizar un servicio de alta calidad y confiabilidad por el estado de los pacientes que llegan a este.

El hospital debe de garantizar a sus pacientes una alta confiabilidad, por lo tanto, todos los equipos médicos que se encuentran dentro de la institución no pueden fallar de un momento a otro, por eso se tienen planes de mantenimiento de los equipos más críticos, sin embargo, hay equipos que aún no cuentan con los planes de mantenimiento. Haciendo que el grupo de mantenimiento tenga que aplicar siempre mantenimiento correctivo, aumentando costos y disminuyendo la disponibilidad de los equipos.

Las fallas en los equipos de generación de vacío ocurren por la falta de un plan de mantenimiento, ya que, los encargados de la inspección no tienen muy claro cuál es la parte o el sistema más crítico de los equipos, el enfoque de este trabajo es formular y posteriormente implementar el plan de mantenimiento para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de generación de vacío, trayendo como consecuencia una disminución en los costos de mantenimiento y alargando la vida útil del equipo.

El proyecto presentado en esta monografía está enmarcado en una necesidad del hospital de contar con una alta disponibilidad de los equipos y que los costos de mantenimiento se reduzcan, ya que, el sistema de salud tiene una crisis en la cual a todos los hospitales les ha tocado continuar con su funcionamiento, con un recurso económico reducido, sin disminuir la cantidad de pacientes que atienden.

Este proyecto se divide inicialmente en tres fases que son:

- Formulación de plan de mantenimiento.
- Implementación de la estrategia.
- Mejora continua.

El alcance de este proyecto será la formulación del plan de mantenimiento, en un intervalo de tiempo de 6 meses, las siguientes dos etapas la realizarán posteriormente los encargados del mantenimiento dentro del hospital que internamente se denominan equipos de apoyo.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Formular un plan de mantenimiento dirigido a las bombas de vacío que se utilizan en el Hospital Universitario San Vicente Fundación, utilizando técnicas de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) que permita determinar en un inicio cuales son las fallas más comunes y con esto realizar el proceso de mejora continua, como una herramienta de ciclo proactivo.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

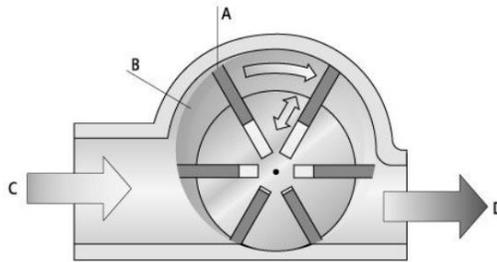
- Identificar las respectivas fallas que han ocurrido a las bombas de vacío, por medio de la información que se obtenga del sistema SAP del hospital y con esto realizar el estudio de que piezas, sistemas mecánicos o sistemas eléctricos que han fallado con más frecuencia en los equipos.
- Diseñar un plan de mantenimiento, el cual se pueda aplicar a todas las bombas de vacío con las que cuenta el hospital, para aumentar la disponibilidad y vida útil de la máquina.
- Aumentar el conocimiento del personal tanto en los fundamentos como en lo práctico, para llevar a cabo el plan de mantenimiento propuesto.
- Prolongar la disponibilidad de las bombas de vacío, por medio de la implementación de herramientas planeadas para prevenir fallos inesperados.

## 5 MARCO TEÓRICO

El desarrollo del plan de mantenimiento basado en confiabilidad se sustenta en el conocimiento del funcionamiento mecánico, eléctrico, electrónico y la eficiencia energética de los equipos a analizar.

### 5.1 BOMBAS DE VACÍO

Las bombas de vacío están conformadas por una rueda ubicada excéntricamente con paletas (A), la fuerza centrífuga de la rueda que es transmitida por un motor acoplado a la rueda presiona las paletas hacia fuera. De esta manera se forman cámaras de diferentes tamaños (B), cuando una cámara se agranda con la rotación, el aire se expande, la presión desciende y se genera el vacío. Con este proceso se aspira el aire de un lado (C) y sale comprimido por el orificio de salida (D). Ver imagen 1.



*Imagen 1. Principio de funcionamiento de bomba de vacío[2]*

Cuando el rotor comienza a girar impulsado por un motor eléctrico de 3.5 a 7.5 HP, la fuerza centrífuga mueve las paletas fuera de las ranuras del rotor y se deslizan contra la superficie interna del cilindro, esto hace que se forme entre dos paletas un volumen que cambia constantemente durante su rotación.

El aire entra por el puerto de a una celda que es la distancia entre dos paletas, mientras esta se aleja del puerto de entrada se reduce su volumen y aumenta su presión, esto continúa hasta que la celda llega al puerto de salida.

Estas bombas de paletas rotativas usan el aceite lubricante para crear un sello entre el extremo final de la paleta y la carcasa de la bomba.

### 5.2 MOTORES ELÉCTRICOS

Las bombas de vacío tienen acoplado un motor eléctrico, estos se diferencian entre sí por las fases eléctricas a las que están conectados, que se identifican como monofásico, bifásico o trifásico.

Para los equipos con motores trifásicos la fórmula para hallar la potencia consumida es:

$$P = \sqrt{3} * I * V * \cos \phi \quad (1)$$

Donde:

P: potencia

I: corriente

V: voltaje

Cos  $\phi$ : factor de potencia

Para los equipos con motores monofásicos y bifásicos la fórmula que se utiliza para hallar la potencia consumida es:

$$P = I * V * \cos \phi \quad (2)$$

P: potencia

I: corriente

V: voltaje

Cos  $\phi$ : factor de potencia

Con las potencias encontradas anteriormente podemos hallar el consumo en KWh de las diferentes bombas de vacío.

$$\text{Consumo} = P * t \quad (3)$$

Donde:

Consumo: kilovatios consumidos en una hora (KWh)

P: potencia

t: tiempo en horas

El factor de potencia es la relación que hay entre la potencia activa que es la potencia que se utiliza o genera trabajo real y la potencia aparente que es la potencia total consumida por el consumidor conectado a un circuito eléctrico de corriente alterna. Esta relación entre la potencia activa y la potencia aparente está en el rango entre 0 y 1.

### 5.3 CONFIABILIDAD.

Es la probabilidad de que un activo fijo de una empresa o entidad opere sin falla por un determinado periodo de tiempo especificado y bajo condiciones de trabajo previamente establecidas. En la definición se toma el tema de probabilidad, ya que, esta indica el uso de una medida cuantitativa, siendo la probabilidad la posibilidad de que un evento ocurra de forma particular. [3]

Algunas razones por las cuales se usa el estudio de la confiabilidad son las siguientes:

- Determinar el tiempo hasta el cual se espera que falle (no falle) un sistema, equipo o componente para determinar tiempos de duración o producción.
- Encontrar el tiempo al cual se espera que sobreviva una cantidad determinada de elementos puestos en operación.
- Determinar la propensión a fallar que tiene un elemento en un tiempo futuro.
- Dado que un elemento ha sobrevivido un tiempo estimado, conocer la probabilidad de que sobreviva un tiempo adicional cumpliendo su función.
- Determinar el grado de seguridad del sistema
- Tener argumentos para una decisión racional en el diseño o el funcionamiento de un sistema.

Con estas razones se puede pensar en establecer el plan de mantenimiento a los activos fijos de empresa o entidades, ya que, estas siempre buscan el menor número de paros y que estén disponibles para las tareas que fueron diseñados.

#### **5.4 MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)**

El Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM) es una metodología que se utiliza con la finalidad de otorgar a las diferentes empresas o entidades, políticas de mejoramiento de los diferentes recursos físicos con los que cuentan y así poder identificar las diferentes causas de las fallas. El mantenimiento basado en la confiabilidad tiene como objetivo reducir el costo de mantenimiento aplicando análisis de causa raíz para identificar que está causando las fallas y por medio de herramientas estadísticas poder predecir cuándo fallarán los diferentes componentes que configuran un recurso físico. [4]

El RCM es un método estructurado, deductivo y participativo que define la estrategia más apropiada para cada equipo actuando en su contexto operativo real. Una estrategia apropiada es un conjunto de tareas capaz de evitar que sucedan modos de fallas o reducir drásticamente sus consecuencias de manera eficiente. Esta técnica establece cuando una tarea es posible desde el punto de vista técnico y cuando es económicamente viable. Los planes de mantenimiento de cualquier máquina cuentan con una eficiencia y eficacia que pueden mejorar significativamente con la herramienta de decisión.[5]

El seguimiento que se le da con el RCM a las máquinas, no solo busca resolver problemas de confiabilidad de éstas, sino que busca ir más a profundidad buscando un cambio cultural de lo que se piensa en el momento de realizar el mantenimiento y es introducir la idea de que el mantenimiento tiene como finalidad asegurar que las funciones que debe cumplir los equipos se sostengan en el tiempo, por lo tanto, de nada vale concentrarse en un equipo de forma aislada, sin analizar las funciones que debe cumplir dentro del contexto operativo en el que funciona. Lo que le interesa al RCM son las funciones de las máquinas.



Imagen 2. Clasificación de mantenimiento RCM [6]

## 5.5 METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS RCM

Alejandro Pistarelli, en su libro “ Manual de Mantenimiento, Ingeniería, Gestión y Organización”[5] para tener un grupo de análisis de RCM se recurre a las personas que conocen más las máquinas, estos pueden ser operadores, técnicos, supervisores de producción y mantenimiento, lubricadores, proveedores, especialistas en seguridad e higiene. La experiencia y conocimientos de los analistas es muy importante para el éxito del proceso, es imprescindible contar con especialistas que conozcan técnicamente al equipo y sepan sobre el RCM, para que así las preguntas formuladas que se generan dentro del equipo de trabajo conduzcan a decisiones acertadas.

Este grupo de personas está entre 6 o 7 miembros, aunque este puede aumentar ocasionalmente cuando se invita a especialistas o proveedores a tratar temas específicos. Las características de las personas que integran este grupo deben de tener un pensamiento amplio y con una conducta en la cual no se pongan trabas ni obstáculos en las decisiones que se toman, ya que, es más importante estas cualidades a la antigüedad que se tenga dentro de la empresa.

El equipo debe reunirse regularmente y es liderado por un facilitador cuyo rol es clave, ya que, debe ser altamente capacitado y con experiencia en la metodología del RCM, también debe tener conocimiento tecnológico y su fin es asegurar el estricto cumplimiento de cada paso y lograr consensos en el grupo. Muchas empresas prefieren que el facilitador no conozca el sistema, para que ejerza un rol de conductor y busque el aporte de todos los participantes, ya que, en los grupos habrá personas más introvertidas que otras, en cuyo caso debe intervenir para que todos se sientan con la posibilidad de expresar su posición libremente, otra tarea como moderador es evitar la confrontación entre los miembros del equipo.

