

# Análisis de averías

*Se aborda en este trabajo el objetivo de no conformarse con devolver los equipos a su estado de óptimo funcionamiento después de una avería.*

*Se tratará de disminuir la frecuencia de esa avería o posibilitar la detección precoz de la misma.*

*El fin último es mejorar la fiabilidad, aumentar la disponibilidad y reducir los costes.*



## 1. Introducción

Los métodos usados para fijar la política de mantenimiento son insuficientes, por sí mismos, para asegurar la mejora continua en mantenimiento. Será la experiencia quien mostrará desviaciones respecto a los resultados previstos. Por tal motivo, se impone establecer una estrategia que, además de corregir las citadas desviaciones, asegure que todos los involucrados en el proceso de mantenimiento se impliquen en el proceso de mejora continua del mismo.

Desde este punto de vista el análisis de averías se podría definir como: el conjunto de actividades de investigación que, aplicadas sistemáticamente, trata de identificar las causas de las averías y establecer un plan que permita su eliminación.

Se trata, por tanto, de no conformarse con devolver los equipos a su estado de buen funcionamiento tras la avería, sino de identificar la causa raíz para evitar, si es posible, su repetición. Si ello no es posible se tratará de disminuirla frecuencia de la citada avería o la detección precoz de la misma de manera que las consecuencias sean tolerables o simplemente se pueda mantener controlada. El fin último sería mejorar la fiabilidad, aumentar la disponibilidad y reducir los costes.

## 2. Justificación

Además de las razones generales que justifican la búsqueda de la mejora continua en cualquier proceso, en el caso particular del proceso de mantenimiento son varias las razones específicas que se suelen presentar y que justifican sobradamente esta práctica como objetivo prioritario:

- Evitar la tendencia a convivir con los problemas.
- Evitar la tendencia a simplificar los problemas.
- Evitar la tendencia a centrarse en el problema del día.

### 2.1. Tendencia a convivir con los problemas

Los pequeños problemas suelen tener el efecto de que el que los sufre termina conviviendo con ellos y considerándolos como una situación normal.

Para evitar caer en esta rutina se precisa establecer claramente qué situación se va a admitir como normal y cuál como inadmisibles. De ésta forma, se desencadenarán en automático las acciones necesarias para analizar y eliminar las situaciones inadmisibles.

El análisis de averías requiere, en este sentido, establecer los criterios de máximo riesgo admitido.

## **2.2. Tendencias a simplificar los problemas**

Con frecuencia superior a lo deseable, los problemas suelen ser múltiples e interrelacionados. En tales circunstancias, se impone un análisis para poder separarlos distintos elementos del problema, para asignar prioridades y, en definitiva, establecer un plan de acción para evitarlos.

Con demasiada frecuencia la escasez de recursos o la simple falta de método, lleva a simplificar el análisis e induce a tomar medidas de nula o escasa efectividad. Este es el caso que se presenta cuando se detiene el análisis en la causa física, por ejemplo: fallo de cojinetes por desalineación, y no se profundiza hasta llegar a la causa latente, que podría ser: falta de formación o de supervisión, que permitiría eliminar no solamente este caso sino otros concatenados con la misma causa.

El análisis de averías permite, en este sentido, aprovechar excelentes oportunidades de mejoras de todo tipo.

## **2.3. Tendencia a centrarse en el problema del día**

La presión del día a día hace olvidar rápidamente el pasado, lo que impide hacer un seguimiento de la efectividad de las medidas aplicadas. Hasta que el problema vuelve a aparecer, convirtiéndose en un círculo vicioso, que lleva a convivir con el problema.

El análisis de averías, en este sentido, ayuda a implantar un estilo o cultura de mantenimiento basado en la prevención.

## **3. Fallos y averías de los sistemas**

Antes de proceder al análisis de averías hay que delimitar el alcance del mismo. Esto se consigue definiendo los límites del sistema.

El sistema es un conjunto de elementos discretos, denominados generalmente componentes, interconectados o en interacción, cuya misión es realizar una o varias funciones, en unas condiciones predeterminadas.

El análisis de averías debe contemplar una fase en que se defina el sistema, sus funciones y las condiciones de funcionamiento.

