

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías
Industriales

Métodos para el Análisis de Fallos y el uso del Big Data en la Industria 4.0

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla

Autor: Ricardo Pérez Lozano

Tutor: Jose María Gallardo Fuentes

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería en Tecnologías Industriales.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla

Autor:
Ricardo Pérez Lozano

Tutor:
Jose María Gallardo Fuentes
Catedrático Universidad de Sevilla

Dpto. Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica.
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2019

Trabajo Fin de Grado: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla

Autor: Ricardo Pérez Lozano
Tutor: Jose María Gallardo Fuentes

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

A mis padres.

Agradecimientos

Agradecer a mis padres por todo el esfuerzo que han hecho para que pueda haber terminado esta carrera , por el apoyo , por los ánimos cuando no podía más y sobre todo por la ilusión y el amor con el que ellos han querido que yo consiga esta carrera , sin ellos no hubiera sido posible , cuando termine, ellos serán los verdaderos ingenieros. Y agradecer también como no podía ser de otra manera a Noelia , su apoyo también ha sido fundamental en estos últimos años.

*Ricardo Pérez lozano
Sevilla, 2019*

Resumen

El principal objetivo de éste trabajo fin de grado ha sido recopilar una serie de métodos para el análisis de fallos que usan las industrias en la actualidad y analizarlos desde un punto de vista teórico, explicando como se desarrollan e implementan los diferentes métodos en la industria, a modo de guía hemos hecho especial énfasis en los métodos más usados, en el hecho de buscar antecedentes hemos recopilado información histórica de cada uno de los métodos y hemos situado los diferentes avances en la industria en el tiempo.

En la actualidad, con el desarrollo de nuevas tecnologías y los avances en lo que viene siendo las 4ª revolución industrial están apareciendo nuevas formas de analizar y predecir fallos , con el uso del big data, sensores, robots... lo que conocemos como la industria 4.0 y en la que me ha gustado enfatizar en este trabajo por su importancia futura en la industria.

Por último como todos estos métodos encaminan al control de calidad en una industria, he realizado una breve introducción al término de calidad, ya que me ha parecido de importancia tener apuntes sobre él.

Abstract

The main objective of this final degree project has been to compile a series of methods for the analysis of failures that industries currently use and analyze them from a theoretical point of view, explaining how the different methods are developed and implemented in the industry, as a guide we have placed special emphasis on the most used methods, in the fact of looking for a background we have collected historical information on each of the methods and we have located the different advances in the industry over time.

At present, with the development of new technologies and the advances in what has been the 4th industrial revolution, new ways of analyzing and predicting failures are emerging, with the use of big data, sensors, robots ... what we know as industry 4.0 and in which I liked to emphasize this work for its future importance in the industry.

Finally, as all these methods are aimed at quality control in an industry, I have made a introduction to the term of quality, since it seemed important to me to have notes on it.

Agradecimientos	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice	ix
Índice de figuras	xi
1 Introducción al análisis de fallos	11
2 Principios para el trabajo de análisis de fallos	15
2.1. <i>Investigación del fallo.</i>	15
3 Análisis de causa raíz (ACR)	18
3.1. <i>Herramientas para el análisis de causa raíz.</i>	18
3.2 <i>Tipos de causas raíces</i>	19
3.3 <i>Técnicas para obtener la causa raíz</i>	20
4 Análisis modal de fallos y efectos	22
4.1 <i>Reseña Histórica.</i>	22
4.2 <i>¿Qué es un AMEF?</i>	23
4.3 <i>Necesidades del AMEF.</i>	23
4.4 <i>Beneficios Del Amef.</i>	23
5 Análisis de árbol de fallos	24
5.1 <i>Reseña histórica.</i>	24
5.2 <i>Pasos a seguir en el análisis de árbol.</i>	24
5.3 <i>¿Qué es el análisis de Árbol de Fallos (A.A.F)?</i>	25
5.4 <i>Beneficios del Análisis del Árbol de Fallos</i>	25
6 Método de las 8D	26
6.1 <i>Reseña histórica</i>	26
6.2 <i>¿Qué es el método de las 8D?</i>	26
6.3 <i>Las ocho disciplinas del 8D.</i>	27
7 Diagrama ishiwaka o fishbone	28
7.1 <i>Reseña histórica</i>	28
7.2 <i>¿Qué es el diagrama de ishiwaka?</i>	29
7.3 <i>Metodología</i>	29
7.4 <i>Beneficios del diagrama de causa y efecto</i>	31
8 Six sigma	32
8.1 <i>Reseña histórica</i>	32
8.2 <i>¿Qué es el six sigma?</i>	32
8.3 <i>Etapas del método six sigma (DMAIC)</i>	33
9 Quick response quality control (qrqc)	34
9.1 <i>¿Qué es el QRQC?</i>	34
9.2 <i>¿Cómo funciona el QRQC?</i>	35
10 RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad)	36
10.1 <i>Reseña histórica</i>	36
10.2 <i>¿Qué es el RCM?</i>	37

10.3 Tipos de mantenimiento	38
11 Análisis de Pareto	40
11.1 Reseña histórica	40
11.2 ¿Qué es el Análisis de Pareto?	40
11.3 Metodología Análisis de Pareto	41
12 Sil (nivel integral de seguridad)	42
12.1 ¿Qué es el SIL?	42
12.2 Metodología del SIL	42
13 La Revolución Industrial en el desarrollo del análisis de fallos	44
13.1 Las Etapas	45
14 La industria 4.0	47
15 Big data	51
15.1 Las 5 V's del Big Data.	51
15.2 Clases de analítica con Big Data	52
15.3 Analítica descriptiva/Diagnóstica	53
15.4 Analítica predictiva	53
15.5 Analítica prescriptiva	54
15.6 Algunas aplicaciones del big data en empresas	55
16 Mantenimiento predictivo en la industria 4.0	56
16.1 ¿Qué es el mantenimiento predictivo?	56
16.2 Implantación de un sistema de mantenimiento predictivo inteligente	57
16.3 Técnicas de mantenimiento predictivo	60
16.4 Beneficios del mantenimiento predictivo	60
17 Control de calidad en la industria	61
17.1 Definición de calidad	61
17.2 Significados de la calidad según el contexto	61
17.3 Las ocho dimensiones de la calidad	62
17.3 Los Catorce puntos para la gestión de Deming	63
17.4 El ciclo de Deming (ciclo PDCA). El ciclo de la calidad:	65
Referencias web	68
Referencias	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Curva de bañera	13
Figura 2- Fallos aleatorios	14
Figura 3- Desgaste puro	14
Figura 4- Técnica de los 5 por qué	20
Figura 5- Ejemplo de árbol de fallos	25
Figura 6- Método de las 8D	26
Figura 7- Calculo del NPR	28
Figura 8- Diagrama Ishiwaka	30
Figura 9- Diagrama Ishiwaka con subcausas	30
Figura 10- Ejemplo de diagrama de Ishiwaka	31
Figura 11- Diagrama ishiwaka completo	32
Figura 12- Nivel sigma y el número de defectos por millón	34
Figura 13- Modelo QRQC	36
Figura 14- Ejemplo Análisis de Pareto	41
Figura 15- Clasificación del riesgo de acuerdo a IEC 61508	42
Figura 16- Niveles de integridad de seguridad	43
Figura 17- Matriz frecuencia-consecuencia	43
Figura 18- Frecuencia de un evento peligroso de acuerdo a IEC 61511	44
Figura 19- Primeras tres etapas de la revolución industrial	46
Figura 20- De la industria 1.0 a la industria 4.0	47
Figura 21- Múltiples sensores en la industria 4.0	47
Figura 22- Tecnologías base de la industria 4.0	48
Figura 23- Diferentes tipos de analítica y su complejidad	52
Figura 24- Tipos de mantenimiento	54
Figura 25- Flujo del proyecto	59
Figura 26- Significado de la calidad según contexto	62
Figura 27- Ciclo PDCA	66

1 INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE FALLOS

*La formulación de un problema, es más importante que su solución.
- Albert Einstein -*

El análisis de fallos es un proceso que se encarga de determinar las causas o los factores que nos han llevado a una pérdida de la funcionalidad de un sistema o de un equipo. Consiste en un examen exhaustivo de la pieza dañada para determinar la causa raíz del fallo y usar esta información para mejorar la calidad del producto. La contribución de la ingeniería de los materiales para el avance de los métodos de análisis de fallos ha sido de gran importancia en las últimas décadas.

En los últimos años, hemos empezado a hablar del concepto de confiabilidad, ya que no era suficiente lograr sólo una alta disponibilidad de la máquina, sino también disminuir al mínimo la probabilidad de fallos de las máquinas, es decir, lograr una alta confiabilidad. Según su definición, la confiabilidad es la capacidad de un equipo o sistema de desempeñar una función requerida en condiciones establecidas durante un periodo de tiempo determinado. En una empresa tanto el control de calidad, como el análisis de fallos, como la prevención y el mantenimiento forman un papel muy importante en la estructura de una empresa. Las consecuencias de un fallo pueden ir desde la pérdida de producción, hasta la degradación y rotura de las propias máquinas.