Para continuar realizando el RCM se recomienda realizar una valoración económica y de riesgo de las pérdidas que deja un equipo, aplicando un análisis de criticidad para encontrar

y posteriormente escoger un conjunto de activos sobre los cuales es más conveniente aplicar la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad.

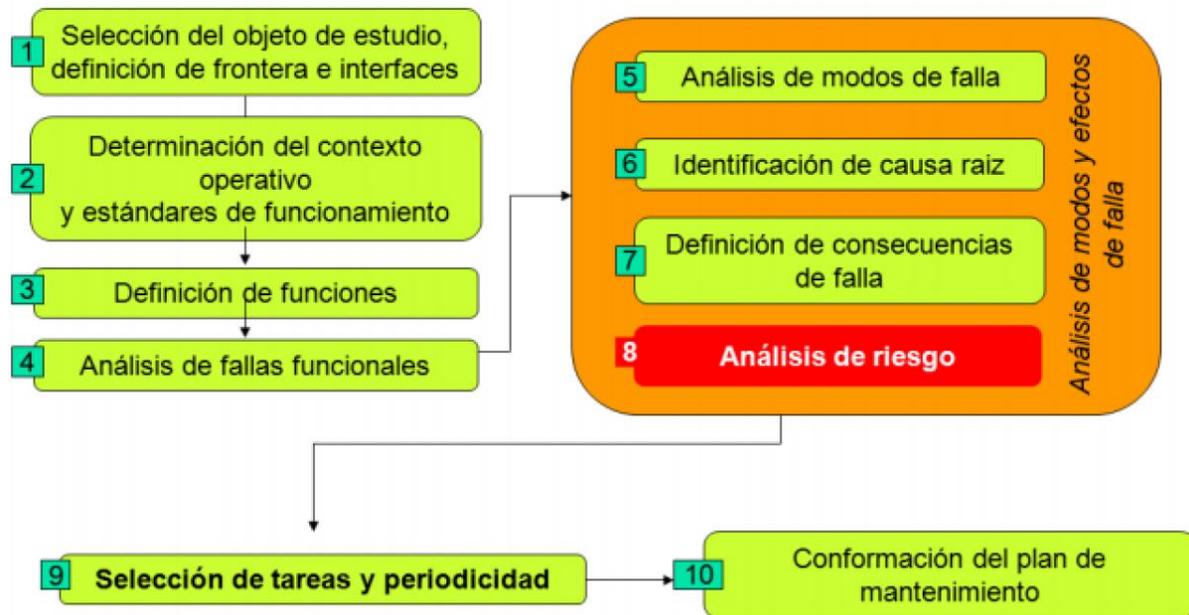


Imagen 3. Modelo de análisis para RCM [7].

## 5.6 ANÁLISIS DE CRITICIDAD.

Santiago García, en su libro “Organización y gestión integral de mantenimiento” [6] En las plantas los equipos no cuentan con la misma importancia en los procesos, es un hecho que unos equipos tienen más importancia que otros, como los recursos que maneja una empresa son limitados, se debe analizar cuáles son los equipos más críticos y se debe destinar más recursos a éstos y los equipos menos críticos un recurso menor para mantenimientos.

Para diferenciar los niveles de criticidad que pueden tener los equipos de una planta tenemos los siguientes ítems:

- **Equipos críticos:** son aquellos cuya parada o mal funcionamiento afectan significativamente los resultados de la empresa.
- **Equipos importantes:** son aquellos equipos cuya parada, avería o mal funcionamiento afecta a la empresa, pero las consecuencias son asumibles.
- **Equipos prescindibles:** son aquellos con una incidencia escasa en los resultados. Como mucho, supondrían una pequeña incomodidad, algún pequeño cambio de escasa trascendencia, o un pequeño coste adicional.

Los criterios antes mencionados se pueden relacionar desde el punto de vista de las matemáticas con una ecuación, para realizar esta ecuación a cada elemento se le otorgo una puntuación con ayuda del equipo de trabajo, permitiendo nivelar y homologar criterios para

posteriormente establecer prioridades y así enfocar el trabajo de mantenimiento al equipo más crítico, con el objetivo de maximizar la vida del equipo y la rentabilidad.

Por lo tanto, las ecuaciones que permite expresar la criticidad de una máquina, sistema o elemento es la siguiente:

$$\mathbf{CRITICIDAD = FRECUENCIA \times CONSECUENCIA} \quad (4)$$

$$\mathbf{Consecuencia =} \\ \mathbf{(Impacto\ operacional\ x\ Flexibilidad\ operacional) +} \\ \mathbf{(Costo\ de\ mantenimiento) +} \\ \mathbf{(Impacto\ seguridad\ y\ medio\ ambiente)} \quad (5)$$

Donde la definición de cada criterio es:

- **Frecuencia de falla:** número de veces que se repite un evento considerando como falla dentro de un periodo de tiempo.
- **Impacto operacional:** efectos causados en la producción cuando ocurre una falla.
- **Flexibilidad operacional:** se define como la posibilidad de realizar un cambio rápido para continuar con la producción sin incurrir en gastos o pérdidas considerables.
- **Costos de mantenimiento:** se reúnen el historial de los costos que implican la labor del mantenimiento, sin tomar en cuenta los costos de producción que se dejaron de obtener.
- **Impacto en seguridad y medio ambiente:** posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas o al medio ambiente.

A continuación, se verá según el lugar, qué criterio podemos utilizar para clasificar cada uno de los equipos en algunas de las categorías anteriores. Se debe considerar la influencia que una anomalía tiene en cuatro aspectos: producción, calidad, mantenimiento y seguridad.

- **Producción:** cuando valoramos la influencia que un equipo tiene en la producción, la pregunta que se hace es ¿cómo afecta un posible fallo?, suponiendo que es una parada total de la instalación.
- **Calidad:** el equipo puede tener una influencia decisiva en la calidad del producto o servicio final, una influencia relativa que no acostumbre a ser problemático o una influencia nula.
- **Mantenimiento:** el equipo puede ser muy problemático, con averías de alto costo o frecuentes; o bien un equipo con un coste medio en mantenimiento. Incluso un equipo con muy bajo coste, que normalmente no da problemas.
- **Seguridad y medio ambiente:** un fallo en el equipo puede generar un accidente muy grave, bien para el medio ambiente o para las personas, y que además tenga cierta probabilidad de fallo; es posible también que un fallo del equipo pueda ocasionar un accidente, pero la probabilidad de que eso ocurra puede ser baja.

La Imagen 4 que se presenta a continuación, pone en práctica los niveles de criticidad y los diferentes criterios que se analizarán para identificar la importancia del equipo en planta o empresa.

Tipo de equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
A CRÍTICO	Puede originar accidente muy grave.	Su parada afecta al Plan de Producción.	Es clave para la calidad del producto.	Alto coste de reparación en caso de avería.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Averías muy frecuentes.
	Ha producido accidentes en el pasado.			Consumo una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales).
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas (anuales).	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o al Plan de Producción).	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Coste Medio en Mantenimiento.
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas.			
C PRESCINDIBLE	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	Bajo coste de Mantenimiento.

*Imagen 4. Análisis de criticidad [8]*

En la Imagen 4 se presentaron unos criterios, sin embargo, estos pueden aumentar según sea la necesidad de la planta o empresa que está implementando el plan de mantenimiento, otros posibles criterios que se podrían tener en cuenta son:

- **Tiempo promedio entre falla (MTBF):** es el tiempo promedio que un equipo o alguno de sus componentes reparables (los no reparables se miden por el tiempo promedio a falla MTTR), máquina, línea o planta cumple su función sin interrupción, debido a una falla funcional. [7]
- **Frecuencia de falla:** una falla es un evento que cambia el estado operacional de un activo fijo a no operacional.

La ponderación de los factores que intervienen en la ecuación, son determinados por el grupo de trabajo de mantenimiento, en la Imagen 5 se presenta un ejemplo en el cual se da una valoración de a los ítems de análisis de criticidad.

<b>VALOR</b>	<b>FRECUENCIA DE FALLAS</b>	
4	ALTA: mas de 5 fallas por año	○
3	PROMEDIO: 2 a 4 fallas por año	○
2	BAJA: 1 a 2 fallas por año	○
1	EXCELENTE: Menos de una falla por año	●
<b>VALOR</b>	<b>IMPACTO OPERACIONAL</b>	
10	Parada inmediata de toda la planta	○
6	Parada inmediata de un sector de la linea	○
4	Impacta los niveles de operación o calidad	●
2	Repercute en costos operacionales adicionales asociados a la disponibilidad del equipo	○
1	No genera ningun efecto significativo	○
<b>VALOR</b>	<b>FLEXIBILIDAD OPERACIONAL</b>	
4	No existe opcion de produccion ni respaldo	○
2	Existe opcion de respaldo compartido	●
1	Existe opcion de respaldo disponible	○

Imagen 5. Ejemplo de análisis de criticidad.[10]

## 5.7 MATRIZ DE CRITICIDAD

Teniendo el análisis de criticidad de los equipos inspeccionados, el siguiente paso es realizar una matriz en la cual se pueda analizar la frecuencia de la falla en función de la consecuencia de la falla, para esto se divide en tres zonas que caracterizan los activos fijos en análisis, estos son:



Imagen 6. Ejemplo de matriz de criticidad.

Para analizar con mayor facilidad la gráfica se le coloca a cada zona un código de colores que permita identificar cual activo fijo tiene mayor nivel de criticidad, como se puede ver en la Imagen 6.

## 5.8 TAXONOMÍA

La taxonomía es la que trata los métodos de clasificación, por lo tanto, para el análisis riguroso de los equipos se debe realizar una clasificación taxonómica que permita analizar los componentes y las partes de mayor nivel de criticidad. Lo anterior con el fin de elaborar diferentes estrategias de mantenimiento.

## 5.9 PASOS DE UN ANÁLISIS RCM

Para el análisis del mantenimiento basado en la confiabilidad se deben responder de manera detallada y sistemática las siguientes preguntas que serán la guía metodológica para la implementación del RCM, las preguntas se deben responder siguiendo la secuencia que se muestra a continuación:

1. ¿Cuáles son las funciones y estándares de operación en cada sistema, tomando en cuenta el contexto operacional?
2. ¿Respecto a sus funciones como falla cada equipo?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla?
5. ¿Cuál es el impacto real de cada falla?
6. ¿Cómo se puede prevenir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se puede prevenir una falla funcional?