El fallo de un sistema se define como la pérdida de aptitud para cumplir una determinada función. En este sentido se pueden clasificar los fallos atendiendo a distintos criterios:

a) Según se manifiesta el fallo:

- Evidente:
  - Progresivo
  - Súbito
- Oculto

b) Según su magnitud:

- Parcial.
- Total.

c) Según su manifestación y magnitud:

- Cataléptico: súbito y total.
- Por degradación: progresivo y parcial

d) Según el momento de aparición:

- Infantil o precoz.
- Aleatorio o de tasa de fallos constante.
- De desgaste o envejecimiento.

e) Según sus efectos:

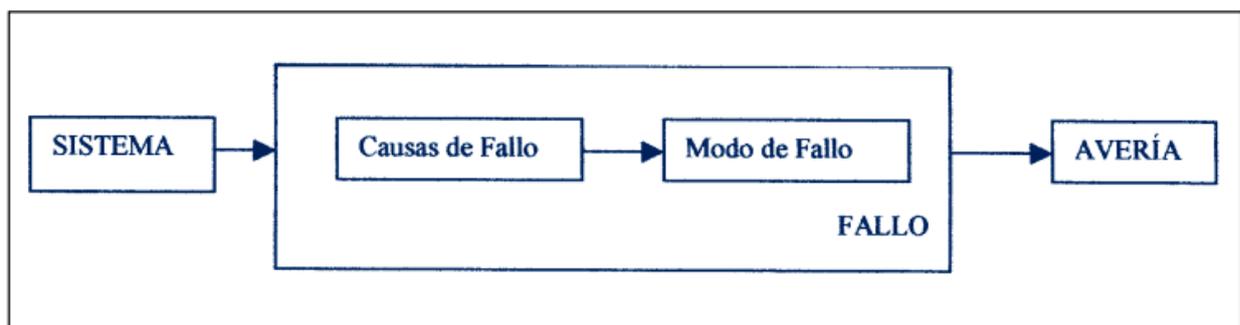
- Menor.
- Significativo.
- Crítico.
- Catastrófico.

f) Según sus causas:

- Primario: la causa directa está en el propio sistema.
- Secundario: la causa directa está en otro sistema.
- Múltiple: fallo de un sistema tras el fallo de su dispositivo de protección.

El modo de fallo es el efecto observable por el que se constata el fallo del sistema. A cada fallo se le asocian diversos modos de fallo y cada modo de fallo se genera como consecuencia de una o varias causas de fallo; de manera que un modo de fallo representa el efecto por el que se manifiesta la causa de fallo.

La avería es el estado del sistema tras la aparición del fallo, ver el siguiente esquema.



## **4. Método de análisis de averías**

La metodología para el análisis y solución de problemas, en general, es muy variada y suele ser adoptada y adaptada por cada empresa en función de sus peculiaridades.

Haciendo un análisis comparativo de las más habituales, se puede decir que hay dos aspectos fundamentales en los que coinciden: el recorrido del proceso y la metodología a utilizar.

### **4.1. El recorrido del proceso**

El análisis debe centrarse primero en el problema, segundo en la causa y tercero en la solución.

### **4.2. La metodología a utilizar**

Teniendo en cuenta estos aspectos fundamentales, el recorrido del proceso y la metodología a utilizar, y las condiciones indicadas anteriormente, tendencia a convivir con los problemas, tendencia a simplificar los problemas y tendencia a centrarse en el problema del día, se propone un método sistemático de análisis de averías, cuya condiciones que debe reunir para garantizar su eficacia se representa en el método de análisis de averías que comprende y está estructurado en cuatro fases y diez etapas o pasos:

#### **Fase A: Concretar el Problema**

1. Seleccionar el Sistema
2. Seleccionar el Problema
3. Cuantificar el Problema

#### **Fase B: Determinar las Causas**

4. Enumerar las Causas
5. Clasificar y Jerarquizar las Causas
6. Cuantificar las Causas
7. Seleccionar una Causa

#### **Fase C: Elaborar la solución**

8. Proponer y Cuantificar Soluciones
9. Seleccionar y Elaborar una Solución

#### **Fase D: Presentar la Propuesta**

10. Formular y Presentar una Propuesta de Solución

Este método de averías debe de estar bien estructurada, de forma que se desarrolle según un orden lógico. Ser rígida, de manera que no dé opción a pasar por alto ninguna etapa fundamental y ser completa, es decir, que cada etapa sea imprescindible por sí misma y como punto de partida para la siguiente.

### **4.3. Fase A: Concretar el problema**

#### **4.3.1. SELECCIONAR EL SISTEMA**

Se trata de concretar los límites o alcance del sistema: instalación, máquina o dispositivo objeto del análisis. Se persigue con ello evitar dos errores frecuentes:

1. Ignorar elementos importantes involucrados en el problema, como pueden ser los dispositivos de seguridad y/o control de una máquina o instalación.
2. Extender el análisis a elementos poco relacionados con el problema que pueden hacer excesivamente largo y laborioso el análisis y que, en todo caso, serían objeto de otro análisis.