Una alta disponibilidad no conlleva necesariamente a una alta confiabilidad, pero una alta confiabilidad sí conlleva a una buena disponibilidad y seguridad, en la medida que la maquinaria, el proceso o equipos, presentan una baja probabilidad de fallo. Para el caso de la maquinaria pesada, la confiabilidad será el producto de la confiabilidad individual de cada sistema que la compone. El concepto conocido como Ingeniería de Confiabilidad tiene su enfoque en las técnicas, herramientas y en los métodos que en conjunto permiten determinar que un componente, un sistema o producto actúe con seguridad asegurando la calidad adecuada, bajo condiciones óptimas y tiempos determinados.

Muchos expertos definen las causas de los defectos con sólo dos preguntas: ¿cuál es la parte dañada? O ¿cuál es la parte defectuosa? Obviamente, hay muchos tipos de defectos, incluyendo la deficiencia en el diseño, la falta de material, los errores en la manufacturación... En todos ellos es clave el análisis del ingeniero de materiales que actúa como forense, ya que posee una amplia información de cómo se comportan los materiales.

La Ingeniería Forense es la rama de la Ingeniería que se encarga de la investigación de las causas que han desencadenado un cierto evento y de las consecuencias producidas, de las que se puede derivar algún tipo de responsabilidad civil o penal.

En función de la naturaleza del evento a investigar, las metodologías y herramientas de análisis e investigación pueden ser diferentes, pero todas ellas van a la identificación justificada de la causa o causas que han provocado el evento que hemos analizado, así como de las consecuencias que se derivan de dicho evento.

En muchos casos podemos comprobar que al fallo no solo nos ha llevado un único evento, nos lleva a que han sido una serie de factores que combinados en un tiempo y lugar han permitido que ocurra el fallo. Aunque a veces la corrección de uno de estos fallos puede ser suficiente para

prevenir el fallo, hay veces que todo es más complicado y necesitamos solucionar más problemas.

En estos siguientes puntos vamos a repasar las causas más típicas de fallos que aparecen en la industria para tener una idea de ellos y la clasificación de éstos:

- **Mal diseño:**
 - a. No analizar correctamente los efectos de las entallas.
 - b. No conocer los esfuerzos a los que están sometido nuestro sistema (insuficientes criterios de diseño)
 - c. Cambios en el diseño sin tener en cuenta que los cambios pueden producir que se eleven los esfuerzos en esas zonas.

- **Mala selección del material:**
 - a. Tener datos poco exactos del material (ensayos de tensión, dureza...).
 - b. Empleo de criterios erróneos en la selección del material, no tener datos fiables a la hora de elegir el material.
 - c. Darle mayor importancia al coste del material que a su calidad , lo que conllevará un peligro en el diseño de mi equipo al tener materiales de poca calidad.

- **Imperfecciones del material, del proceso y/o de su fabricación:**
 - a. Segregaciones, porosidades, incrustaciones, grietas que pueden conducir al fallo del material.
- **Errores en el servicio y en el montaje.**
- **Errores en el control de Calidad, mantenimiento y reparación.**
- **Factores ambientales, sobrecargas.**
- **Deficiencias en el proceso:**
 - a. Marcas de maquinado pueden originar grietas que conducen al fallo.
 - b. Recubrimientos inadecuados.
 - c. Soldaduras y/o reparaciones inadecuadas.

Generalmente un fallo es el resultado de uno o más de los anteriores factores. Normalmente los fallos van a seguir un patrón de evolución que nos indicará y nos guiará a la hora de definir y de poder clasificarlo cuando nos enfrentemos a un análisis de fallos, los más típicos son los siguientes:

- **Curva de bañera:**

La curva de bañera es una gráfica que representa los fallos durante el período de vida útil de un sistema o máquina. Se llama así porque tiene la forma una bañera cortada. Son aquellos fallos cuya probabilidad de que ocurra aumenta con el tiempo de operación, con el número de operaciones que realiza el equipo o con los esfuerzos aplicados.



Figura 1: Curva de bañera.

En la curva de bañera podemos diferenciar tres etapas:

- a. Fallos infantiles: Esta etapa se caracteriza por tener una alta tasa de fallos que desciende rápidamente con el tiempo. Son los fallos que se producen en la era primaria de nuestro equipo, estos fallos pueden deberse a diferentes razones como equipos defectuosos, instalaciones incorrectas, errores de diseño del equipo, desconocimiento del equipo por parte de los operarios o desconocimiento del procedimiento adecuado.
- b. Fallos normales: Etapa con una tasa de errores pequeña y constante, los fallos no se producen debido a causas internas del equipo, sino por causas externas. Estas causas pueden ser accidentes fortuitos o malas operaciones.
- c. Fallos de desgaste: Etapa caracterizada por una tasa de errores rápidamente creciente. Estos fallos ocurren en la etapa final de vida de nuestro equipo. Los fallos se producen por desgaste natural del equipo debido al transcurso del tiempo.

▪ **Aleatorios:**

Son aquellos de los cuáles no tenemos previsión que vayan a ocurrir, no podemos predecirlos por los diferentes métodos que existen. Su probabilidad de que ocurra es constante en el tiempo, ya que al ser aleatorios no puedo conocer cuando es más alta o más baja.



Figura 2: Fallos aleatorios.

- **Desgaste puro:**

Son los componentes o equipos que tienen una vida útil conocida y marcada y no excederán nunca de esa vida o tiempo de operación.

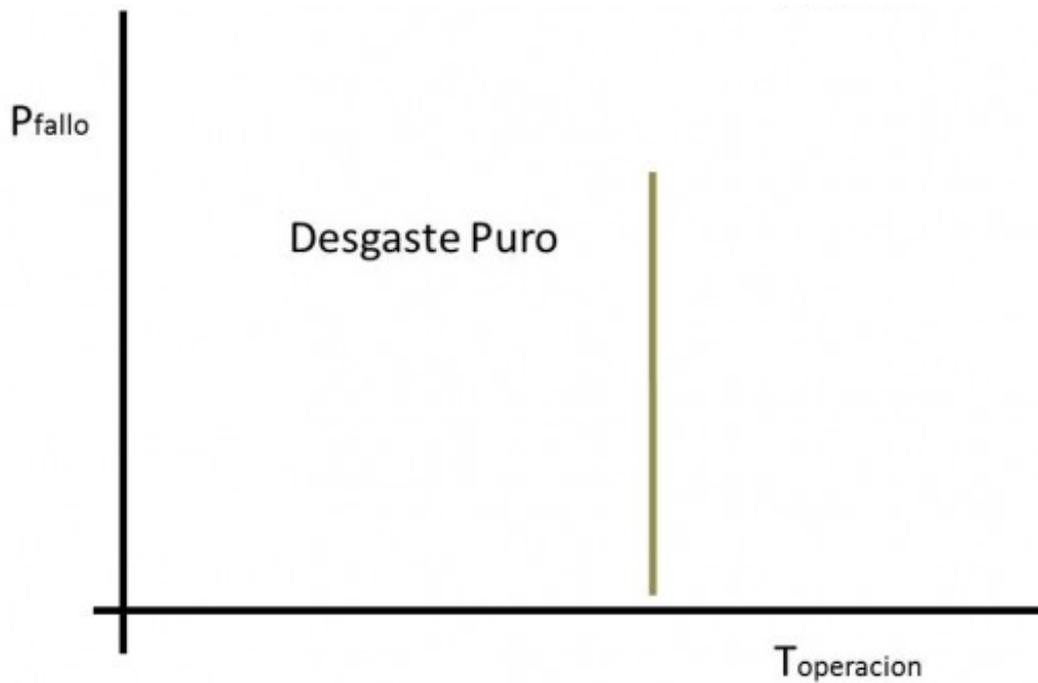


Figura 3: Desgaste puro.

2 PRINCIPIOS PARA EL TRABAJO DE ANÁLISIS DE FALLOS

2.1. Investigación del fallo.

El objetivo de una investigación del fallo es determinar la causa raíz, causa de la cual provienen todos los problemas que han existido en mi sistema. Existen una serie de pasos que a modo de método se siguen en una investigación de fallo.

2.1.1 Los nueve pasos de una investigación del fallo.

1. Entender y conocer los objetivos de la investigación.
2. Obtener un alto grado de conocimiento del fallo.
3. Identificar todas las posibles causas raíz.
4. Evaluar la probabilidad de cada causa raíz.
5. Acercarse a la causa más posible.
6. Identificar todas las posibles acciones que corrijan el problema.
7. Evaluar cada acción que corrija.
8. Seleccionar la corrección más óptima.
9. Evaluar la efectividad de esta acción de corrección.

1er paso: Entender y conocer los objetivos de la investigación.

- Prioridad de la investigación: Conocer, entender y buscar cual es mi prioridad en la investigación.
- Recursos válidos: Encontrar y usar los recursos que son válidos en nuestra investigación.
- Limitaciones impuestas: Recontar y conocer las limitaciones en nuestra búsqueda del fallo.
- Objetivos de la investigación.