Al responder las preguntas anteriores, se tendrá una estrategia de mantenimiento que se acople a las necesidades de los activos fijos de la empresa, estas preguntas son genéricas y se pueden usar para cualquier tipo de industria o proceso.

El análisis del RCM se debe efectuar de una forma lógica, estructurada y sistemática, con las personas que representan las diferentes áreas o departamentos de la empresa, el conocimiento y experiencia se comparte en el grupo que conforma el equipo de mantenimiento y con esto se garantiza que el plan de mantenimiento sale del consenso de los responsables de la gestión de los equipos.

Para que un proceso sistemático y de decisión se le pueda otorgar el nombre de RCM este debe cumplir con las normas internacionales, SAE JA 1011 “Criterios de evaluación para procesos de RCM” y SAE JA 1012 “Una guía para la norma de RCM”, estas normas establecen los criterios con los cuales se debe evaluar un proceso.

## 5.10 FUNCIONES

Según la norma SAE JA 1011, sección 5.1[8], las funciones deben elaborarse según cuatro conceptos claves para el análisis detallado del activo fijo de una empresa y son los siguientes:

- Contexto operacional
- Funciones primarias y secundarias
- Descripción de las funciones
- Estándares de desempeño

En la realización de estos conceptos, se debe hacer un seguimiento a la empresa y a los equipos de esta.

## **5.11 CONTEXTO OPERACIONAL**

Es el contexto en el cual se desenvuelve el activo, este debe realizarse haciendo una descripción global y breve de cómo se utilizará el equipo, en donde se utilizará, y los aspectos que gobiernan los criterios de desempeño tales como producción, rendimiento, seguridad, medio ambiente, etc. [9]

Para poder recolectar toda la información de los activos fijos se debe tener fuentes como son: los manuales de los equipos, instructivos de los equipos, fichas técnicas del producto y de la materia prima, los procedimientos de paradas y puesta en marcha, normas de seguridad, normas medio ambientales, etc. y primordialmente todo el conocimiento de las personas que operan los equipos y los datos históricos de los problemas más frecuente que ha tenido el equipo desde su obtención.

## **5.12 FUNCIONES**

En este paso se responde la primera pregunta del RCM, consiste en especificar las funciones del equipo o sistema en análisis. Las funciones son las expectativas que los dueños, usuarios y mantenedores tienen respecto al activo. Para el análisis de las funciones es necesario redactar claramente cada función utilizando, al menos un verbo en infinitivo, un objeto que viene siendo el sustantivo y un rendimiento deseado (valor o rango de valores) siempre que sea posible [5].

La norma SAE JA 1012 establece que las funciones primarias es la razón por la que cualquier organización adquiere algún activo o sistema para cumplir con una función o funciones específicas[9], esos parámetros de funcionamiento pueden ser volumen, caudal, velocidad, calidad del producto y servicio al cliente entre otras.

La norma SAE 1012 establece que las funciones secundarias, son las que se espera que la mayoría de los activos desarrollen otras funciones, además de las primarias, estas funciones secundarias normalmente son menos obvias que las funciones primarias. Pero la pérdida de una de las funciones secundarias también puede tener serias consecuencias, en ocasiones más serias que la pérdida de una de las funciones principales. Por lo tanto, las funciones secundarias necesitan a menudo tanta, sino más, atención que las funciones primarias, por lo tanto deben estar bien identificadas[9].

### **5.12.1 Funciones primarias.**

- Medir (verbo) nivel de vacío de tanque de almacenamiento (objeto) en un rango de 15 a 20 mmHg (parámetro de funcionamiento)
- Generar (verbo) vacío por medio de los cabezotes (objeto) desde 640 mmHg hasta 20 mmHg (parámetro de funcionamiento)
- Almacenar (verbo) completamente la presión de vacío (objeto) en el tanque de almacenamiento sin pérdidas (prestación deseada).

- Aliviar (verbo) la presión de vacío interior del tanque de almacenamiento (objeto) si alcanza una presión de 30 mmHg (parámetro de funcionamiento)

### 5.12.2 Funciones secundarias

- Poner (verbo) en funcionamiento la bomba de vacío (objeto) cuando el nivel del tanque es de 15 mmHg (parámetro de funcionamiento).
- Detener (verbo) funcionamiento de la bomba (objeto) cuando el nivel del tanque de almacenamiento es de 20 mmHg (parámetro de funcionamiento).
- Impedir (verbo) que las guardas del ventilador (objeto) estén en estado de deterioro (prestación deseada).
- Indicar (verbo) por medio de alarma sonora y lumínica en la máquina “X” (objeto) cuando el sistema tenga un nivel en el tanque inferior a 10 mmHg (parámetro de funcionamiento).
- Dar (verbo) nivel adecuado a la máquina “X” para que las vibraciones no sobrepasen los 50 Hz. (parámetro de funcionamiento).

Según la norma ISO 14224 se establece que un sistema es un conjunto de equipos o subsistemas, las funciones de los equipos hacen posible que el sistema satisfaga los requerimientos de la empresa, las fallas funcionales que son causadas por los modos de falla, pueden afectar la funcionalidad de todo el sistema. También un equipo se puede dividir en componentes y en estos recae las estrategias del plan de mantenimiento, cuando los componentes fallan por medio de los modos de falla, provocan la pérdida de la función de los equipos[10].

En la Tabla 1, se presentan las funciones en una hoja de análisis de revisión de un plan RCM, de bomba de generación de vacío.

*Tabla 1. Ejemplo de funciones para el sistema de generación de vacío*

<b>Hoja de Análisis</b>	
<b>Sistema: Generación de vacío</b>	
<b>Equipo: Bomba de vacío</b>	
<b>Funciones</b>	
<b>1</b>	Convertir energía eléctrica en energía mecánica por medio de los campos magnéticos de 7,5 Hp
<b>2</b>	Formar cámaras de aire para comprimirlo y generar un diferencial de presión (vacío)
<b>3</b>	Permitir el desplazamiento de las paletas rotativas
<b>4</b>	Transmitir la potencia del motor eléctrico a la bomba de vacío
<b>5</b>	Contener las impurezas generadas por la degradación del aceite y de las partículas que entran al sistema en un rango de 3-25 um.

### 5.13 FALLAS FUNCIONALES

Conforme a la norma SAE JA101[9] surge la pregunta ¿De qué manera puede fallar al cumplir sus funciones?, para poder responder esta pregunta se deben definir todos los estados de falla asociados a cada función.

Un activo falla si es incapaz de hacer lo que el usuario desea que haga, un activo debe estar definido con una función a cumplir, sin embargo, en la mayoría de los casos los activo tiene más de una función a realizar y como para cada una de estas funciones existe la posibilidad de fallar, cualquier máquina o activo puede sufrir una variedad de estados de falla.

Por ejemplo, si en una bomba de vacío que su función primaria es generar un vacío de 20 mmHg, en la red de vacío hospitalario, puede ocurrir que la máquina cumpla con los estándares de calidad, pero no con los valores de eficiencia requeridos. Observemos las posibles fallas funcionales en este ejemplo.

- Incapaz de generar un vacío de 20 mmHg
- Genera un vacío de 25 mmHg
- Genera un vacío de 15 mmHg

Con el ejemplo anterior se puede observar que una función puede tener más de una falla funcional, en otras palabras, más de una forma de fallar, por lo tanto, es necesario enumerar todas las posibles fallas de una máquina, ya que cada una de estas fallas pueden originarse por distintos modos de falla y puede producir distintas consecuencias en el equipo.

Las fallas funcionales de las máquinas se ubican en la columna número de 2 de la hoja de análisis, en la Tabla 2 se muestra cómo se van relacionando los diferentes análisis de los componentes de la bomba de vacío.

*Tabla 2. Ejemplo de fallas funcionales para una bomba de vacío.*

<b>Hoja de Análisis</b>			
<b>Sistema: Generación de vacío</b>			
<b>Equipo: Bomba de vacío</b>			
<b>Funciones</b>		<b>Fallas Funcionales</b>	
<b>1</b>	Convertir energía eléctrica en energía mecánica por medio de los campos magnéticos de 7,5 Hp	A	Incapaz de generar campos magnéticos
		B	No genera una potencia de 7,5 Hp
<b>2</b>	Formar cámaras de aire para comprimirlo y generar un diferencial de presión (vacío) Permitir el desplazamiento de las paletas rotativas	A	No comprime el aire de las cámaras
		B	No formas la cantidad de volumen necesario en la cámara de aire
<b>3</b>	Permitir el desplazamiento de las paletas rotativas	A	No permite el movimiento de la bomba
<b>4</b>	Transmitir la potencia del motor eléctrico a la bomba de vacío	A	Incapaz de potencia por medio de la banda

<b>Hoja de Análisis</b>			
<b>Sistema: Generación de vacío</b>			
<b>Equipo: Bomba de vacío</b>			
<b>Funciones</b>		<b>Fallas Funcionales</b>	
		B	Potencia transmitida deficiente
5	Contener las impurezas generadas por la degradación del aceite y de las partículas que entran al sistema en un rango de 3-25 um.	A	Incapaz de retener partículas
		B	obstrucción total del filtro

#### 5.14 MODOS DE FALLA

La parte más importante del RCM es el análisis de los modos de falla, estos son el evento que puede ocurrir en el componente y provocar una falla funcional de la máquina a la cual pertenece ese componente. Para identificar el evento se analizará por medio de causa raíz esta busca la causa del problema, ya que este se puede dar por razones de índole física, humana o administrativa, por lo general una falla funcional puede ser causada por más de un modo de falla.

Para el análisis de una falla no solo se debe indicar que la falla ocurre solo por razones mecánicas, esto es muy común en las pequeñas y medianas empresas, para que el análisis sea completo se debe investigar desde la parte del personal que opera las máquinas, hasta lo administrativo que es el dirige la empresa, la causa de una falla puede ser indiscriminadamente por cualquiera de estas tres razones.

En este trabajo se analizará los modos de fallas por medio de la Metodología De Mapeo De La Causa, que es una plantilla de la página de Thinkreliability, la cual facilita el análisis de la causa raíz y se encuentra de forma sencilla la solución a los modos de falla del equipo.