Seleccionar el sistema supone:

- Establecer los límites del sistema. El análisis se puede efectuar indistintamente a un componente, un subsistema elemental o al sistema completo, pero deben quedar claramente establecidos los límites del sistema analizado.
- Recopilar la información referente al sistema: sus funciones, sus características técnicas y las prestaciones deseadas.

#### **4.3.2. SELECCIONAR EL PROBLEMA**

Normalmente, se trata de un fallo o de la consecuencia de un fallo. Se debe tratar de un hecho concreto que responde a la pregunta: ¿qué ocurre?. Se persigue concretar un problema de máxima prioridad y evitar la tendencia frecuente a intentar resolver múltiples problemas a la vez, con la consiguiente pérdida de eficacia.

Seleccionar el problema supone:

- Concretar la avería objeto del análisis.
- Describir la avería, lo más completamente posible: ¿qué ocurre?, ¿dónde ocurre?, ¿cómo ocurre?, ¿cuándo ocurre o cuándo comenzó?, ¿quién la provoca? y ¿cómo se ha venido resolviendo?

#### **4.3.3. CUANTIFICAR EL PROBLEMA**

Es preciso trabajar con datos: ¿cuánto tiempo hace que existe?, ¿cuántas veces ha sucedido? y ¿cuánto está costando?, para ser objetivos y evitar ideas preconcebidas.

Un análisis de averías exhaustivo como el que se está presentando no estaría justificado en todos los casos. Por eso, es importante que la dirección de la planta establezca unos criterios para desencadenar el análisis cuando se presenten las condiciones predefinidas:

- Cuando el fallo ha ocasionado un accidente personal.
- Cuando el fallo ha provocado un fuego o pérdida de producción importante.
- Cuando el fallo ha provocado un daño medio ambiental importante.
- Cuando el fallo tiene un coste de reparación superior a una cifra determinada.
- Cuando el fallo afecta a una máquina o instalación catalogada como crítica.
- Cuando la combinación frecuencia/coste o frecuencia/criticidad superan los límites establecidos.

#### 4.4. Fase B: Determinar las causas

##### 4.4.1. ENUMERAR LAS CAUSAS

La causa es el origen inmediato del hecho observado o analizado. Se deben omitir opiniones, juicios, etc. y debe responder a la pregunta: ¿por qué ocurre?

Pensar que una sola causa es el origen del problema es generalmente simplista y preconcebido. Se trata de esforzarse para encontrar todas las causas posibles y comprobar que realmente inciden sobre el problema.

Se deben contemplar tanto las causas internas como externas del equipo analizado, lo que se podría clasificar como causas físicas y causas latentes o de organización, gestión, etc.

Enumerar las causas supone, por tanto, confeccionar un listado exhaustivo de todas las posibles causas involucradas en el fallo analizado, ver la siguiente Tabla II.