La etapa inicial es la más importante: consiste en solamente pensar, estudiar la evidencia, hacer preguntas detalladas acerca de las partes, el equipo, las circunstancias del fallo y tomar nota de las respuestas. No destruir evidencias. Inicialmente el analista se reúne con el personal involucrado (ingenieros de mantenimiento, de proceso, etc.) para discutir el problema. Es responsabilidad del analista realizar preguntas relevantes concernientes a la pieza:

1. Proceso involucrado.
2. Tipo de material, sus especificaciones forma, dimensiones y técnicas de proceso.
3. Parámetros de diseño.
4. Condiciones de servicio.
5. Registros de mantenimiento.
6. Frecuencia de fallo.
7. Secuencia de eventos que precedieron al fallo.

Toda esta información permite definir correctamente el problema ("Un buen planteamiento del problema es parte de la solución").

2do paso: Obtener un alto grado de conocimiento del fallo.

¿Cuál es el problema? Ésta es la primera pregunta que me tengo que hacer cuando me enfrento a esta situación, siguiendo éstas cuatro preguntas:

Existen unas cuatro preguntas que se usan en la investigación del fallo:

1. ¿Cuál es el problema?
2. ¿Cuál es la causa raíz del problema?
3. ¿Cuáles son las soluciones más factibles?
4. ¿Cuál es la mejor solución?

Ahora presentamos un “kit de contenidos” que debemos de tener en cuenta a la hora de hacer una investigación de fallo:

- Tener una mente abierta y cuestionadora
Estáte preparado, haz preguntas y está preparado para lo inesperado, porque muchas veces las causas de nuestros fallos son inesperadas y catastróficas.
- Buena actitud
Tienes que tener actitud positiva para contagiar al resto de compañeros en los momentos difíciles.
- Conducta profesional
Ser organizado y saber que hacer, la gente te considerará importante y tu presencia será importante para ofrecer ayuda.
- Objetos
Tener una serie de objetos como una regla, un imán, una lupa, cinta de medir, permanente, linterna, medidor de conductividad, espejo, lápiz y bolígrafo, teléfono móvil y ordenador, te pueden ser de ayuda durante el proceso.

3er paso: Identificar todas las posibles causas raíz

En esta etapa se suele hacer un árbol de fallo, de fácil elaboración, en el que se ramifican todas las posibles causas de mi fallo, otra posibilidad es la de hacer un “brainstorming” lluvia de ideas, para saber todas las causas posibles debemos preguntar varias veces ¿por qué? Para ello existe un método conocido como los 5 why’s.

Lo que hacemos es preguntar ¿por qué ocurrió nuestro fallo? y escribimos la primera causa raíz en la copa de nuestro árbol y a partir de ahí vamos bajando por nuestro árbol , con preguntas consecutivas de ¿por qué? .

4º paso: Evaluar la probabilidad de cada causa raíz

En este paso lo que vamos a hacer es comprender cual de las posibles causas raíces que tenemos es más probable, una buena herramienta para esto es el “FMA chart” Failure Mode Assessment. Es importante ya que es una imagen permanente de la probabilidad que tiene que ocurra cada causa raíz y la prioridad de ésta a la hora de ser la causante, esta tabla en la que tenemos en cuenta la causa y su probabilidad de ser la causante es generada para aprobar o desaprobado cada causa raíz.

5º paso: Acercarse a la causa más posible:

Ahora es el momento de converger hasta la causa raíz mas probable. Para ello hacemos uso de las cuatro preguntas del paso dos, una buena herramienta para esto es un plan técnico de

resolución (TPR) , con el cual podemos crear una tabla similar al FMA, en la que tengamos las causas posibles junto con su probabilidad de ocurrir, normalmente es que FMA Y TPR vaya juntos, en dos tablas diferenciadas, pero en simbiosis. En este paso es una buena idea hacer tres cuestiones para rellenar mi TPR:

1. ¿Qué sabemos?
2. ¿Qué pensamos?
3. ¿Qué puedo comprobar?

6º paso: Identificar todas las posibles acciones de corrección:

La investigación del fallo no ha sido aún completada, esta casi terminada, después de meses de trabajo se ha conseguido la causa raíz pero ahora el investigador tiene que determinar que medidas tomar para prevenir que ese fallo vuelva a ocurrir.

7º paso: Evaluar cada acción tomada:

En este paso evaluamos cada acción correctiva y su probabilidad de conseguir que ese fallo no se vuelva a repetir, es decir, lo que hacemos es ponderar la efectividad de las acciones que hemos tomado, con ello creamos una nueva tabla, conocida como CCA chart con el análisis de las medidas correctivas.

8º paso: Seleccionar la acción correctiva más óptima:

En este paso lo que vamos a hacer es seleccionar de entre todas las acciones tomadas, la más efectiva y la que mas solución le pone a mi causa raíz, por lo que crearemos un plan técnico para determinar la mejor medida correctiva.

9º paso: Evaluar la efectividad de la acción seleccionada:

Este es el último paso, lo que hacemos es recomendar y evaluar la acción correctiva seleccionada.

2.1.2 Beneficios.

La detección analítica de Fallo, proporciona las habilidades para la solución y prevención de problemas y mejoramiento continuo en empresas y aporta los siguientes beneficios:

- Reducción del tiempo de reparación.
- Minimización de tiempo de preparación y arranque de equipos.
- Disminución de fallos repetitivos.
- Aumento en la disponibilidad de equipos.
- Reducción de desperdicio.
- Reducción en la frecuencia de fallos.
- Mejora del mantenimiento preventivo.
- Reducción de costes por fallos de calidad.
- Mayor eficiencia en el trabajo en equipo.

2.1.3 El análisis de fallos está diseñado para.

- Identificar los modos de fallo (la forma de fallar del producto o pieza).
- Identificar el mecanismo de fallo (el fenómeno físico involucrado en el fallo).
- Determinar la causa raíz (el diseño, defecto, o cargas que llevaron al fallo)
- Recomendar métodos de prevención del fallo.

En los siguientes capítulos desgranaremos la mayoría de métodos para el análisis de fallos que se usan habitualmente en la industria, para tener una memoria teórica de cada uno de ellos.

3 ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ (ACR)

El Análisis de Causa Raíz (ACR) o Root Cause Analysis es una disciplina dentro de la Ingeniería del Mantenimiento que estudia y analiza siniestros, averías y no conformidades en instalaciones de todo tipo, especialmente industriales. El objetivo básico del ACR es determinar las causas que provocan las no conformidades analizadas, tanto las subyacentes, presentes normalmente durante largos espacios de tiempo sin provocar un daño inmediato, como las desencadenantes, que son las que provocan que las consecuencias aparezcan en un momento determinado y no en otros. La determinación de unas y otras, permite, por un lado establecer responsabilidades, cuando corresponde, y por otro, determinar medidas preventivas para que los hechos estudiados no vuelvan a producirse de nuevo.

Tenemos la necesidad en la industria de realizar actividades o procesos de una mejor manera, a fin de disminuir repeticiones, errores, defectos o simplemente para ahorrar tiempo y costes. Por este motivo se toma tiempo para analizar detalladamente, por medio de diferentes herramientas, la causa que contribuye directamente a que un sistema falle.

El Análisis de Causa Raíz (ACR) es básicamente una serie de metodologías para establecer las causas que generan determinados fallos o no conformidades en la industria. Lo importante es usar un pensamiento objetivo para descifrar por qué algo salió mal.

Con relación al nacimiento de las herramientas para realizar un análisis de causa raíz (ACR) tenemos al Dr. Kaoru Ishikawa el cual afirmaba que la calidad debía ser llevada más allá del mismo trabajo, es decir, tenía que ser llevada a la vida diaria.

Del mismo modo Vilfredo Pareto, quien enunció por primera vez el principio de Pareto, el cual es conocido como la regla del 80-20, que nos enuncia que el 20 % de los defectos afectan en el 80 % de los procesos. También Alex Faickney Osborn ideó la herramienta denominada como lluvia de ideas (brainstorming), el objetivo principal de este método es producir una gran cantidad de ideas entre las que escoger y no encerrarnos en un pensamiento único.

3.1.Herramientas para el análisis de causa raíz.

No todos los procesos de producción y provisión de servicios son perfectos, durante su ejecución se presentan eventos no conformes que los frenan. Es necesario identificar correctamente la causa que originan los fallos en cada proceso de manera individual, a fin de poder implementar acciones correctivas y preventivas que las disminuyan o las eliminen completamente.

¿Por qué es necesario realizar el análisis de la causa raíz? Es necesario en la industria actual, ya que las empresas suelen responder a problemas con soluciones rápidas a medio término, sin embargo, depender de mejoras rápidas requiere que estas sean repetitivas. Para mejorar la eficiencia y rentabilidad, necesitamos observar más allá de la causa raíz del problema, observando el efecto de un problema, y deduciendo qué lo ha podido causar. Se pueden crear soluciones preventivas que deberían poner fin al problema, por lo tanto, se tendría que desarrollar un análisis de causa raíz.