En esta plantilla se combinan varias metodologías que son:

- Por qué-por qué
- Diagrama de espina de pescado (diagrama de Ishikawa)

Los modos de falla tienen una estructura para poder mencionarlos, se debe redactar en tercera persona y en esta debe ir incluida el elemento de máquina, seguido de un participio pasivo o adjetivo que califique el deterioro del elemento. En algunos casos se pone la situación de falla, los modos de fallas van ubicados en la tercera columna de la hoja de análisis. Algunos ejemplos son los siguientes:

- Cilindro (objeto) desgastado (participio pasado) por falta de aceite (situación de falla)
- Paletas (objeto) degastadas (participio pasado) por falta de aceite (situación de falla)
- Rodamiento de agujas (objeto) superado (participio pasado) tiempo de vida útil (situación de falla)

- Filtro de aceite (objeto) desgastado (participio pasado) por partículas (situación de falla)
- Vacuómetro (objeto) descalibrado (participio pasado) no mide presiones de vacío de 20 mmHg

En la siguiente Tabla 3 se presentan los modos de falla para la bomba de vacío que se ha venido trabajando en los ejemplos anteriores:

*Tabla 3. Ejemplo de modo de falla de bomba de vacío.*

<b>Hoja de Análisis</b>					
<b>Sistema: Generación de vacío</b>					
<b>Equipo: Bomba de vacío</b>					
<b>Funciones</b>		<b>Fallas Funcionales</b>		<b>Modos de falla</b>	
<b>1</b>	Convertir energía eléctrica en energía mecánica por medio de los campos magnéticos de 7,5 Hp	A	Incapaz de generar campos magnéticos	1	Bobina cortocircuitada
		B	No genera una potencia de 7,5 Hp	1	Desgaste de rodamiento
<b>2</b>	Formar cámaras de aire para comprimirlo y generar un diferencial de presión (vacío) Permitir el desplazamiento de las paletas rotativas	A	No comprime el aire de las cámaras	1	Desgastado excesivamente de las paletas por contacto metal-metal
		B	No forma la cantidad de volumen necesario en la cámara de aire	1	Falta de aceite lubricante
<b>3</b>	Permitir el desplazamiento de las paletas rotativas	A	No permite el movimiento de la bomba	1	Residuos obstruyen el movimiento excéntrico de la bomba,
<b>4</b>	Transmitir la potencia del motor eléctrico a la bomba de vacío	A	Incapaz de transmitir potencia por medio de la banda	1	Banda de transmisión reventada
		B	Potencia transmitida deficiente	1	Tensión de correas incorrecta
<b>5</b>	Contener las impurezas generadas por la degradación del aceite y de las partículas que entran al sistema en un rango de 3-25 um.	A	Incapaz de retener partículas	1	Desgastado por sobre pasar el tiempo de vida útil
		B	obstrucción total del filtro	1	No da paso al aceite lubricante

## 5.15 EFECTOS DE LOS FALLOS

Para la cuarta columna de la hoja de análisis, está destinada para describir la consecuencia de lo que sucedería si se produce el modo de falla. Este ítem debe tener suficiente información para identificar el grado de gravedad del componente.

Tabla 4. Ejemplo de efectos de fallas.

Hoja de Análisis						
Sistema: Generación de vacío						
Equipo: Bomba de vacío						
Funciones		Fallas Funcionales		Modos de falla		Efectos de la falla
1	convertir energía eléctrica en energía mecánica por medio de los campos magnéticos de 7,5 Hp	A	Incapaz de generar campos magnéticos	1	Bobina cortocircuitada	Paro total del motor y por consiguiente de todo el sistema de generación de vacío
		B	No genera una potencia de 7,5 Hp	1	Desgaste de rodamiento	Al rodamiento estar defectuoso el eje de motor no gira libremente, generando perdidas por fricción y aumentando la temperatura del motor
2	Formar cámaras de aire para comprimirlo y generar un diferencial de presión (vacío) Permitir el desplazamiento de las paletas rotativas	A	No comprime el aire de las cámaras	1	Desgastado excesivamente de las paletas por contacto metal-metal	la bomba sigue funcionando, pero no genera vacío para almacenar.
		B	No forma la cantidad de volumen necesario en la cámara de aire	1	Falta de aceite lubricante	No se forma el sello para que el aire quede retenido en las cámaras
3	Permitir el desplazamiento de las paletas rotativas	A	No permite el movimiento de la bomba	1	Residuos obstruyen el movimiento excéntrico de la bomba	La bomba se frena y puede rayar el cilindro y esto aumenta el daño al cilindro
4	Transmitir la potencia del motor eléctrico a la bomba de vacío	A	Incapaz de transmitir potencia por medio de la banda	1	Banda de transmisión reventada	Funcionamiento de la bomba de vacío nula
		B	Potencia transmitida deficiente	1	Tensión de correas incorrecta	Falla de la banda, se puede reventar al poner en sistema en funcionamiento.
5	Contener las impurezas generadas por la degradación del aceite y de las partículas que entran al sistema en un rango de 3-25 um.	A	Incapaz de retener partículas	1	Desgastado por sobre pasar el tiempo de vida útil	Afectación de los componentes de la bomba por desgaste
		B	obstrucción total del filtro	1	No da paso al aceite lubricante	No hay generación de vacío

## 6 METODOLOGÍA

La metodología diseñada para la formulación de plan de mantenimiento para las bombas de vacío del Hospital Universitario San Vicente Fundación tiene las siguientes etapas.

1. Definición del contexto operacional actual para las bombas de vacío.
2. Identificación del tipo de bombas de vacío.
3. Identificación de consumos y el historial de mantenimiento en la plataforma SAP.
4. Definición de la bomba de vacío más crítica.
5. Estructura de funcionamiento del equipo de mantenimiento.
6. Análisis de criticidad para la bomba de vacío.
7. Análisis taxonómico.
8. Disponibilidad.
9. Hoja de análisis RCM.
10. Recomendaciones y acciones de mantenimiento.
11. Recopilación en la hoja de análisis del RCM.
12. Realización de estándar de trabajo para realizar el check list.

### 6.1 CONTEXTO OPERACIONAL

El sistema de salud en Colombia cuenta con 1800 hospitales y clínicas [11], entre las cuales se encuentran entidades públicas y privadas. Los anteriores están regidos por el Ministerio de Salud, el cual se encarga de reglamentar y supervisar que estas instituciones cumplan todas las normativas y obligaciones con los habitantes de la nación, los hospitales y clínicas se categorizan por su grado de complejidad el cual según la resolución 5261 de 1993, por medio de la cual establece el manual de actividades, intervenciones y procedimientos del plan obligatorio de salud. En la cual se indica y especifica los requerimientos que debe tener un hospital según su nivel de complejidad, estos niveles son los siguientes[12]:

- **Primer nivel de complejidad:** Son centros de atención de salud con personal médico general y personal auxiliar, en estos hospitales se brinda una atención básica, no se realizan procedimientos quirúrgicos, por lo tanto, no cuentan con equipos de generación de aire medicinal y vacío, ni plantas generadoras de electricidad.
- **Segundo nivel de complejidad:** Son centros de salud que cuentan con personal médico general, profesional paramédicos con interconsulta, remisión, asesoría de personal y recursos especializados.
- **Tercer nivel de complejidad:** Son centros de atención de salud que cuentan con personal y la infraestructura, para brindar una atención de alta complejidad, estos hospitales reciben a la población que fue remitida de un hospital de baja o media complejidad. Estos hospitales cuentan equipos especializados para la generación de aire medicinal y vacío, plantas generadoras de energía eléctrica.
- **Cuarto nivel de complejidad:** Son centros de atención de salud con personal e infraestructura capaz de brindar atención de alta complejidad a la población, estos prestan servicios médico quirúrgico en hospitalización y ambulatorio a personas que requieren cuidados especializados, para poder garantizar un servicio de esta categoría

se debe contar con equipos de generación de aire medicinal y vacío, plantas generadoras de electricidad y equipos hospitalarios especializados para las intervenciones.

Los hospitales de alta complejidad, de nivel 3 y nivel 4, se encuentran en las principales ciudades de país, a estos llegan remitidos de hospitales y clínicas de menor nivel, en Antioquia se encuentran 30 hospitales de los cuales en la ciudad de Medellín se encuentran ubicados 12 hospitales de los diferentes niveles de complejidad. Este trabajo está enfocado en uno de los principales hospitales de la ciudad de Medellín y con nivel de complejidad 4.

El Hospital Universitario San Vicente Fundación, está ubicado en la ciudad de Medellín en el barrio Sevilla de dicha ciudad, tiene una historia de 106 años de existencia, que lo hace ser parte del patrimonio arquitectónico de esta ciudad, en la actualidad el HUSF cuenta con dos sedes, una de estas sedes se encuentra ubicada en el municipio de Rionegro y la sede principal en la ciudad antes mencionada. El hospital presta servicios de alta complejidad, por lo tanto, tiene que cumplir rigurosamente con estándares de calidad en sus equipos hospitalarios, en el hospital se cuenta con diferentes sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos, que tienen que funcionar 7 días a las semanas, las 24 horas del día durante todo el año, esto hace que los equipos que se encuentran en funcionamiento dentro del hospital deban tener una alta confiabilidad.



## 6.2 IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE BOMBAS DE VACÍO.

Actualmente las 10 bombas de vacío que se encuentran en funcionamiento se presentan en la Tabla 5 con sus respectivas especificaciones:

Tabla 5. Especificaciones de bombas de vacío

<b>BOMBAS DE VACÍO DEL HOSPITAL SAN VICENTE FUNDACIÓN</b>				
<b>Ubicación</b>	<b>Placa</b>	<b>Año de compra</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
<b>Bloque 3</b>	16051	01/01/1990	EMCO (SPEEDRITE)	201-462-06- 121-216
<b>Bloque 5</b>	19513	01/01/2002	INGERSOLL- RAND	2-V244D2
<b>Bloque 6</b>	37006	01/01/1990	EMSE (AMICO)	201-232-10-121
<b>Bloque 7</b>	28385	30/04/2007	ENSE	1DRR2T120V
<b>Bloque 7 (Estomatología)</b>	33495	27/01/2010	RAMVAC	809E10501
<b>Bloque 8</b>	15972	01/01/1990	INFOR	2V255DS
<b>Bloque 11</b>	31843	13/02/2009	ENSE	1DRB7.5T200
<b>Bloque 12 (TERRAZA)</b>	26246	28/06/2006	INGERSOLL- RAND	V235D 1.5
<b>Bloque 12</b>	15963	01/01/1990	EMCO (ELMO)	N.A
<b>Bloque 14</b>	31840	13/02/2009	EMSE	1DRB7.5T200

<sup>1</sup>De estas 10 bombas de vacío antes mencionadas, el Hospital cuenta con varias referencias distintas, sin embargo, tienen el mismo funcionamiento, la única diferencia que hay es que tienen dos tipos de lubricación del sistema que son:

- Lubricación por salpique.
- Lubricación por recirculación.