Tabla II. Ficha de análisis de averías			
Fecha: ___/___/___		Realizado por: _____	
<b>DENTIFICACION</b>			
MAQUINA: _____		CODIGO: _____	
ELEMENTOS ASOCIADOS: _____			
FUNCION: _____			
CALIFICACION CRITICIDAD: Crítica <input type="checkbox"/> Importante <input type="checkbox"/> Poco importante <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/>			
<b>AVERIA</b>			
NATURALEZA:			
Mecánica	<input type="checkbox"/>	Electrónica	<input type="checkbox"/>
Eléctrica	<input type="checkbox"/>	Hidráulica	<input type="checkbox"/>
		Neumática	<input type="checkbox"/>
		Otros	<input type="checkbox"/>
TIPO DE FALLO			
Progresivo	<input type="checkbox"/>	+Parcial	<input type="checkbox"/>
Súbito	<input type="checkbox"/>	+Total	<input type="checkbox"/>
Evidente	<input type="checkbox"/>	=Degradación	<input type="checkbox"/>
		=Cataléptico	<input type="checkbox"/>
		Múltiple	<input type="checkbox"/>
<b>CONSECUENCIAS</b>			
<b>PRODUCCION</b>		<b>INMOVILIZACION</b>	
Sin concac.	<input type="checkbox"/>	Breve	<input type="checkbox"/>
Bajo rendim.	<input type="checkbox"/>	Largo	<input type="checkbox"/>
Parada	<input type="checkbox"/>	Muy largo	<input type="checkbox"/>
<b>SEGURIDAD</b>		<b>MEDIO AMBIENTE</b>	
Sin daños pers.	<input type="checkbox"/>	Ninguno	<input type="checkbox"/>
Posible lesión	<input type="checkbox"/>	Bajo	<input type="checkbox"/>
Riesgo grave	<input type="checkbox"/>	Alto	<input type="checkbox"/>
<b>COSTE DIRECTO</b>		<b>FRECUENCIA</b>	
Bajo	<input type="checkbox"/>	Ocasional	<input type="checkbox"/>
Medio	<input type="checkbox"/>	Frecuente	<input type="checkbox"/>
Alto	<input type="checkbox"/>	Muy frecuente	<input type="checkbox"/>
<b>CALIFICACION GRAVEDAD</b>			
Menor	<input type="checkbox"/>	Crítico	<input type="checkbox"/>
Significativo	<input type="checkbox"/>	Catastrófico	<input type="checkbox"/>
<b>DIAGNOSTICO</b>			
<b>CAUSAS INTRINSECAS</b>		<b>CAUSAS EXTRINSECAS</b>	
FALLO DEL MATERIAL	<input type="checkbox"/>	Mala utilización	<input type="checkbox"/>
Desgaste	<input type="checkbox"/>	Accidente	<input type="checkbox"/>
Corrosión	<input type="checkbox"/>	No respetar instrucciones	<input type="checkbox"/>
Fatiga	<input type="checkbox"/>	Falta procedimientos escritos	<input type="checkbox"/>
Desajuste	<input type="checkbox"/>	Error procedimientos	<input type="checkbox"/>
Otras:	<input type="checkbox"/>	Falta de limpieza	<input type="checkbox"/>
Mal diseño	<input type="checkbox"/>	Coordinación	<input type="checkbox"/>
Mal montaje	<input type="checkbox"/>	Organización/Gestión	<input type="checkbox"/>
Mal mantenimiento	<input type="checkbox"/>	Otras causas externas	<input type="checkbox"/>
<b>SOLUCION</b>			
Para resolver la avería: _____			
Para evitar su repetición: _____			
Plan de acción: REF. _____			

#### **4.4.2. CLASIFICAR Y JERARQUIZAR LAS CAUSAS**

El listado antes obtenido no da información alguna sobre el grado de importancia y relación entre las mismas. Por ello, el paso siguiente antes de trabajar en la solución, es buscar relaciones entre causas que permita agruparlas y concatenarlas. Ello permitirá dar cuenta de que, tal vez, la solución de una de ellas engloba la solución de algunas de las otras.

#### **4.4.3. CUANTIFICAR LAS CAUSAS**

La medición, con datos reales o estimados de la incidencia de cada causa sobre el problema nos va a permitir, en un paso posterior, establecer prioridades. Se trata, por tanto, de tener cuantificado el cien por cien de la incidencia acumulada por las diversas causas.

#### **4.4.4. SELECCIONAR UNA CAUSA**

Se trata de establecer prioridades para encontrar la causa o causas a las que buscar soluciones para que desaparezca la mayor parte del problema. Para ello lo que realmente hacemos es asignar probabilidades para identificar las causas de mayor probabilidad (20% de las causas generan el 80% del problema).

### **4.5. Fase C: Elaborar la solución**

#### **4.5.1. PROPONER Y CUANTIFICAR SOLUCIONES**

Se trata de profundizar en la búsqueda de todas las soluciones viables, cuantificadas en coste, tiempo y recursos, para que el problema desaparezca.

#### **4.5.2. SELECCIONAR Y ELABORAR UNA SOLUCIÓN**

Se trata de seleccionar la solución que resuelva el problema de manera más global (efectiva, rápida y barata). Para ello, se compararan las distintas soluciones estudiadas y se completará un plan de acción para aquellas que finalmente se decida llevar a cabo.

### **4.6. Fase D: Presentar la propuesta**

#### **4.6.1. FORMULAR Y PRESENTAR UNA PROPUESTA DE SOLUCION**

El análisis se completa en esta etapa con la que se pretende informar de las conclusiones y la propuesta que se ha elaborado (plan de acción).

Se debe confeccionar un informe de análisis de averías donde se refleje toda la investigación, análisis, conclusiones y recomendaciones.

Si el problema lo merece y ha sido estudiado por un grupo de trabajo, es posible hacer una presentación a la dirección donde el grupo defiende las soluciones aportadas y responde a las cuestiones que se planteen. Todo el proceso descrito en los apartados 4.3, 4.4 y 4.5 se debe recoger en un formato que se denomina ficha de análisis de averías (Tabla II).

La ficha de análisis de averías sirve para guiar el análisis y para facilitar la comprensión y lectura del mismo.