Existen una serie de pautas o pasos para realizar un análisis de causa raíz, las cuales tienen el propósito de identificar la causa o las causas que inician las no conformidades que atacan a los procesos, estas pautas se enumeran a continuación:

1. **Identificar el problema:** Es el primer paso a llevar a cabo en el análisis de la causa raíz para ello es necesario poseer la información de las diferentes áreas problemáticas.
2. **Definir el problema:** Ahora nos ponemos manos a la obra en la definición del problema para ello usaremos el principio SMART (Específicos(s), Medibles(m), alcanzables(a), orientados a resultados(r), en un horizonte temporal concreto(t)) para localizar los objetivos de nuestra búsqueda de la causa raíz.
3. **Entender el problema:** Verificar la información, entender cuál es el asunto que tenemos que tratar, obtener información real relacionada con nuestro problema para conseguir esto usaremos diferentes técnicas ; causa-efecto , lluvia de ideas ...
4. **Identificar la causa raíz:** En este paso mediante todas las herramientas y técnicas usadas habremos conseguido llegar a la causa raíz de nuestra no conformidad.
5. **Realizar acción correctiva:** Este paso consiste en llevar a cabo acciones que ayuden a corregir nuestro defecto en el sistema, en el equipo o en la pieza defectiva. Podemos: implementar una acción inmediata ; implementaríamos medidas temporales en el área defectiva para solucionar el problema temporalmente, o podemos implementar una acción correctiva que determina y soluciona o ayuda a solucionar la causa más probable de nuestro problema.
6. **Monitorear el sistema:** Una vez que hemos conseguido solucionar el problema monitorearemos nuestro sistema en la zona defectiva para realizarle un mantenimiento preventivo de aquí en adelante y evitar futuros fallos.

3.2 Tipos de causas raíces

Las causas de los fallos pueden ser físicas, humanas u organizacionales. En general, pueden ser derivadas de procesos de deterioro por razones físicas o químicas, defectos de diseño, malas prácticas o fallos en el mantenimiento, baja calidad de materiales u otras razones organizacionales, como presionarse mucho en los objetivos de producción, así como de ejecución de trabajos por personal no cualificado, que conducen a las no conformidades.

- **Causas Raíces Físicas:** Es originado por el propio componente por tener un defecto físico, no es debido a ningún agente humano externo. Ejemplos de causas raíces físicas son el material de la empaquetadura inadecuado y el recubrimiento defectuoso de nuestro equipo que podría producir corrosión.
- **Causas Raíces Humanas:** Son originados por acciones humanas ,errores humanos. Por ejemplo, la selección inadecuada de la empaquetadura, la instalación de sellos de forma inadecuada y la aplicación inapropiada del recubrimiento, en este caso aunque físicamente todo garantice que no existirá fallo , el fallo humano a la hora de la ejecución genera un fallo no deseado.

- **Causa Raíces Latentes:** Las causas latentes son las decisiones conscientes tomadas con respecto a si se debe o no hacer ciertas cosas. La mayoría de las veces, estas causas son trazables a las personas y las políticas de la organización.

3.3 Técnicas para obtener la causa raíz

3.3.1 Técnica de los cinco (5) porqués

Los 5 porqués típicamente se refieren a la práctica de preguntar 5 veces ¿por qué el fallo ha ocurrido? A fin de obtener la causa o las causas raíz del problema. Ninguna técnica especial o formal es requerida, pero los resultados deben ser capturados en una hoja de trabajo. Los 5 porqués es una excelente técnica para abordar un simple análisis de causa raíz.

PROBLEMA A ESTUDIAR	W1	W2	W3	W4	W5	Resultado del Análisis
¿Por qué no escribe el bolígrafo?	Porque no tiene tinta	¿Y por qué no hay?: Porque no se ha repuesto	¿Y por qué no hay repuesto?: Porque nadie revisa el nivel			Incluir estándar de inspección
	Porque la tinta está seca	¿Y por qué está seca?: Porque la temperatura es elevada	¿Y por qué es elevada?: Porque se deja junto a una estufa	¿Y por qué se deja junto a una estufa?: Porque no hay otro sitio donde dejarlo	¿Y por qué no hay otro sitio?: Porque no hay portabolígrafo	Instalar un portabolígrafo
		¿Y por qué está seca?: Porque el bolígrafo se deja abierto	¿Y por qué se deja abierto?: Porque no existe especificación que indique su cierre			No influye que se quede abierto
	Porque su punta está chafada	¿Y por qué esta chafada?: Porque el bolígrafo se ha golpeado	¿Y por qué está golpeado?: Porque el bolígrafo se cae constantemente al suelo	¿Y por qué se cae?: Porque se cae de la mano de quien escribe		No ocurre
				¿Y por qué se cae?: Porque se resbala de la mesa	¿Y por qué se resbala?: Porque hay pendiente	Eliminar la pendiente de la mesa

Figura 4: Técnica de los 5 porqués.

3.3.2 Análisis de Pareto

El Análisis de Pareto es una técnica fácil que ayuda a elegir el cambio o mejora más efectiva a implementar. El principio de Pareto o la regla 80/20, utiliza la idea de que el 20

% de los defectos afectan en el 80 % de los procesos. Por lo tanto, si las soluciones se enfocan al 20% de los problemas más relevantes que afectan a los procesos, es seguro que el 80% de los procesos mejoraran considerablemente.

3.3.3 Diagrama de Causa-Efecto

El diagrama de Causa-Efecto, también conocido como diagrama de espina de pescado o Ishikawa, es una técnica bastante útil para realizar un análisis de causa raíz más compleja, profunda y detallada. Este tipo de diagrama identifica todos los potenciales factores que contribuyen a la generación de un problema en el proceso. En este diagrama se analizan factores como son los enumerados a continuación:

- Mano de Obra
- Método
- Máquina
- Material
- Medio ambiente
- Medición

3.3.4 Lluvia de ideas/Entrevistas

Muchas personas están familiarizadas con la técnica de lluvia de ideas y entrevistas, aquí se presentan algunas características :

- Recolecta tantas ideas como sea posible de parte de todos los participantes, sin criticar ni juzgar mientras las ideas son generadas.
- Todas las ideas son bienvenidas no importa lo inverosímiles o lejos que parezcan. Se creativo, mientras más ideas mejor, porque en este punto no sabes que podría funcionar.
- Ninguna discusión secundaria debería de tomar lugar durante la lluvia de ideas, ya que el momento de discutir las será al final cuando se haya completado la actividad.
- No criticar ni juzgar. Ni siquiera quejarse ni fruncir el ceño o reírse, ya que todas las ideas son iguales en este punto.
- No construyas en las ideas de otros.
- Escribe todas las ideas en una pizarra para que el grupo completo pueda visualizarlas, puedes usar el diagrama de Causa-Efecto para ayudar a capturar la información.
- Establece una hora límite para la lluvia de ideas, 30 minutos es casi suficiente.

3.3.5 Método de las 5 M's

El método de las “5M's” es un sistema de análisis estructurado que se fija cinco pilares fundamentales alrededor de los cuales giran las posibles causas de un problema. Estas “5M's” son las siguientes:

1. **Máquina:** Consiste en realizar un análisis de las entradas y salidas de cada máquina que interviene en el proceso, así como de su funcionamiento de principio a fin y los parámetros de configuración, permitirán saber si la causa raíz de un problema está en la máquina. A veces no es fácil, sobre todo cuando intervienen máquinas complejas y

no se puede acceder fácilmente al interior de los equipos o no se tiene un conocimiento profundo de sus mecanismos.

2. **Método:** Nos cuestionaremos el método o la forma de hacer las cosas. Cuando se diseña un proceso, existen una serie de circunstancias (conocimiento, tecnología, materiales,...) que pueden variar a lo largo de la vida útil de nuestra maquinaria y no ser válidos a partir de un momento dado. Un sistema que antes funcionaba, puede que ahora no sea válido, por lo que tenemos que estar pendientes de los diferentes cambios e innovaciones en la industria.
3. **Mano de obra:** El personal puede ser el origen de un fallo. Existe el fallo humano, que todos conocemos.
4. **Medio ambiente:** Las condiciones ambientales pueden afectar al resultado obtenido y provocar problemas. Valorar las condiciones en las que se ha producido un fallo es bastante importante ya que diferentes fallos pueden aparecer debido a agentes exteriores ambientales determinados.
5. **Materia prima:** Los materiales empleados en nuestro sistema o equipo es otra de las cosas a tener muy en cuenta. Para ello las empresas deben de poseer un buen sistema de trazabilidad a lo largo de toda la cadena de suministro y durante el proceso de almacenaje lo que permitirá tirar del hilo e identificar materias primas que pudieran no cumplir ciertas especificaciones o ser defectuosas y ser ellas la causa raíz de nuestro problema estudiado.

4 ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS

4.1 Reseña Histórica.

La disciplina del AMEF fue desarrollada en el ejército de la Estados Unidos por los ingenieros de la National Agency of Space and Aeronautical (NASA), la primera aparición del AMFE es de noviembre de 1949, cuando el ejército de Estados Unidos desarrolló un procedimiento militar titulado “Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis MIL-P-1629” (Procedimientos para realización de análisis de modo de fallo, efectos y criticidad); era usado como técnica de evaluación de la confiabilidad para determinar el efecto de los fallos en equipos o sistemas. En este documento, los fallos se clasificaban utilizando como criterio su impacto en el éxito de una misión y la seguridad del personal y equipos.