El sistema para la generación y almacenamiento del vacío está conformado por varios dispositivos que se encargan de dar funcionamiento a este servicio, entre ellos están los motores, las bombas de paletas, el tanque de almacenamiento de vacío, vacuómetros, caja de control, medidores de aceite, entre otros. Siendo estos los más importantes en este sistema.

Para hacer funcionar el sistema de generación de vacío, éste tiene un consumo de energía eléctrica que es la que consumen los motores que impulsan las bombas, este consumo es representativo, ya que, las bombas de vacío trabajan en intervalos de tiempos y la gran mayoría de éstas en su sistema tienen dos bombas y por ende dos motores, para poder alternarse en su funcionamiento, con el propósito de que el desgaste sea proporcional entre las dos bombas.

---

<sup>1</sup> **Placa (SAP):** Es la placa con la cual se identifica el equipo.

### 6.3 IDENTIFICACIÓN DE CONSUMOS Y EL HISTORIAL DE MANTENIMIENTO EN LA PLATAFORMA SAP.

Para encontrar los consumos de las bombas de vacío que se están analizando, se hicieron mediciones en los días de mayor actividad del Hospital, lo cual nos garantiza que la utilización del vacío generado sea alto, por lo tanto, se prosiguió a realizar las mediciones de cuanto consumo en corriente tiene cada motor, esto se realizó con una pinza amperimétrica UNIT-T UT202A con la cual se puede medir corrientes desde 20 A hasta 600 A, medición de voltaje AC/ DC y continuidad, este equipo cuenta con una resolución de 0,1 para las diferentes mediciones antes mencionadas; también se tomó la medición de cuantas veces encendía en un intervalo de tiempo y cuanto duraba encendido el motor de la bomba de vacío.

En la toma de información se encontró que la mayoría de los equipos de generación de vacío trabajan con motores trifásicos y solo un equipo trabaja con un motor bifásico, por lo tanto, se usaron las ecuaciones (1), (2), (3) para hallar la potencia consumida por cada equipo.



*Imagen 8. Pinza amperimétrica UNI-T*

En la Tabla 6 se presenta la información recolectada de cada uno de los equipos de generación de vacío que actualmente trabajan en el HUSVF.

Tabla 6. Consumos de los equipos de generación de vacío.

Ubicación	Cabezote	Factor de potencia	Amperios	Voltaje	Potencia (Kw)	Total Kwh al día
Bloque 3	1	0,76	6,3	205	1,70	13,49
	2		6,2		1,67	
Bloque 5	1	0,76	6,7	204	2,37	5,76
	2		6,7		2,37	
Bloque 6	1	0,76	22,3	205	7,92	64,05
	2		18,7		6,64	
Bloque 7	1	0,825	6,5	205	2,31	29,99
	2		6,2		2,20	
Bloque 7 (Estomatología)	1	0,72	5,9	200	1,18	7,08
Bloque 8	1	0,76	8,6	205	6,39	95,44
	2		9,4			
Bloque 11	1	0,76	23,5	205	8,34	33,38
	2		23,5		8,34	
Bloque 12 (Terraza)	1	0,76	3,2	205	0,82	7,19
Bloque 12	1	0,84	8,4	204	2,97	4,64
	2		8		2,83	
Bloque 14	1	0,76	21	208	5,75	34,66
	2		21		5,48	

De la Tabla 6 se tiene que el único motor bifásico es el del bloque 7 (estomatología), estos motores no son tan comunes, ya que, en la industria se utilizan en su gran mayoría los motores trifásicos por sus ventajas, como tener mayor potencia y no generan tanta vibración como los motores monofásicos y bifásicos; por eso el resto de los motores que están adaptados a las bombas de vacío son trifásicos por las ventajas antes mencionadas.

Los motores trifásicos con los que cuentan los equipos de generación de vacío del hospital, como se puede ver en la información recolectada tienen un factor potencia muy bajo, lo cual hace que el consumo de energía en el hospital aumente, sin embargo al ser un hospital y tener un gran consumo de energía de otros sistemas eléctricos y electrónicos hace que la empresa de suministro de energía no penalice al hospital por este consumo.

Las bombas de vacío con las que cuenta el hospital deben garantizar un vacío de 20 mmHg en todas las salas donde se necesita este servicio, la distribución se debe a que el hospitales está construido en bloques los cuales tienen una separación entre sí por medio de calles y zonas verdes, estos bloques también tienen diferentes consumos, ya que, se tienen clasificaciones dentro de las salas del hospital como son: quirófanos, unidad de cuidados intensivos (UCI), unidad de cuidados especiales (UCE) y por último las salas de

hospitalización, el consumo de los diferentes bloques se debe a cuantos quirófanos, UCI, UCE y salas de hospitalización , se encuentren dentro de este.

#### 6.4 DEFINICIÓN DE LA BOMBA DE VACÍO MÁS CRÍTICA.

Del análisis de las máquinas generadoras de vacío que se han medido el consumo se tiene que las de mayor demanda de este son las bombas del bloque 8, 6, 14, 11, 7, 3; de estos bloques se tiene que todos excepto el bloque 7, cuentan con quirófanos, UCE Y UCI, por lo tanto, concuerda el consumo con la generación de vacío, esto ya nos da un indicio de cuáles son los equipos de mayor cuidado, ya que, en estos bloques se utilizan las 24 horas del día, los 7 días a la semana.

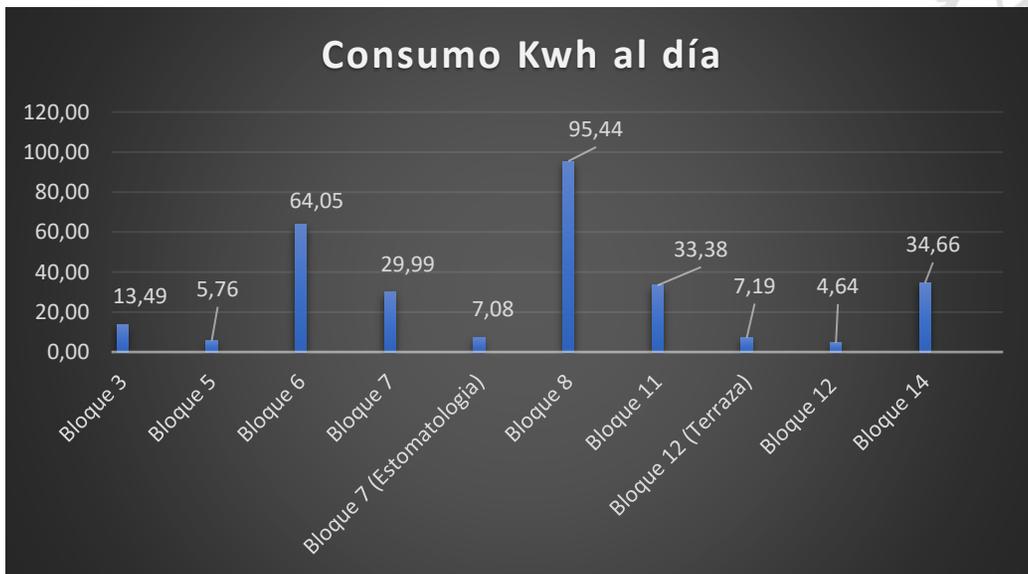


Imagen 9. consumo bloque 8

De la Imagen 9 se obtiene que la bomba de vacío del bloque 8, es la de mayor consumo, por ende, es la bomba que más trabaja, por lo tanto, el desgaste es mayor y puede dejar de funcionar en cualquier momento por la gran cantidad de demanda que tiene. Es por esto, que el enfoque de este trabajo va direccionado a este equipo, al cual se le va a aplicar un análisis RCM, que nos dará herramientas para aumentar la disponibilidad y confiabilidad de este equipo.

#### 6.5 ESTRUCTURA DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE MANTENIMIENTO.

Las personas que se encargan del mantenimiento dentro del hospital universitario san Vicente fundación, se les denomina equipos de apoyo y están divididos de la siguiente forma:

- Electromecánica (Electricidad y mecánica)
- Ingeniería (Equipos médicos enfocado desde la electrónica)
- Metrología

El área de enfoque de la práctica fue en electromecánica, por lo tanto, se mostrará el diagrama de funcionamiento del área de equipos de apoyo (electromecánica) que son las personas encargadas del mantenimiento de los equipos de generación de vacío.

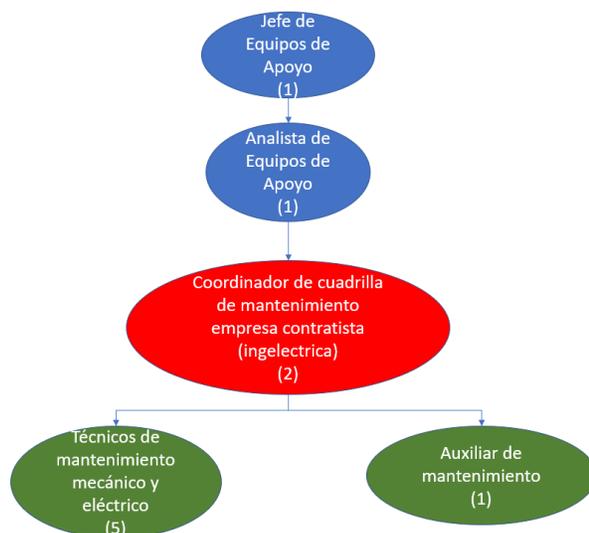


Imagen 10. Organigrama del personal equipos de apoyo (Electromecánica).

- Los 5 técnicos deben tener la tarjeta profesional que garantice que están certificados en el manejo de sistemas eléctricos y sistemas mecánicos.
- Los 5 técnicos y el auxiliar deben de cumplir con el curso de alturas, el cual está dado por la resolución 1409 del 2012, regulado por el ministerio de trabajo.
- Los 5 técnicos están capacitados para atender cualquier irregularidad que sea del tipo mecánico o eléctrico dentro del hospital.
- El coordinador tiene el conocimiento de todos los equipos ya sean eléctricos o mecánicos. Este se encuentra disponible las 24 horas del día, en caso de que ocurra alguna urgencia de carácter técnico dentro del hospital.

Tabla 7. Personal del área de mantenimiento, con el nivel de estudios y experiencia.