Esto tiene como beneficio añadido los siguientes:

- Mejora la comunicación entre departamentos.
- Mejora el conocimiento del funcionamiento de los departamentos.
- Mejora la transparencia.
- Mejora el conocimiento de los procedimientos.

El grupo óptimo es de cinco a siete personas y debe ser liderado por el ingeniero de fiabilidad.

Es importante que, tanto si el análisis se hace en grupo o por especialista, se empiece lo antes posible, una vez haya tenido lugar la avería. De esta forma, se evita que se pierdan datos muy importantes para el análisis como son:

- Detalles del fallo (fotografías, etc.).
- Evidencias físicas (muestras para ser analizadas, etc.).
- Aportaciones de los operadores que estaban presentes.

## **6. Informe de análisis de averías**

Para que se transmita de forma eficaz, la información debe cumplir las tres condiciones siguientes: ser precisa y completa, ser fácil de entender y ser breve para ahorrar tiempo a los lectores.

Su estructura más frecuente es la siguiente:

- Título.
- Sumario.
- Índice.
- Cuerpo del informe.
- Apéndices.

El sumario es un resumen que describe en qué consiste la avería y cuál es la solución propuesta, todo ello de forma muy breve. Los detalles irán posteriormente. La redacción del sumario debe dejarse para el último momento, cuando todo el informe esté terminado.

La razón del sumario es que es un hecho comprobado que la comprensión y la memorización mejoran notablemente si se empieza resumiendo lo que se va a explicar y la conclusión a la que se va a llegar. Debe servir también para que los lectores muy ocupados puedan tener una visión resumida sin necesidad de leerse todo el documento.

El índice puede resultar superfluo si el informe es muy breve, pero en general es muy útil, pues facilita la lectura y da una primera visión, como el sumario.

El cuerpo del informe desarrolla todo el proceso de análisis efectuado, desde la definición del problema hasta la propuesta de solución pasando por el análisis de las causas.

Un modelo de informe breve puede ser el siguiente:

- Título.
- Sumario.
- Índice:
  - Antecedentes o introducción.
  - Descripción de la avería.
  - Análisis de las causas.
  - Conclusiones y recomendaciones.
  - Apéndices.

Como se aprecia, en el cuerpo del informe aparecen los apartados en el orden en que se han sucedido los razonamientos. La extensión de cada apartado dependerá de su importancia relativa.

Los apéndices se utilizarán cuando se requiera una larga explicación o suponga un gran volumen de datos. Así, se evita perder el hilo del tema principal.

Presentan la ventaja para los lectores que sólo necesitan entrar en ellos si precisan más detalles.

El cuerpo del informe puede ser ampliado, cuando se requiera, aunque conservando la misma estructura, como se puede observar en el modelo siguiente:

- Antecedentes
  - Objeto y alcance del informe
  - Fuentes de información.
  - Limitaciones
- Descripción de la avería
  - Descripción de los hechos
  - Sistemas observados
- Análisis de causas
  - Sucesión de eventos
  - Causas inmediatas
  - Causas remotas
  - Causa más probable. Diagnóstico
- Conclusiones
  - Acerca de las causas
  - Acerca de las soluciones
  - Conclusión final
- Recomendaciones
  - Solución propuesta
  - Plan de acción. Implementación

## 7. Herramientas para análisis de averías

De entre las diversas herramientas existentes hemos seleccionado aquellas que mejor se adaptan para cada fase del análisis.

### 7.1. El diagrama de Pareto

Es una representación gráfica de los datos obtenidos sobre un problema, que ayuda a identificar y seleccionar los aspectos prioritarios que hay que tratar.

También se conoce como Diagrama ABC o Ley de las Prioridades 20-80, que dice: “el 80% de los problemas que ocurren en cualquier actividad son ocasionados por el 20% de los elementos que intervienen en producirlos”.

Sirve para conseguir el mayor nivel de mejora con el menor esfuerzo posible. Es pues una herramienta de selección que se aconseja aplicar en la fase A que corresponde al enfoque “concretar el problema”, así como para seleccionar una causa.

Tiene el valor de concentrar la atención en el 20% de los elementos que provocan el 80% de los problemas, en vez de extenderse a toda la población. Se cuantifican las mejoras que se alcanzarán solucionando los problemas seleccionados.