En la década de los 60 la aplicación del AMFE fue ganando terreno en la industria aerospacial, siendo la más importante el programa espacial Apollo, donde se utilizó con el objetivo de eliminar fallos en los equipos críticos que no podrían repararse después del lanzamiento y que influirían en la confiabilidad del sistema y en la seguridad de la tripulación

Otras industrias aplicaron tempranamente el análisis AMFE fueron la aviación civil a través del “Design Analysis Procedure for Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA) ARP4761”, publicado por la Society for Automotive Engineers SAE en 1967 y la industria automotriz iniciado por la Ford Company a mediados de los 70.

Ya en 1980 AMFE es elevado a norma militar norteamericana a través del documento MIL-STD-1629A. En 1993, la Automotive Industry Action Group AIAG publicó una norma para el uso del análisis AMFE en la industria automotriz; al año siguiente, la SAE publicó la norma “Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design, Potential Failure Mode and Effects

Analysis in Manufacturing and Assembly Processes, and Potential Failure Mode and Effects Analysis for Machinery SAE J-1739”.

Actualmente, el AMEF se ha popularizado en todas las empresas automovilísticas americanas y ha empezado a ser utilizado en diversas áreas de una gran variedad en empresas a nivel mundial.

4.2 ¿Qué es un AMEF?

El Análisis de modos y efectos de fallas, AMEF, consiste en un proceso para la identificación de los fallos potenciales del diseño de un producto antes de que éstas ocurran, con el propósito de erradicarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas una vez que éstas ocurran.

Por lo tanto, el AMEF es un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, los objetivos principales son:

- Conocer y evaluar las formas de fallos potenciales y las causas asociadas con el diseño y la manufactura del producto.
- Determinar los efectos de los fallos potenciales en el sistema.
- Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la probabilidad de que ocurra el fallo potencial en nuestro sistema.
- Analizar la confiabilidad del sistema , para poder conocer mejor nuestro equipo.
- Documentar el proceso.

4.3 Necesidades del AMEF.

Para hacer un AMEF se requiere los siguientes puntos:

- Un equipo de personas con el compromiso de mejorar la capacidad de diseño del producto para satisfacer las necesidades del cliente.
- Diagramas esquemáticos y de bloque de cada nivel del sistema, tener estos esquemas nos ayudaran en el conocimiento de nuestro sistema y podremos concretar las causas de fallos de forma mas fácil.
- Especificaciones de los componentes, lista de piezas y datos del diseño. Debemos tener un inventario o una guía con todos estos datos técnicos.
- Requerimientos de manufactura y detalles de los procesos que se van a utilizar.
- Formas de AMEF (en papel o electrónicas).

4.4 Beneficios Del Amef.

La eliminación de los modos de fallos potenciales tiene beneficios tanto a corto como a largo plazo. A corto plazo, representa ahorros de los costes de reparaciones, las pruebas repetitivas y el tiempo de paro. El beneficio a largo plazo es mucho más difícil medir puesto que se relaciona con la satisfacción del cliente con el producto y con su percepción de la calidad; esta percepción afecta las futuras compras de los productos y es decisiva para crear una buena imagen de los mismos.

El análisis AMFE presenta varias ventajas, entre las cuales se pueden anotar:

- Reducción de los fallos de los productos y procesos.
- Reducción de los costes de garantía.

- Aumento de la fiabilidad de los productos.
- Aumento de la satisfacción de los clientes al recibir productos de alta calidad y fiabilidad.
- Señala características que se deben controlar en los procesos.
- Proporciona información útil para el desarrollo de programas de pruebas y criterios para monitoreo.

5 ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLOS

5.1 Reseña histórica.

El método de análisis de árbol de Fallo fue concebido y utilizado por vez primera en 1962 por H. A. Watson, de Bell Telephone Laboratories, en relación con un contrato de Air Force para evaluar las condiciones de seguridad de los sistemas de tiro de los misiles ICBM Minuteman.

Entendieron que la mayoría de accidentes resultan de fallos internos al sistema. Un sistema consta de personas, equipo, material y factores ambientales. Este sistema realiza tareas específicas con métodos recomendados. Los componentes de un sistema y su ambiente están relacionados, y un fallo con cualquier parte puede afectar las demás partes y esto es muy importante a tener en cuenta en el análisis de árbol de fallos.

5.2 Pasos a seguir en el análisis de árbol.

El FTA consta los pasos siguientes:

1. Definir el evento superior: Para definir el evento superior, se tiene que identificar el tipo de fallo que se va a investigar. Esto podría ser lo que haya sido el resultado final de un incidente.
2. Determine los eventos no deseados en la operación de un sistema: Separe en una lista los eventos en grupos con características comunes. Varios árboles de fallos tal vez sean necesarios para estudiar un sistema completamente.
3. Conocer el sistema: Se debe estudiar y analizar toda la información disponible del sistema y su agente exterior , ambiente, con ellos tendremos una plena información de mi sistema.
4. Construir el árbol: En este paso es en el que usamos símbolos y la construcción práctica del árbol de fallos es muy sencilla.
5. Validar el árbol.
6. Evaluar el árbol.
7. Considerar cambios constructivos.
8. Considerar alternativas y recomendar medidas.

Empresa:
Unidad:
Título: Rotura depósito amoníaco.

ARBOL DE FALLOS

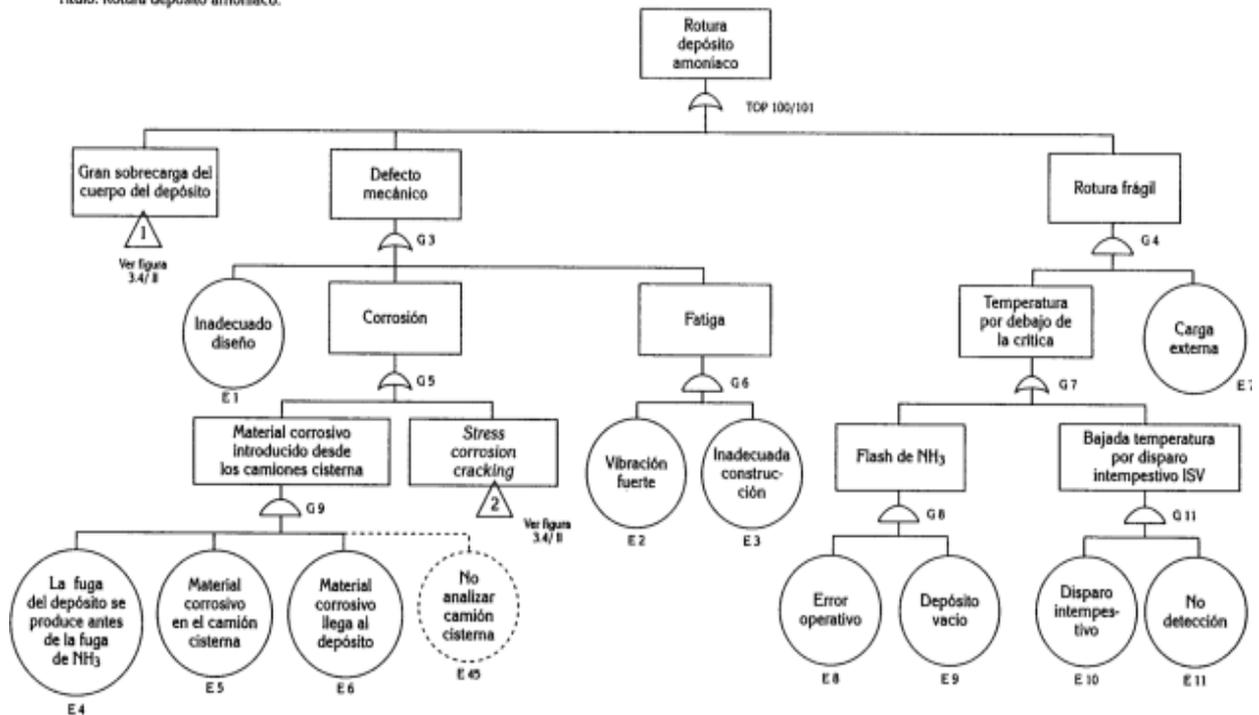


Figura 5: Ejemplo de árbol de fallos.

5.3 ¿Qué es el análisis de Árbol de Fallos (A.A.F)?

La técnica del Análisis del árbol de falla es un método que nos permite identificar todas las posibles causas de un modo de fallo en un sistema en particular. Además nos proporciona una base para calcular la probabilidad de ocurrencia por cada modo de fallo del sistema.

Mediante un A.A.F podemos observar en forma gráfica la relación lógica entre un modo de fallo de un sistema en particular y la causa básica de fracaso.