Personas	Cargo	Estudios	Tiempo trabajando en el hospital (AÑOS)
<b>Carlos Isaza</b>	Jefe del área de equipos de apoyo	Ingeniero Electrónico	12
<b>Sergio Alberto Alzate Gallego</b>	Analista del área de equipos de apoyo	Ingeniero Electromecánico	18
<b>Javier Mariño</b>	Coordinador de cuadrilla de mantenimiento de la empresa ingeeléctrica	Tecnólogo electricista tecnólogo electromecánico Tecnólogo en sistemas	10
<b>Diego Villa Alzate</b>	Electricista	electricista	6

Personas	Cargo	Estudios	Tiempo trabajando en el hospital (AÑOS)
Fander Sánchez	Electromecánico	Tecnólogo Electromecánico	4
Abelardo Montoya	Electromecánico	Técnico electricista	3
Alexander Grajales Cano	Electricista	Tecnólogo Electromecánico	2
Wilson Gómez	Electricista	Tecnólogo Electromecánico	2
Stiven Marulanda	Electricista	emperico	3

## 6.6 ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA LA BOMBA DE VACÍO

Para llevar a cabo un correcto plan de mantenimiento basado en confiabilidad para la bomba de vacío del bloque 8, se debe establecer una jerarquización de los sistemas y componentes del equipo según el estado de criticidad que cada uno de estos presenta. Para ello se debe determinar las frecuencias de los fallos y las consecuencias que cada uno de estos conlleva ver ecuación (3).

Donde, la frecuencia está dada por el número de fallos respecto al tiempo y la consecuencia es el efecto que se puede ocasionar debido a los posibles fallos.

Las frecuencias de falla de la bomba de vacío del bloque 8 se logran estimar teniendo en cuenta los tiempos medios entre fallas (MTTF) y los tiempos medios de operación (MTTR), en la siguiente tabla se definen los rangos de probabilidades de falla:



Imagen 11. Resultados de encuesta de valoración de consecuencia.

Para tener una valoración de que consecuencias tienen más importancia, se les ha solicitado a 6 personas del grupo de mantenimiento la calificación de 1 a 3 entre los siguientes ítems:

la seguridad de las personas, medio ambiente y producción para poder tener un rango de calificación en la matriz de criticidad.

*Tabla 8. Rangos de posibilidad de falla.*

TIPO	N°	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
A	4	Frecuente	Ocurre repetidamente en la empresa durante el año. En un periodo no mayor a ( $\leq 78$ horas) hábiles.
B	3	Probable	Posiblemente ocurra varias veces en el año. En un periodo entre ( $>78$ y $\leq 239$ horas) hábiles.
C	2	Ocasional	Puede ocurrir algunas veces en la empresa durante el año. En un periodo entre ( $> 239$ y $\leq 720$ horas) hábiles.
D	1	Improbable	Probabilidad de ocurrencia muy baja. En un periodo mayor a ( $> 720$ horas) hábiles.

Para el análisis de las consecuencias, se deben tener en cuenta factores según sea las necesidades y el contexto de la organización, para este caso se trabajará la salud de las personas, la producción de vacío, el medio ambiente.

*Tabla 9. Análisis de consecuencia para la seguridad de las personas.*

SEGURIDAD DE LAS PERSONAS		
N°	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
18	Falta de generación de vacío $\geq 1$ hora	Falta de succión de residuos salivales para pacientes de cuidados intensivos
15	1 hora < Falta de generación de vacío $\leq 1/2$ hora	Falta de succión de residuos salivales para pacientes de cuidados intensivos
12	Falta de generación de vacío $\leq 1/2$ hora	Falta de succión de residuos salivales para pacientes de cuidados intensivos
3	Apagón momentáneo	No genera problemas

La salud de las personas que requieren el servicio de succión es un factor esencial puesto que en las salas de cuidados intensivos se encuentran personas con incapacidad total de eliminar sus propios residuos.

*Tabla 10. Análisis de consecuencia para la producción de vacío*

PRODUCCIÓN DE VACÍO		
N°	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
11	Generación de vacío $\leq 25\%$	Disminución en la generación de vacío en 25% o más.
9	25 % < Generación de vacío <60%	Disminución en la generación de vacío en un rango de 25 % a 50%.
8	60% < Generación de vacío $\leq 95\%$	Disminución en la generación de vacío en un rango de 60 % a 95%.
4	Generación de vacío > 95%	Disminución en la generación de vacío en 5 % o menos.

La producción de vacío se representa como el porcentaje de generación que es capaz de entregar el equipo para el consumo.

Tabla 11. Análisis de consecuencia para el medio ambiente.

MEDIO AMBIENTE		
N°	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
7	$GCA \geq 10 \text{ kg/año}$	Generación de contaminantes ambientales $\geq 10 \text{ kg/año}$
5	$10 \text{ kg} < GCA \leq 5 \text{ kg}$	Generación de contaminantes ambientales entre 10 y 5 kg/año
2	$5 \text{ kg} < GCA \leq 1 \text{ kg}$	Generación de contaminantes ambientales entre 5 y 1 kg/año
1	$GCA \leq 1 \text{ kg}$	Generación de contaminantes ambientales menor a 1 kg/año

Es importante medir las consecuencias producidas por el funcionamiento de la bomba de vacío al estar operando para evitar llamados de atención.

Tabla 12. Matriz de criticidad

				PROBABILIDAD DE FALLA			
Categoría	SEGURIDAD DE LAS PERSONAS	MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN DE VACÍO	D	C	B	A
<b>Catastrófico</b>	Falta de generación de vacío $\geq 1$ hora	$GCA \geq 10 \text{ kg/año}$	Generación de vacío $\leq 25\%$	36	45	54	63
<b>Crítico</b>	1 hora < Falta de generación de vacío $\leq 1/2$ hora	$10 \text{ kg} < GCA \leq 5 \text{ kg}$	$25\% <$ Generación de vacío $< 60\%$	27	36	45	54
<b>Marginal</b>	Falta de generación de vacío $\leq 1/2$ hora	$5 \text{ kg} < GCA \leq 1 \text{ kg}$	$60\% <$ Generación de vacío $\leq 95\%$	18	27	36	45
<b>Insignificante</b>	Apagón momentáneo	$GCA \leq 1 \text{ kg}$	Generación de vacío $> 95\%$	9	18	27	36

## 6.7 ANÁLISIS TAXONÓMICO.

Este análisis permite registrar adecuadamente los componentes y las partes de mayor criticidad que son una parte fundamental para elaboración de estrategias de mantenibilidad.

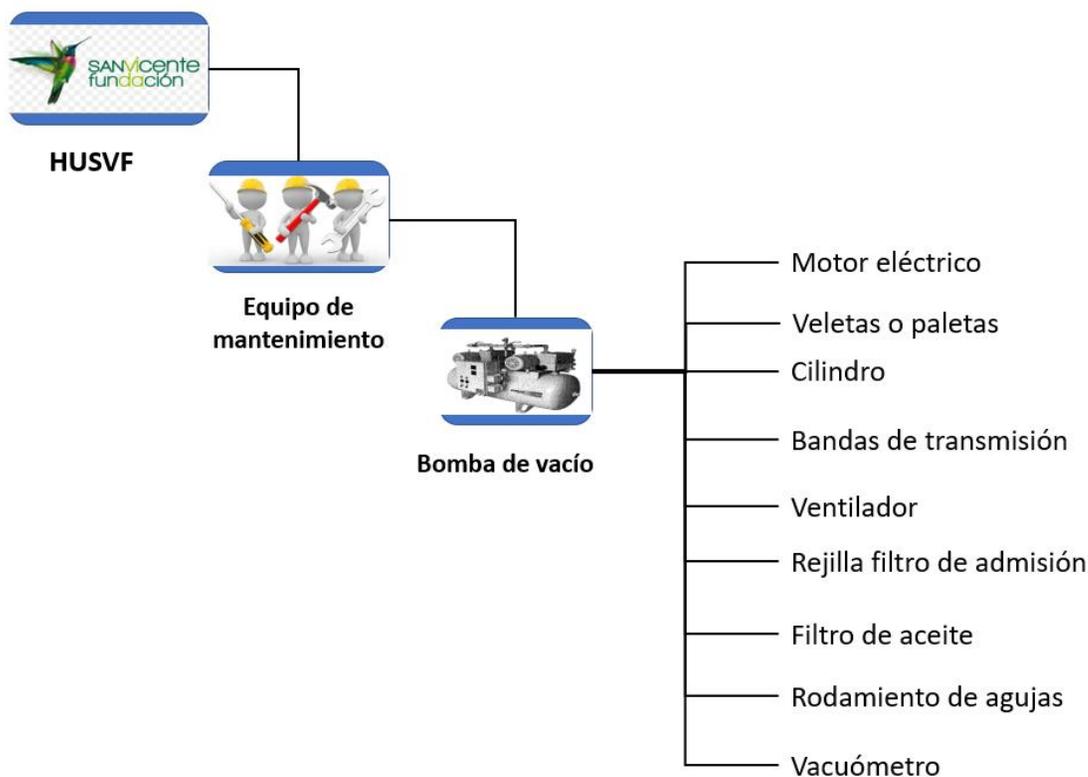


Imagen 12. Árbol taxonómico.

En la Imagen 12 se muestra el árbol taxonómico en el cual se identifican los componentes más críticos de la bomba de vacío y a los cuales se les realizará el análisis RCM, también se presenta en el ANEXO 2 que es el manual de la bomba de vacío.

## 6.8 DISPONIBILIDAD

Las disponibilidades de la bomba de vacío del bloque 8, deja ver claramente que en los meses de mayor operación de la máquina son los meses de marzo, mayo, junio y diciembre debido a que son los meses en los que el número de fallas que se registraron fue de 3 fallas.