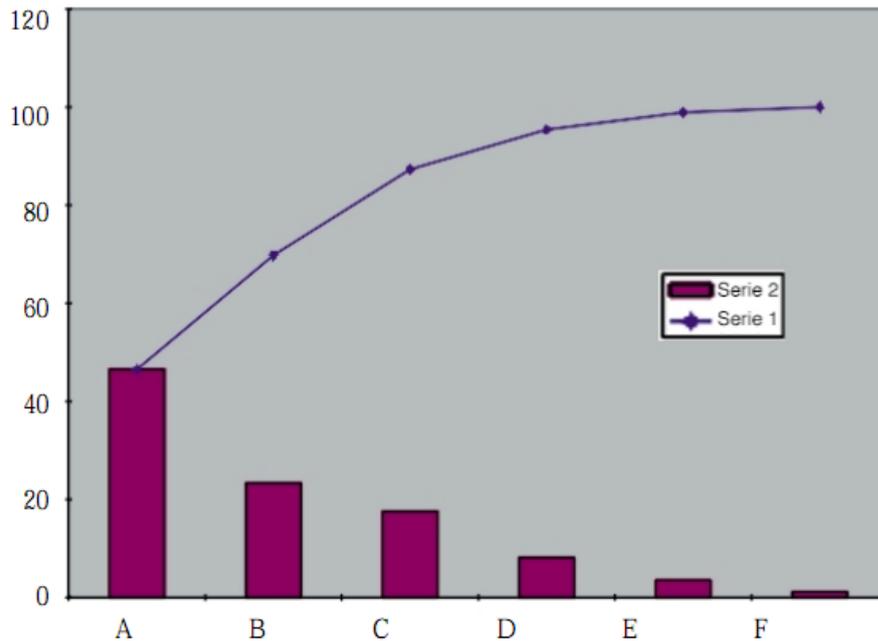
Los pasos a seguir para su representación son:

- Anotar, en orden progresivo decreciente, los fallos o averías a analizar (importe de averías de un tipo de máquinas, importe de averías del conjunto de la instalación, consumo de repuestos, etc.). En definitiva, el problema o avería objeto del análisis.
  - Calcular y anotar, a su derecha, el peso relativo de cada uno (porcentaje).
  - Calcular y anotar, a su derecha, el valor acumulado (porcentaje acumulado).
  - Representar los elementos en porcentajes decrecientes de izquierda a derecha (histograma) y a curva de porcentaje acumulado (curva ABC).
- Ejemplo: Averías encontradas en un conjunto de bombas centrífugas. Se trata de seleccionar el problema o avería a analizar (Tabla III).

**Tabla III.**

	Concepto	Importe anual	%	% acumulado
A	Fuga cierre mecánico	40	46,5	46,5
B	Fallo de cojinetes	20	23,3	69,8
C	Desgaste anillos de impulsor	15	17,5	87,3
D	Daños en el eje	7	8,1	95,4
E	Daños en impulsor	3	3,5	98,9
F	Daños en carcasa	1	1,1	100

Representación gráfica



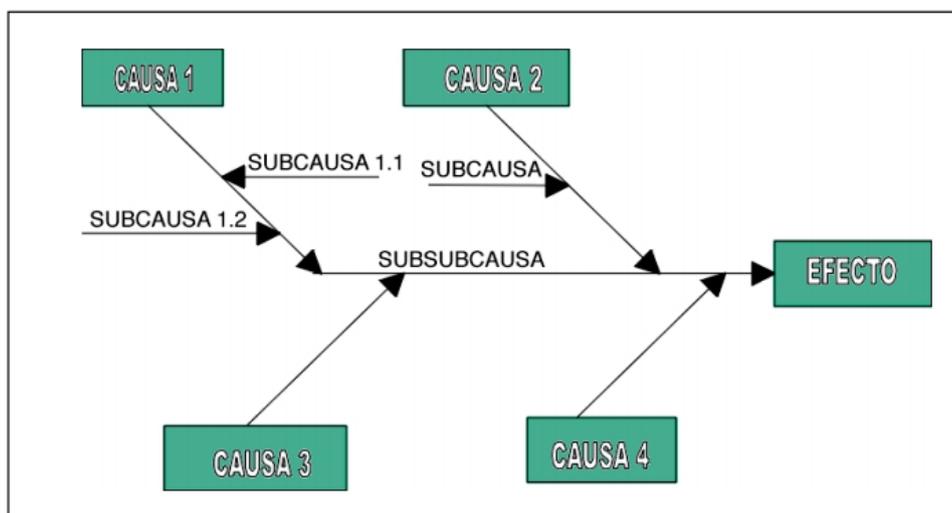
- Conclusiones: controlando los tipos de fallos A, B y C (cierre mecánico, cojinetes y anillos de desgaste) se está controlando el 87,3% del importe anual de reparaciones de bombas centrífugas.