Con una acertada aplicación de esta técnica se pueden determinar los elementos potencialmente críticos durante la temprana etapa de diseño, mientras que cuando se requiere un análisis más profundo del sistema en la etapa de detalle del diseño, aplicamos el AMEF. Los A.A.F nos proveen de una base objetiva para analizar el diseño de un sistema, analizando casos comunes o modos de fallas comunes.

5.4 Beneficios del Análisis del Árbol de Fallos

- Lleva al analista a descubrir el fallo de una forma deductiva.
- Indica las partes del sistema que son importantes debido a que en las mismas se localizan los fallos de interés.
- Proporciona medios claros, precisos y concisos de la información del fallo.
- Aporta un significado cualitativo y cuantitativo de análisis de confiabilidad.
- Permite no malgastar esfuerzos, al concentrarse en un modo de fallo del sistema o los efectos que genera éste genera.
- Permite identificar posibles problemas de confiabilidad.
- Habilita fallos que pueden ser evaluados.

6 MÉTODO DE LAS 8D

6.1 Reseña histórica

El Gobierno de los EEUU fue el primero que utilizó un proceso parecido al 8D, su objetivo era el mismo que de los métodos anteriores determinar una metodología estandarizada para la resolución de los fallos.

Durante la Segunda Guerra Mundial, se le llamó Military Standard 1520: Corrective action and disposition system for nonconforming material.

La metodología 8D, tal y como hoy la conocemos, la documentó Ford Motor Company en 1987, pasando antes por muchos modelos intermedios: entre los 60 y 70 hubo un D4, también se llamó Team Oriented Problem Solving a un D7, etc. Transcurridos unos años, en los noventa, se fijó su nombre a Global 8D y se ha convertido en un estándar en la industria del automóvil, del ensamble y en otras industrias que necesitan de un método estructurado como la alimentaria y la textil.

6.2 ¿Qué es el método de las 8D?

Las 8D son una metodología para la resolución de problemas, que mediante la constitución de un equipo “competente” y siguiendo un proceso de análisis y toma de decisiones estructuradas en 8 pasos, permite resolver los problemas, focalizándose en los hechos (objetividad) y no en las opiniones (subjetividad).

Se denomina 8D porque son 8 disciplinas las que el equipo debe poner en práctica si quiere resolver con éxito los problemas.

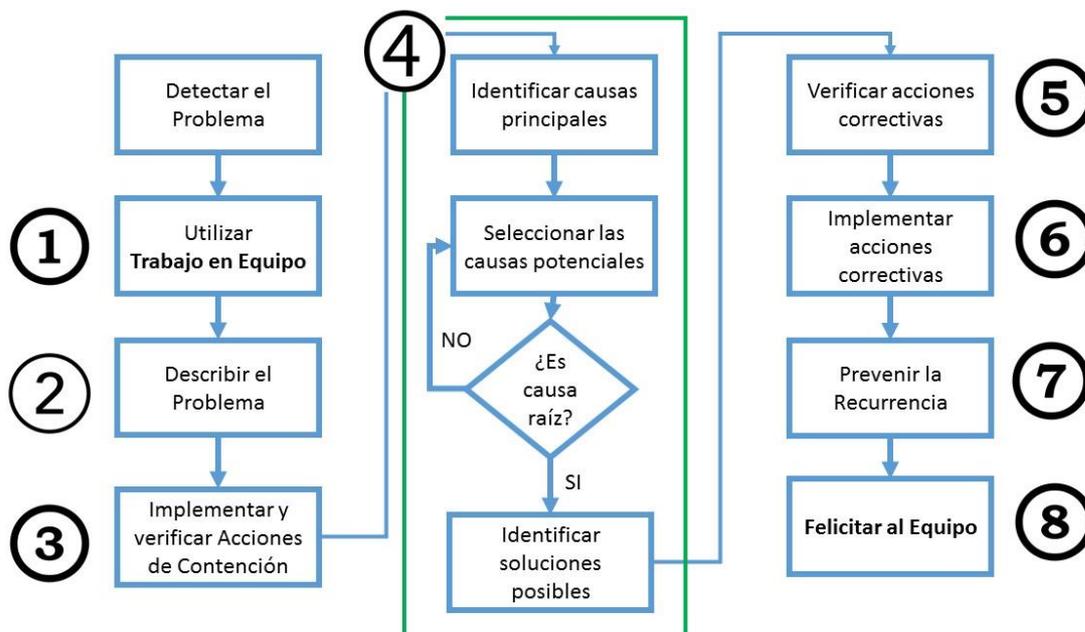


Figura 6: Método de las 8D.

6.3 Las ocho disciplinas del 8D.

▪ **Disciplina 1: Construir el equipo**

Se trata de constituir un grupo de personas, no muy grande, que aglutine las habilidades técnicas, la experiencia y la autoridad necesaria como para poder gestionar la resolución de los problemas y la implementación de soluciones.

A la hora de constituir el equipo nos tenemos que asegurar que las personas seleccionadas pueden disponer del tiempo necesario para asistir a las sesiones de trabajo así como que quieran trabajar tras un objetivo común.

▪ **Disciplina 2: Describir el problema**

Para poder arreglar algo previamente tenemos que saber lo que no funciona, de este modo, cuanto más clara y concisa sea la descripción del problema que se está presentando, mayores serán las posibilidades de resolverlo.

El uso de un árbol de fallos o la estratificación mediante Pareto son buenas formas de describir nuestro problema.

▪ **Disciplina 3: Implementar una solución correctiva provisional**

Como la implantación de una solución definitiva puede no ser inmediata, la idea es conseguir una solución provisional que evite que los problemas vayan a más y permita ganar tiempo para obtener más conocimientos de la causa del fallo.

Pero no debemos quedarnos solo en la acción provisional. Debemos acompañar esta acción con un seguimiento sobre su efectividad para de este modo asegurarnos que las cosas no empeoraran antes de conseguir la solución definitiva.

▪ **Disciplina 4: Identificar la causa raíz**

Generalmente cuando se presenta un problema rápidamente se nos presentan en la cabeza muchas posibles causas. Pero lo cierto es que solo unas pocas de ellas son las verdaderas culpables del problema, la clave por tanto está en descubrir cuál o cuáles son esas causas.

La técnica de los 5 porqués o el diagrama de causa-efecto (Ishikawa) nos serán de mucha utilidad.

▪ **Disciplina 5: Determinar las acciones correctivas definitivas**

Identificada la causa raíz del problema, o causas, se deben de formular las soluciones permanentes a las mismas, para ello se suelen utilizar las siguientes técnicas:

- Brainstorming
- Técnicas asociadas a la Selección y Priorización, Análisis NPR (Severidad, Probabilidad, Detección).

El NPR es un número que se calcula basándose en la información que se obtiene respecto a:

- Los modos potenciales de fallo y los efectos.
- La capacidad del proceso para detectar los fallos antes de que lleguen al cliente.

Se calcula como el producto de tres calificaciones cuantitativas, relacionadas cada una a los efectos, causas y controles:



Figura 7: cálculo del NPR.

Severidad: Es la estimación de la gravedad del efecto del modo de fallo del cliente.
Ocurrencia: Es la probabilidad de que una causa específica, resulte en un modo de fallo.
Detección: Es un valor para clasificar la probabilidad de encontrar el fallo antes de que llegue al cliente.

El resultado final de esta etapa debe ser la elaboración de un plan de acción en el que se detalle para cada solución lo que se debe hacer, quien lo debe de hacer y en qué plazo lo debe de hacer.

- **Disciplina 6: Implementar una solución permanente**

En este punto se trata de ejecutar el anterior plan de acción para implementar las diferentes acciones correctivas permanentes. Por otro lado también se debe hacer un seguimiento sobre la eficacia de estas soluciones y de este modo asegurarnos de que no vuelven a aparecer fallos similares.

- **Disciplina 7: Evitar que el problema se repita**

Hay que prevenir que la crisis vuelva a aparecer de nuevo. Por ello suele ser recomendable actualizar todo lo relacionado con el proceso: procedimientos de control, manuales de entrenamiento, especificaciones, comunicación. Tenemos que dotar a nuestro equipo de la información necesaria para que no vuelva a ocurrir.

- **Disciplina 8: Celebrar el éxito**

Comunicar al equipo que quien ha logrado los resultados han sido el conjunto del equipo en ningún momento debe olvidarse. Es por esto por lo que es recomendable encontrar fórmulas de reconocimiento a dicho trabajo, como por ejemplo comunicar el éxito obtenido al resto de la empresa y reconocer el esfuerzo.

7 DIAGRAMA ISHIWAKA O FISHBONE

7.1 Reseña histórica

Dr. Kaoru Ishiwaka(1915-1989) Fue el precursor de los conceptos sobre la calidad total en Japón. Posteriormente tuvo una gran influencia en el resto del mundo, ya que fue el primero en resaltar las diferencias culturales entre las naciones como factor importante para el logro del éxito en calidad. Era un gran convencido de la importancia de la filosofía de los pueblos orientales. Ishikawa estaba interesado en cambiar la manera de pensar de la gente respecto a su trabajo. Para él, la calidad era un constante proceso que siempre podía ser llevado un paso más. Hoy es conocido como uno de los más famosos "Gurús" de la calidad mundial.