Año	Meses	N° de fallas	MTBF	MTTR	Disponibilidad	Confiabilidad
2019	Enero	9	78,5	1,7	97,85%	97,9%
	Febrero	4	178,5	2,0	98,89%	98,9%
	Marzo	3	238,5	2,2	99,38%	99,1%
	Abril	6	118,5	1,8	98,75%	98,5%
	Mayo	3	238,5	2,2	99,38%	99,1%
	Junio	3	238,5	2,2	99,38%	99,1%
	Julio	4	178,5	2,0	99,17%	98,9%
	Agosto	9	78,5	1,7	98,13%	97,9%
	Septiembre	6	118,5	1,8	98,75%	98,5%
	Octubre	5	142,5	1,9	98,96%	98,7%
	Noviembre	4	178,5	2,0	99,17%	98,9%
	Diciembre	3	238,5	2,2	99,38%	99,1%

Tabla 13. Datos de la bomba de vacío en el año 2019

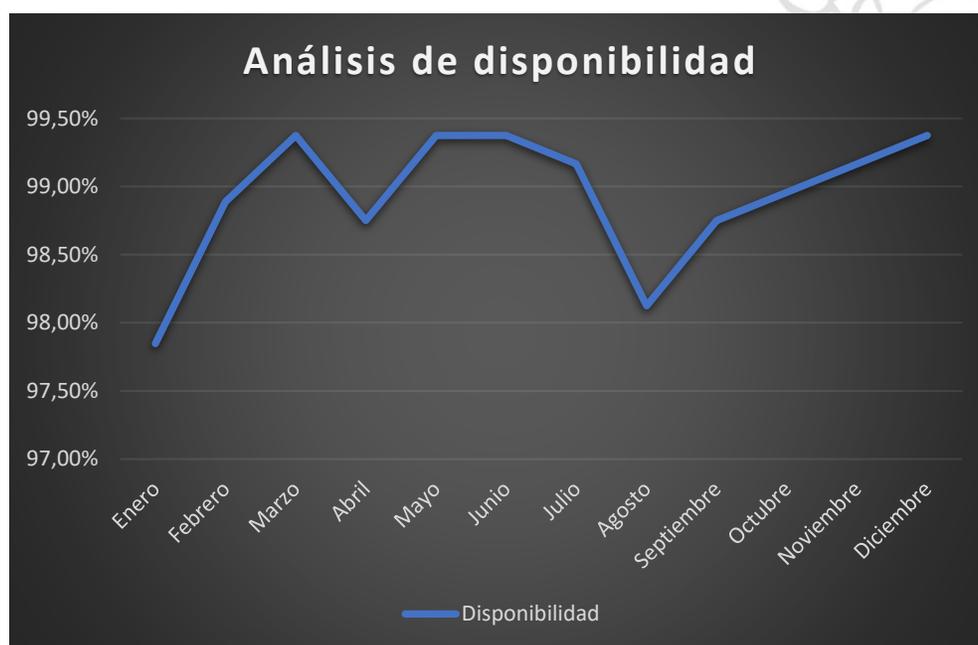


Imagen 13. Gráfico de disponibilidad de la bomba de vacío del bloque 8.

Para mitigar la baja de disponibilidad en los meses de enero, febrero, agosto y septiembre, se recomienda realizar los mantenimientos preventivos, que se hacen semanalmente, de forma rigurosa con el check list, que se encuentra en el ANEXO 1, con esta lista de chequeos se espera aumentar la disponibilidad del equipo a la disponibilidad de 99,5 %.

## 6.9 HOJA DE ANALISIS RCM

En la hoja de análisis de la Imagen 14, se ha mostrado los componentes, las funciones, las fallas funcionales, los modos de fallas y los efectos que de la falla, con ese análisis se puede reconocer que los componentes analizados si tienen un gran impacto en el funcionamiento de la bomba de vacío, ya que si cualquiera de esos componentes fallan por alguna razón el

equipo baja su eficiencia o en algunos casos hay paro total de la máquina causando que el servicio de succión en las salas que se encuentran ubicadas en el bloque 8 dejen de funcionar y causen problemas a los pacientes que se encuentran en cuidados intensivos, agravando su estado de salud.



Hoja de Análisis RCM						
Sistema de generación de vacío				Facilitador: Faber Alberto Cardona Zapata		
Equipo: Bomba de vacío bloque 8				Fecha:		
Componente	Funciones	Fallas funcionales	Modos de falla	Efectos de la falla		
Motor eléctrico	1 convertir energía eléctrica en energía mecánica por medio de los campos magnéticos de 7,5 Hp	A Incapaz de generar campos magnéticos	1	Bobina cortocircuitada	Paro total del motor y por consiguiente de todo el sistema de generación de vacío	
			2	Corto entre fases		
			3	Corto en la conexión		
		B No genera una potencia de 7,5 Hp	1	Desgaste de rodamiento	Al rodamiento estar defectuoso el eje de motor no gira libremente, generando pérdidas por fricción y aumentando la temperatura del motor	
2	Eje principal desalineado		Causa que los rodamientos fallen prematuramente.			
Veletas o paletas rotativas	1 Formar cámaras de aire para comprimirlo y generar un diferencial de presión (vacío)	A Incapaz de formar cámaras de aire	1	Exceso de aceite lubricante	La bomba esta frenada al tener exceso de aceite	
		B No forma la cantidad de volumen necesario en la cámara de aire	1	Falta de aceite lubricante	No se forma el sello para que el aire quede retenido en las cámaras	
		C No comprime el aire de las cámaras	1	Desgastado excesivamente de las paletas por contacto metal-metal	la bomba sigue funcionando pero no genera vacío para almacenar.	
Cilindro	1 Permitir el desplazamiento de las paletas rotativas	A Incapaz de permitir el desplazamiento de las paletas rotativas	1	Exceso de aceite lubricante	La bomba esta frenada al tener exceso de aceite	
		B No soporta las paletas rotativas para formar camaras de aire	1	desgaste del cilindro por el contacto metal-metal	No se forma el sello para que el aire quede retenido en las camaras	
		C No permite el movimiento de la bomba	1	Residuos obstruyen el movimiento excéntrico de la bomba	La boma se frena y puede rayar el cilindro y esto aumento el daño al cilindro	
Bandas de transmisión	1 Transmitir la potencia del motor eléctrico a la bomba de vacío	A Incapaz de transmitir potencia por medio de la banda	1	Banda de transmisión reventada	Funcionamiento de la bomba de vacío nula	
		B Potencia transmitida deficiente	1	Estrías de la banda desgastadas	Pérdida de la potencia transmitida por mal contacto de la banda con las poleas.	
			2	Tensión de correas incorrecta	Falla de la banda, se puede reventar al poner en sistema en funcionamiento.	
Ventilador	1 Extraer el calor generado por el funcionamiento motor eléctrico y la bomba de vacío	A El ventilador es incapaz de extraer calor	1	Aspas desgastadas	No se extrae el calor del sistema, generando sobrecalentamiento de los sistemas y por ende la dilatación de todos los componentes mecánicos llevándolos a su falla.	
			2	Aspa desacoplada del eje		
B	Cantidad de calor extraído insuficiente	1	Deterioro de las aspas en más del 60%	Aumento de la temperatura de los componentes mecánicos.		
				A No retiene las partículas que ingresan por la admisión	1	Residuos sólidos dentro del sistema de la bomba
Rejilla filtro de admisión	1 Retener las partículas sólidas que se encuentran en el fluido (aire)	B Filtra parcialmente partículas sólidas	1	Residuos sólidos dentro del sistema de la bomba	Generan problemas como la bomba obstruida por residuos sólidos	
		C Taponamiento total por partículas sólidas	1	No se genera succión	Sistema de succión bloqueado	
		A Incapaz de retener partículas	1	Desgastado por sobre pasar el tiempo de vida útil	Afectación de los componentes de la bomba por desgaste	
Filtro de aceite	1 Contener las impurezas generadas por la degradación del aceite y de las partículas que entran al sistema en un rango de 3-25 um.	B No retiene partículas de un tamaño inferior a 10 um	1	Desgastado por partículas	partículas desgastan partes metálicas de los componentes de la bomba	
		C obstrucción total del filtro	1	No da paso al aceite lubricante	No hay generación de vacío	
		A Incapaz de minimizar la fricción del sistema	1	Tiempo de vida útil superado	Rotura del rodamiento, puede causar daños mayores al sistema,	
B	Sobrecalentamiento del sistema	Perdida de lubricante del rodamiento, causando un mayor calentamiento al sistema mecánico.	2	Mecanismo de medición desgastado	Al Vacuómetro no estar funcionando el sistema de generación de vacío no enciende	
			2	Error de calibración del vacuómetro	El sistema de generación de vacío sigue funcionando sin parar, porque no envía la señal de apagar al tablero de control.	
Vacuómetro	1 Medir el nivel de vacío de tanque de almacenamiento en un rango de 15 a 20 mmHg	A Incapaz de medir la presión de vacío del tanque de almacenamiento	1	Mecanismo de medición desgastado	Al Vacuómetro no estar funcionando el sistema de generación de vacío no enciende	
	2 Enviar señal para encender motor eléctrico cuando el tanque tiene un nivel de vacío de 15 mmHg	A No mide la presión de vacío cuando esta en 15 mmHg	1	Error de calibración del vacuómetro	No enciende el mecanismo de generación de vacío porque no envía la señal de encender al tablero de control	

Imagen 14. Hoja de análisis RCM

## 6.10 RECOMENDACIONES Y ACCIONES DE MANTENIMIENTO

El hospital universitario san Vicente fundación cuenta con un sistema de manejo de datos SAP en el cual se debe registrar todas las acciones de mantenimiento que se realizan dentro del hospital, esta acción se está cumpliendo desde el equipo de mantenimiento, sin embargo se está realizando de forma superficial, ya que solo ingresan al sistema que acción se realiza pero no se ingresa los datos de repuestos y costos, por lo tanto la información que se puede recopilar del SAP no deja realizar un análisis completo del RCM.

El debido cargue de información a la plataforma SAP será fundamental para la futura implementación de los planes de mantenimiento, para poder identificar con mayor certeza cuales son los costos que se podría estar ahorrando el hospital, con estas implementaciones.

Se recomienda seguir con las labores de mantenimiento hasta hoy tomadas, pero con el diligenciamiento inmediato del check list una vez terminada la actividad, por parte de los miembros del equipo de mantenimiento.

Para la bomba de vacío del bloque 8 se recomienda la adaptación de un nuevo cabezote para que se puedan alternar, ya que en el momento que se realizó este análisis el equipo no alterna y la demanda de consumo para este bloque en el día es de su totalidad. Además, para la solución del problema es necesario aumentar la producción de vacío, para que se puede almacenar en el tanque y la máquina pueda tener mayor tiempo de descanso en el día, ya que estaba trabajando el 62,6 % del día.