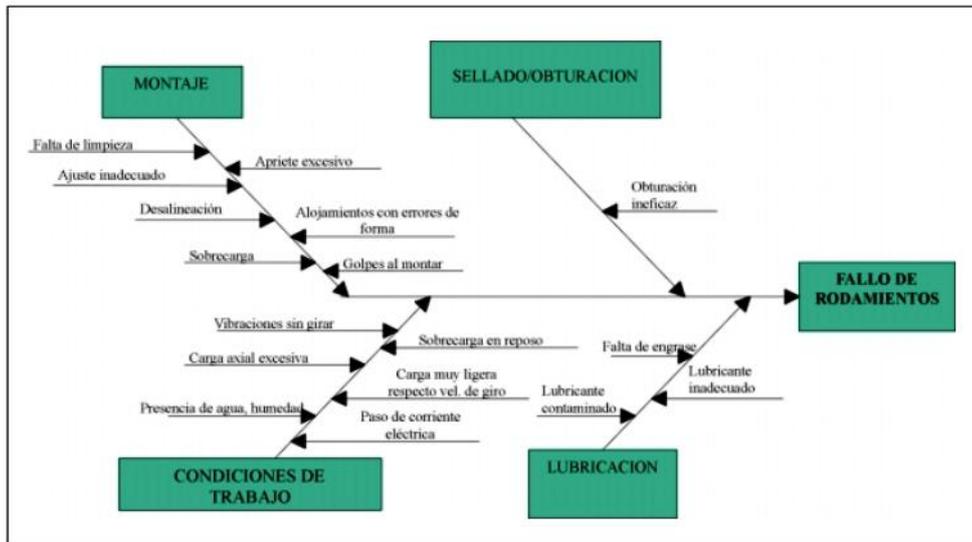
## 7.2. El diagrama de Ishikawa

También denominado Diagrama Causa-Efecto o de espina de pescado, es una representación gráfica de las relaciones lógicas existentes entre las causas que producen un efecto bien definido.

Sirve para visualizar, en una sola figura, todas las causas asociadas a una avería y sus posibles relaciones. Ayuda a clasificar las causas dispersas y a organizar las relaciones mutuas. Es, por tanto, una herramienta de análisis aplicable en la fase B “determinar las causas”.

Tiene el valor de su sencillez, poder contemplar por separado causas físicas y causas latentes (fallos de procedimiento, sistemas de gestión, etc.) y la representación gráfica fácil que ayuda a resumir y presentar las causas asociadas a un efecto concreto.





Los pasos a seguir para su construcción son:

- a) Precisar bien el efecto. Es el problema, avería o fallo que se va a analizar.
- b) Subdividir las causas en familias. Se aconseja el método de las 4M, métodos, máquinas, materiales, mano de obra, para agrupar las distintas causas, aunque según la naturaleza de la avería puede interesar otro tipo de clasificación.
- c) Generar, para cada familia, una lista de todas las posibles causas. Responder sucesivamente, ¿por qué ocurre? hasta considerar agotadas todas las posibilidades.

### 7.3. El árbol de fallos

Es una representación gráfica de los múltiples fallos o eventos y de su secuencia lógica desde el evento inicial (causas raíz) hasta el evento objeto del análisis (evento final) pasando por los distintos eventos contribuyentes.

Tiene el valor de centrar la atención en los hechos relevantes y adicionalmente conduce la investigación hacia causas latentes.

Esta presentación gráfica permite, igual que el diagrama de Ishikawa, resumir y presentar las causas, conclusiones y recomendaciones.

Es, por tanto, una herramienta de análisis muy recomendable para realizar la fase B del análisis de averías (determinar las causas).

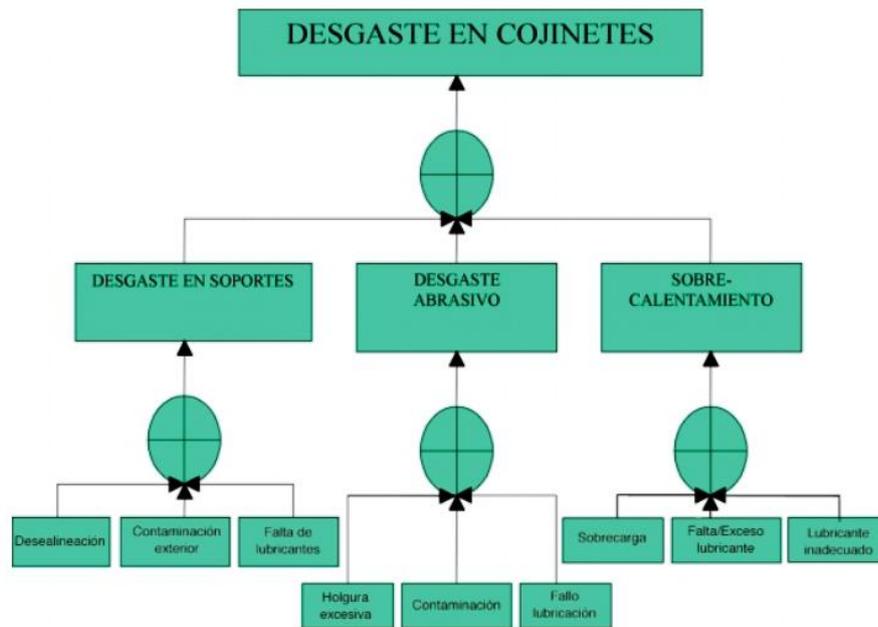
Se utilizan símbolos para expresar las relaciones lógicas entre los distintos sucesos, ver la siguiente tabla.