El control de calidad, término tan usado hoy en día en toda la industria, fue un planteamiento de Ishikawa, más de 50 años atrás, en la Japón de la postguerra. El control de la calidad en pocas

palabras fue definido por él como "Desarrollar, Diseñar, Manufacturar y Mantener un producto de calidad". Él no quería que los directivos de las compañías se enfocaran solamente en la calidad del producto, sino en la calidad de toda la compañía, incluso después de la compra. También predicaba que la calidad debía ser llevada más allá del mismo trabajo, a la vida diaria.

7.2 ¿Qué es el diagrama de ishiwaka?

El diagrama ishiwaka se conoce también con el nombre de causa-efecto, o como el “diagrama de espina de pescado”. Éste diagrama es una herramienta de análisis que nos permite obtener una foto detallada y de fácil visualización, de las diversas causas que pueden originar un determinado problema. Suele aplicarse a la investigación de las causas de un problema, mediante la incorporación de opiniones de un grupo de personas directa o indirectamente relacionadas con el mismo. Por ello, está considerada como una de las 7 herramientas básicas de la calidad, siendo una de las más utilizadas, sencillas y que ofrecen mejores resultados. Debe quedar claro que el diagrama causa-efecto no es una herramienta para resolver un problema, sino únicamente explicarlo, esto es, analizar sus causas (paso previo para poder corregirlo). Es una herramienta muy interesante para analizar todo tipo de problemas producidos en los procesos de producción o de servicio.

7.3 Metodología

Los pasos a seguir a la hora de analizar un problema mediante la técnica del diagrama causa-efecto son los siguientes:

7.3.1 Previamente a la reunión de análisis

1. Se determina definitivamente el problema a analizar. Debe ser un problema único y bien concretado, aunque puedan intervenir diversas causas para explicarlo.
2. Elegir el grupo de personas que deben intervenir en el análisis. Normalmente serán personas relacionadas con el problema directa o indirectamente, de forma que todas ellas puedan aportar ideas y ayudar en la resolución de las causas de éste problema..
3. Convocar al grupo, anunciándoles el problema concreto que se va a analizar (para que vayan pensando en el mismo)

7.3.2 En la reunión de análisis

1. El grupo de analistas aporta opiniones, de forma ordenada, sobre las posibles causas que cada uno da para dicho problema. El coordinador del grupo va anotándolas una a una en la pizarra donde se anotan todas las ideas.
2. Una vez agotadas las opiniones, el coordinador del grupo dibuja el diagrama base en una pizarra suficientemente amplia para poder escribir en ella todas las causas posibles. A continuación, se identifican los grupos de causas en que éstas pueden clasificarse. A cada uno de estos factores se les asigna una flecha que se lleva hasta la espina principal del pescado. Habitualmente, los factores suelen definirse como las “4 emes” o “5 emes”, dependiendo del contexto:

1era M: Máquinas

2da M: Mano de obra

3a M: Método

4a M: Materiales

5a M: Medio (entorno de trabajo)

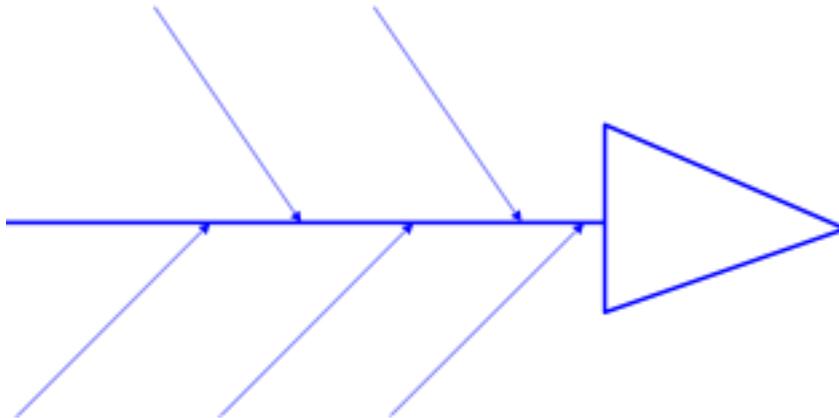


Figura 8: Diagrama ishiwaka.

3. A continuación, el coordinador, con la colaboración de los integrantes del grupo, asigna cada una de las causas identificadas a uno de los títulos de causas definidos, utilizando flechas paralelas a la espina central y escribiendo de nuevo la causa al lado de cada flecha.

Durante el proceso, pueden aparecer causas que lo sean, a su vez, de otras causas. Cuando esto sucede, pueden añadirse flechas que entronquen estas “subcausas” con las correspondientes a las causas principales, y así sucesivamente. De esta forma, se ramifica el diagrama de forma directamente proporcional a la capacidad del grupo de encontrar causas para el problema planteado.

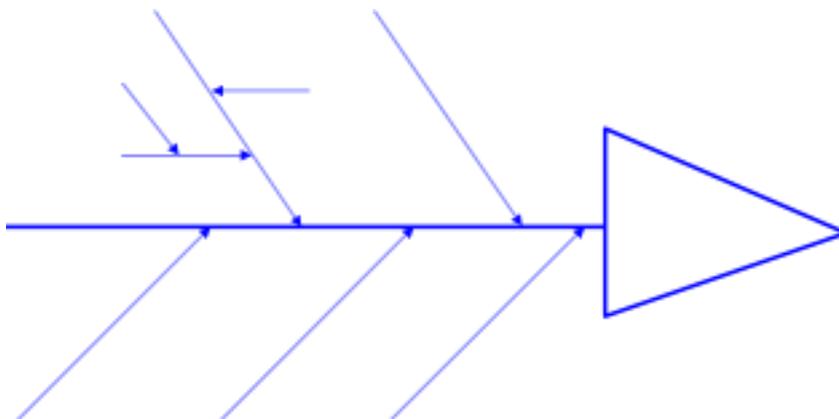


Figura 9: Diagrama ishiwaka con subcausas.

- Finalmente, se determina cuál es el orden de importancia de las causas identificadas. Para ello, se hace una votación entre los participantes el conjunto de causas identificadas.
- Una vez hecha la votación, se rodean con un círculo las dos o tres causas más votadas. Estas serán las primeras contra las que se debemos actuar y sobre la que pondremos el foco para obtener las medidas correctoras que están fuera ya de este método.

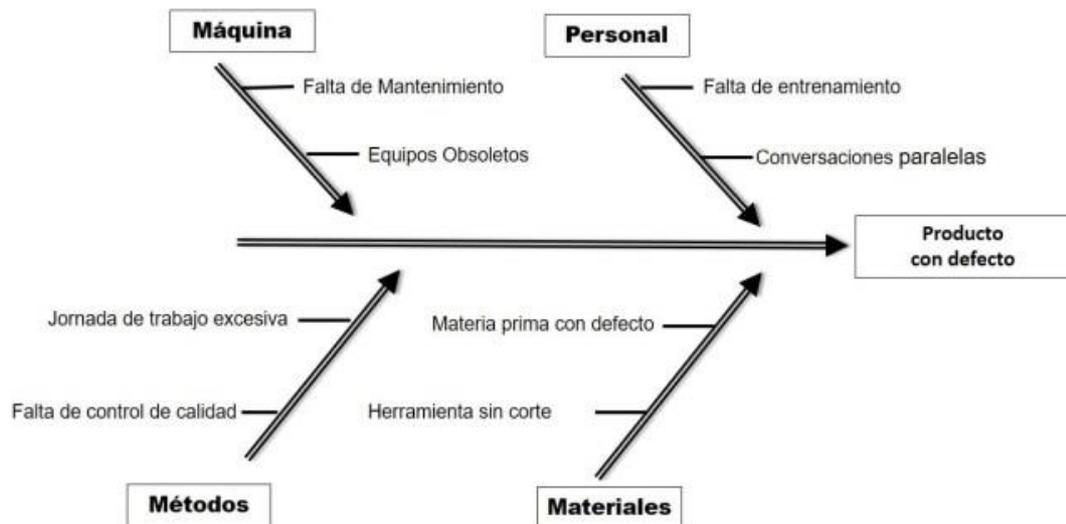


Figura 10: Ejemplo diagrama de ishiwaka.

7.4 Beneficios del diagrama de causa y efecto

- Determinar las posibles causas de un problema.
- Agrupar estas causas en diferentes categorías o grupos que me permiten ordenarlas.
- Guiar las posteriores acciones correctoras hacia las causas identificadas (especialmente si se identifican las causas principales) esto lo hacemos con la votación en la parte final.
- Proporcionar un nivel común de comprensión. Al final de la reunión, el diagrama causa-efecto es el mismo para todos, con independencia de las causas que cada uno, individualmente, fuese capaz de identificar ya que es un trabajo que se hace entre todos y cada uno de los analistas.
- Reflejar la diversidad de las ideas del equipo. Cuanto más ramificado esté un diagrama causa-efecto, será señal de una mayor diversidad de causas identificadas.