*Tabla 14. Recomendaciones componentes de mayor criticidad.*

<b>Componente</b>	<b>Recomendaciones</b>
<b>Motores DC</b>	Realizar inspecciones semanales y mensuales de los motores dc, además se recomiendo realizar pruebas de consumo de manera mensual y análisis de termografía para saber el nivel de funcionamiento de los ventiladores de extracción de calor.
<b>Filtro de aceite</b>	Realizar inspección mensual de filtro de aceite, para verificar el nivel de retención de impurezas en el filtro y verificar que el filtro no esté obstruido o en peor de los casos perforado.
<b>Rejilla filtro de admisión</b>	Realizar inspección mensual de la rejilla de admisión, ya que esta es la encargada de retener todos los elementos sólidos ingresan a la red de tuberías de vacío.
<b>Vacuómetro</b>	Realizar inspección semanal y mensual de los vacuómetros y verificar que estén funcionando en un rango de 15-20 mmHg, para el debido funcionamiento de encendido y apagado de la bomba.
<b>Rodamiento de agujas</b>	Realizar análisis termográfico mensual en los puntos donde están ubicados los rodamientos para saber cuál es la temperatura de funcionamiento de estos. El rango de temperatura de funcionamiento es de 80-85°C
<b>Nivel de aceite</b>	Para el correcto funcionamiento de las bombas de vacío se recomienda tener el nivel adecuado de aceite para que el desgaste del cilindro y las paletas no sufran un desgaste por falta de la capa de lubricación.

En la Tabla 14 se puede encontrar las recomendaciones de los componentes de mayor criticidad o a los componentes con los que se debe tener mayor cuidado, porque la falla de uno de estos puede afectar al resto de componentes, también en esta tabla se encuentran acciones de inspección como visual, termográficas y el equipo de mantenimiento cuenta con la capacitación y herramientas necesarias para estas inspecciones.

### **6.11 REALIZACIÓN DE ESTÁNDAR DE TRABAJO PARA REALIZAR EL CHECK LIST.**

El estándar de trabajo es una herramienta que permite medir los procedimientos para evidenciar los procesos que requieren mejora, y de esta manera continuar con la metodología de mejora continua, en este caso se presenta el ANEXO 1, que tiene las pautas de cómo se implementará el mantenimiento para las bombas de vacío.



## 7 CONCLUSIONES

- Se deben formular planes de mantenimiento basado en RCM siguiendo las normas SAE JA1011 y SAE JA1012, ya que son guía para poder realizar adecuadamente el análisis de los componentes con mayor criticidad del equipo y poder proponer acciones de mejora en las actividades de mantenimiento.
- Se analizó la información del sistema de información SAP sobre las bombas de vacío, sin embargo, se encontró muy poca información sobre estas máquinas, ya que solo se le informa a la plataforma la descripción y no se complementa con los gastos.
- Se diseñó un plan de mantenimiento, basado en 12 pasos el cual se ve materializado en un estándar de trabajo que es el paso a paso para realizar las actividades de mantenimiento a las bombas de vacío.
- Se realizó un rastreo sobre las funciones y las fallas que le pueden ocurrir a las bombas de vacío, haciendo que el personal de mantenimiento tenga una guía de fácil entendimiento y aplicación.
- Se generó el documento estándar de trabajo el cual tiene la estrategia para prolongar la disponibilidad de la bomba de vacío.
- La bomba de vacío del bloque 8, tiene una caída en la disponibilidad en los meses de enero, febrero, agosto, septiembre esto debido a que en estos meses el hospital tiene más demanda de generación de vacío, para evitar esta baja de disponibilidad se debe programar mantenimiento en el mes de más baja demanda en todo el hospital que es en el mes de diciembre.
- El RCM, es una herramienta útil para poder determinar las posibles fallas que pueden aparecer en las máquinas, se debe utilizar de forma metódica, ya que hay que seguir paso a paso, según lo recomienda las 7 preguntas para su implementación y siguiendo estas se puede analizar de forma estructurada cuales son los componentes más críticos del sistema.
- Para poder realizar un análisis certero del equipo se debe apoyar en las personas que conforman el personal de mantenimiento, ya que son los que tienen un contacto directo con el funcionamiento del equipo en cuestión y saben la importancia de los componentes que conforman la máquina.

## 8 RECOMENDACIONES

En las jornadas de mantenimiento se debe ingresar la información a la plataforma SAP, de lo que entregó esta jornada, como son repuestos, costo de los repuestos, tiempo empleado y que dificultades hubo al realizar el mantenimiento.

Se debe continuar con la implementación de planes de mantenimiento basados en la confiabilidad, ya que así se tiene una metodología de fácil seguimiento a los equipos y también se genera una cultura dentro del personal de mantenimiento.

En las jornadas de mantenimiento se debe seguir las recomendaciones que se encuentran en el estándar de trabajo.

La estrategia presentada en este trabajo se realizó para la bomba de vacío del bloque 8, sin embargo, se puede aplicar a las 9 bombas de vacío restantes dentro del hospital, con la debida atención en que estos equipos hay que realizarle un seguimiento de su historial de funcionamiento para encontrar los sistemas más críticos.



## 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y CIBERGRAFÍA.

- [1] ACIEM, “DIAGNÓSTICO DEL MANTENIMIENTO EN COLOMBIA,” *ACIEM*, Bogotá, p. 87, May-2018.
- [2] SCHMALZ, “BOMBAS DE VACÍO.” [Online]. Available: <https://bit.ly/30jrsOx>. [Accessed: 02-Dec-2019].
- [3] ACIEM, “GUÍA DE LOS FUNDAMENTOS DE MANTENIMIENTO Y CONFIABILIDAD,” p. 74, 2014.
- [4] J. A. J. Vergara, “TACTICAS DE MANTNIMIENTO,” *Trab. grado pata optar por el Tit. Ing. mecánico, Univ. EAFIT*, p. 92, 2010.
- [5] A. J. M. Pistarelli, *Manual de Mantenimiento: Ingenieria, Gestión y Organización*. 2010.
- [6] S. G. Garrido, *ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO*. 2003.
- [7] C. Ortiz, “El concepto del Tiempo Medio Entre Fallas (Mean Time Between Failures MTBF) y la Confiabilidad (Reliability) aplicados a los Departamentos Mantenimiento,” p. 3, 2016.
- [8] SAE Internaciona JA1011, “Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM),” pp. 1–12, 1999.
- [9] SAE Internaciona JA1012, “Una Guia Para La Norma De Mantenimient Centrado En Confiabilidad (RCM),” pp. 1–62, 2002.
- [10] M. G. O. A. E. E., “IMPLEMENTACIÓN DE LA MATRIZ DE CRITICIDAD EN EL ÁREA DE EQUIPOS MÓVILES Y DE ELEVACIÓN EN LA EMPRESA FAISMON S.A.S. Y ANÁLISIS DEL COSTO DEL CICLO DE VIDA EN LAS GRÚAS TELESCÓPICAS,” 2013.
- [11] J. Gossain, “La verdadera historia de hospitales y clínicas al borde de la quiebra,” *El Tiempo*, 2018. [Online]. Available: <https://bit.ly/3eDc30B>. [Accessed: 25-Jun-2020].
- [12] M. D. E. Salud and E. L. M. D. E. Salud, “MINISTERIO DE SALUD RESOLUCION NUMERO 5261 DE 1994,” vol. 1994, no. Agosto 5, pp. 1–138, 1994.

## ANEXO 1. ESTÁNDAR DE TRABAJO





**Parts List for 0165, 0205, 0255 and 0305**

Ref	Description	Ref	Description	Ref	Description
1	Cylinder	143	Lockwasher	313	Coupling half, pump side
5	Set screw plug	146	Hex head cap screw	319	Motor spacer
15	Rotor	149	Socket head cap screw	321	Fan
18	Bearing sleeve	150	Lockwasher	322	Axial fan
22	Vane	152	Lockwasher	326	Retainer ring
25	Endplate, motor side	153	Exhaust adapter	353	Socket head cap screw
26	Endplate, fan side	154	Exh. cover adapter gasket	360	Lockwasher
30	Needle bearing	159	Exhaust valve	390	Eye bolt adapter
31	Endplate spacer	162	Oil fill elbow gasket	391	Eye bolt
35	Shaft seal	169	Valve cover plate	392	Lockwasher
42	Shaft seal retaining plate	171	Insert, gas ballast	393	Hex head screw
43	Screw, hex head	175	Socket head cap screw	400	Motor
49	O-ring	176	Lockwasher	401	Screw, hex head cap
50	O-ring	185	Gasket, cylinder/exh. box	402	Lockwasher
53	Screw, hex head	189	Stud	417	Set screw
54	Lockwasher	190	Lockwasher	421	Foot, rubber
57	Hex head screw	191	Nut	422	Foot, rubber
58	Lockwasher	194	Level switch	429	Screw
60	Taper pin	195	Level switch support	430	Name plate
65	Shaft key	196	Socket set screw	431	Label "arrow"
66	Shaft key	197	O-ring	470	Hyd. fitting banjo
75	Exhaust box	198	Socket head screw	471	Tubing, gas ballast
80	Sheet metal baffle	205	Exh. cover side plate	472	Hyd. fitting, straight
83	Oil sight glass	206	Exh. cover plate gasket	474	Filter, gas ballast
84	Gasket, oil sight glass	207	Socket head cap screw	475	Bracket
87	Elbow, oil fill	208	Lockwasher	476	Elbow
88	Oil fill plug	224	Pipe adapter	477	Ball valve
89	Gasket ring, fill plug	225	Hydraulic fitting	478	Hex head cap screw
90	Exhaust pressure gauge	228	Hydraulic fitting	480	Oil tube insert
92	Socket head plug	230	Oil tubing	9000	Plug, socket
95	Oil drain plug	238	Socket head cap screw	9011	Endplate spacer
96	O-ring	239	Lockwasher		
99	Pipe nipple	241	Oil cooler		
100	Oil filter, automotive type	242	O-ring		
105	Cover, exhaust box	244	Fan cover		
106	Gasket, exhaust box cover	247	Socket head cap screw		
107	Hex head cap screw	250	Flange, lower, inlet		
108	Lockwasher	251	Valve plate, inlet		
115	Exhaust filter grip plate	252	Valve plate guide		
118	Filter support	253	O-ring		
119	O-ring	254	Spring, valve plate		
120	Exhaust filter	255	O-ring		
121	O-ring	260	Inlet flange, upper		
126	Screw, socket head cap	261	Inlet screen		
127	Distance sleeve	265	Screw, hex head cap		
128	Lockwasher	266	Lockwasher		
130	Baffle strainer	270	Hyd. fitting, elbow		
131	Stud	290	Oil return line		
132	Washer	291	Hyd. fitting, elbow		
133	Filter support tube	300	Motor mounting bracket		
134	Hex nut	301	Screw hex head cap		
136	Exh. baffle strainer screen	302	Lockwasher		
137	Distance sleeve	306	Motor adapter flange		
140	Exhaust cover plate	307	Socket head screw		
141	Exhaust cover gasket	311	Coupling half, motor side		
142	Socket head cap screw	312	Coupling insert		

*Imagen 16. Lista de partes de bomba de vacío.*