SIGNIFICADO	SIMBOLO
<p>SUCESO PRIMARIO</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No requiere desarrollo posterior o no es posible desarrollarse, por alguna razón.</li> </ul>	
<p>SUCESO SECUNDARIO</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resulta de la combinación lógica de sucesos previos.</li> </ul>	
<p>CADENA REPETIDA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resume una cadena idéntica, ya analizada.</li> </ul>	
<p>PUERTA O</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Operador lógico que permite el suceso siguiente cuando se presente cualquiera de los precedentes</li> <li>• Existe redundancia</li> </ul>	
<p>PUERTA Y</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Operador lógico que permite el suceso siguiente cuando se presentan todos los precedentes.</li> <li>• Existe coincidencia</li> </ul>	
<p>- Las puertas lógicas más elementales son la "Y" y la "O".                      - La puerta "O" se utiliza para indicar la unión lógica de dos elementos. El suceso ocurrirá siempre y cuando ocurra por lo menos una de las entradas lógicas.                      - La puerta "Y" se utiliza para indicar la intersección lógica. El suceso ocurrirá si ocurren, simultáneamente todas las entradas lógicas</p>	

Los pasos a seguir para la construcción del árbol de fallos son:

- Determinar el suceso final, avería, fallo o evento no deseado, objeto del análisis. Ocupará la cúspide del árbol o gráfico.
- Desarrollar el árbol, de forma iterativa, mediante puertas lógicas y sucesos. Para cada suceso hay que responder: ¿Por qué ocurre? ¿Qué sucesos, intermedios o básicos, podrían haber causado el suceso objeto del estudio?. El procedimiento se desarrollará hasta llegar a sucesos básicos que no requieren posterior desarrollo.
- Evaluación cualitativa. Si se transforma el árbol en una función lógica, aplicando el álgebra de Boole, se puede hacer la siguiente evaluación cualitativa: la expresión resultante representa las combinaciones mínimas de sucesos primarios, cuya ocurrencia simultánea conduce al suceso no deseado. Cada una de estas combinaciones se denomina "conjunto mínimo de fallo".

El suceso no deseado viene representado por la unión lógica de todos los conjuntos mínimos de fallo, ver la siguiente figura.



### 7.4. Matriz de criterios

Para la fase C (elaborar la solución) es muy útil utilizar ésta herramienta que supone disponer de varias soluciones viables y cuantificadas en coste y tiempo.

La matriz de criterios ayudará a seleccionar la alternativa que resuelve el problema de la manera más global (efectiva, rápida, barata, etc.).

Se trata de una matriz donde aparecen en las filas las distintas soluciones y en las columnas los criterios bajo los cuales se quiere regir (sencillez, rapidez, coste, efectividad, etc.).

ALTERNATIVAS	CRITERIOS			PUNTUACION TOTAL
	C1 P	C2 P	C3 P	
A				
B				
C				
D				

A, B, C, D: Alternativas o soluciones.  
 C1, C2, C3: Criterios de evaluación (coste, rapidez, dificultad, etc.).  
 P: Peso del criterio (o factor de multiplicación).

- Las alternativas son las distintas soluciones a comparar.
- A, B, C son los criterios fijados.
- P es el peso asignado a cada criterio: 1,2,3, ... para criterios que tengan una influencia positiva y -1, -2, -3, ... para los de influencia negativa (por ejemplo el coste).
- Las soluciones son puntuadas, comparativamente, respecto de cada criterio (si se tienen 4 soluciones se da, a cada una de ellas, una puntuación de 1 a 4 siendo 4 la mejor y 1 la peor).
- Esa puntuación se multiplica por el peso de cada criterio y se suman para obtener la puntuación total. La mejor solución es la que alcance la pun-