En definitiva, es una herramienta que fomenta el pensamiento creativo de los componentes de la empresa y el trabajo en equipo, aplicando estos principios al análisis de problemas en la empresa.

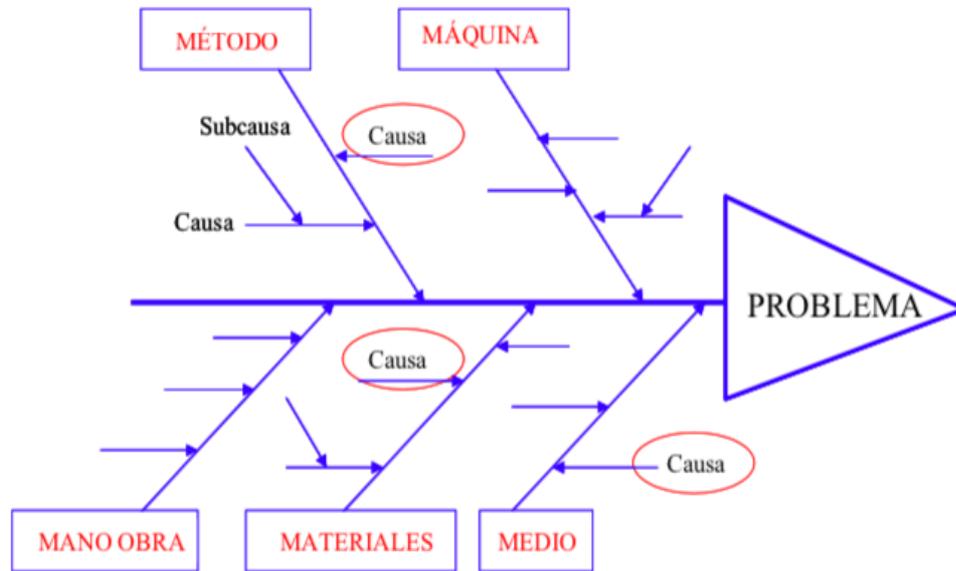


Figura 11: Diagrama ishiwaka completo.

8 SIX SIGMA

8.1 Reseña histórica

La historia de Six Sigma se inicia en Motorola cuando un ingeniero (Mikel Harry) comienza a influenciar a la organización para que se empezaran a estudiar las variaciones en los procesos, como una manera de mejorar los mismos. Estas variaciones son lo que estadísticamente se conoce como la desviación estándar (alrededor de la media), la cual se representa por la letra griega sigma. Esta iniciativa se convirtió en el punto central del esfuerzo para mejorar la calidad en Motorola, capturando la atención del entonces CEO de Motorola: Bob Galvin. Con el apoyo de Galvin, se hizo énfasis no sólo en el análisis de la variación sino también en la mejora continua, estableciendo como objetivo obtener 3,4 defectos (por millón de oportunidades) en los procesos; algo casi cercano a la perfección.

Esta iniciativa llegó a oídos de Lawrence Bossidy, quién en 1991 y después de una exitosa carrera en General Electric, toma las riendas de Allied Signal para transformarla de una empresa con problemas en una máquina exitosa. Durante la implantación de Seis Sigma en los años 90, Allied Signal multiplicó sus ventas y sus ganancias de manera drástica. Este ejemplo fue seguido por Texas Instruments, logrando el mismo éxito.

8.2 ¿Qué es el six sigma?

El Six Sigma es una forma muy inteligente de mejorar la calidad en una empresa. Six Sigma pone por delante al cliente y usa hechos objetivos y datos para impulsar mejores resultados. Los objetivos de Six Sigma se dirigen a tres áreas principales:

- Mejorar la satisfacción del cliente
- Reducir el tiempo del ciclo
- Reducir los defectos

Las mejoras en estas áreas representan importantes ahorros de costes, oportunidades para retener a los clientes, capturar nuevos mercados y construirse una reputación de empresa de excelencia.

Podemos definir Six Sigma como:

1. Una medida estadística del rendimiento de un proceso o producto.
2. Un objetivo de lograr casi la perfección mediante la mejora continua del rendimiento.
3. Un sistema de dirección para lograr un liderazgo duradero en el negocio y un desempeño de primer nivel en un ámbito global.

La letra griega minúscula sigma se usa como símbolo de la desviación estándar, siendo ésta una forma estadística de describir cuánta variación existe en un conjunto de datos, es decir, obtener sólo x defectos por millón de oportunidades o actividades.

La estrategia Six Sigma usa herramientas estadísticas dentro de un método ordenado el conocimiento necesario para lograr de una mejor manera, más rápido y al más bajo costo, productos y servicios que la competencia.

Se caracteriza por la continua y disciplinada aplicación de una estrategia maestra "proyecto por proyecto" tal como lo recomienda Joseph Juran en su trilogía de la calidad, donde los proyectos son seleccionados mediante estrategias clave de negocios, lo cual conduce a recuperar la inversión realizada y obtener mayores márgenes de utilidad.

8.3 Etapas del método six sigma (DMAIC)

Se conoce como DMAIC por las iniciales del nombre de las etapas y son las siguientes:

Etapas DMAIC:

- **D (DEFINIR)**
 1. Se identifican los posibles proyectos.
 2. Deben ser evaluados para evitar la inadecuada utilización de recursos.
 3. Se prepara y se selecciona el equipo más adecuado para la realización.

- **M (MEDIR)**
 1. Caracterización del proceso identificando los requisitos clave de los clientes, las características clave del producto y los parámetros que afectan al funcionamiento del proceso y a las características o variables clave.

- **A (ANALIZAR)**
 1. Evaluación de los datos de resultados actuales e históricos.

2. Se desarrollan y comprueban hipótesis sobre posibles relaciones causa-efecto.
- **I (MEJORAR)**
 1. Determinación de la relación causa-efecto para predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso.
 2. Determinación del rango operacional de los parámetros o variables de entrada del proceso.
 - **C (CONTROLAR)**
 - Diseñar y documentar los controles necesarios para asegurar que lo conseguido mediante Seis Sigma y que se mantenga una vez que se hayan implementado los cambios.

Nivel sigma	Defectos por millón	% de eficiencia
6 σ	3,4	99,99966 %
5 σ	233	99,98 %
4 σ	6.210	99,4 %
3 σ	66.807	93,3 %
2 σ	308.538	69,1 %
1 σ	691.462	30,9 %

Figura 12: Nivel sigma y el número de defectos por millón.

9 QUICK RESPONSE QUALITY CONTROL (QRQC)

9.1 ¿Qué es el QRQC?

El Control de Calidad de Respuesta Rápida (QRQC – Quick Response Quality Control) es un método sencillo de mejora continua para el control de la calidad usado en empresas que necesitan gestionar sus procesos y resolver problemas de forma rápida. Su uso está muy extendido en empresas industriales.

Este método se suele usar en industrias donde el tiempo es de vital importancia, en las que no podamos permitir tener paradas las líneas de producción mucho tiempo, o porque los costes derivados de fallos son muy elevados.

9.2 ¿Cómo funciona el QRQC?

QRQC se basa en un ciclo similar al Ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Controlar y Actuar), donde primeramente se detectan las no conformidades, se comunican y estudian, posteriormente se implantarán las medidas correctoras y finalmente se verificará que no vuelvan a suceder.

9.2.1 Detección de incidencias

Cuando se detectan incidencias (fallos, problemas, no conformidades, desviaciones...) se debe comunicar y empezar a comprobar y decidir si es lo bastante grave como para tener que detener la industria de su producción, o bien si se puede continuar con la producción.

En el caso de problemas que sean importantes o repetitivos, se debe obtener toda la información posible del problema para permitir posteriormente analizar y comprobar los datos y obtener soluciones.

9.2.2 Comunicar las incidencias

Importante también es comunicar las incidencias a los que se dediquen al control de las mismas en la empresa. Esta comunicación tiene que ser de forma inmediata si la incidencia es grave, o puede ser apuntada y comunicada posteriormente si es leve pero no se desea que se vuelva a repetir, la rapidez a la hora de comunicar la incidencia dependerá de lo crítico que sea ese problema para mi equipo.

Se deben realizar reuniones cada cierto tiempo con los implicados en los procesos clave. A estas reuniones deben acudir los responsables de las actividades y el personal implicado que tenga conocimientos de los fallos e incidencias, y propuestas de mejora. De estas reuniones deben salir soluciones y propuestas, que serán apuntadas en fichas para poder controlarlas posteriormente. Las fichas deben incluir una descripción del problema, su nivel de importancia, los usuarios afectados y las acciones propuestas.

9.2.3 Analizar y decidir las acciones a tomar

Cada vez que se detecta una incidencia relevante que pone en peligro el funcionamiento del equipo, se deben tomar acciones. Estas acciones pueden ser de 2 tipos:

1. Determinar qué hacer con los productos que han salido defectuosos y las no conformidades.
2. Determinar acciones para que el fallo no se vuelva a repetir “acción correctiva”.

Una vez elegida ya la corrección o la acción correctiva, se deberá implantar y observar como esta medida esta mejorando nuestro equipo. Para que podamos diferenciar entre corrección y acción correctiva proponemos el siguiente ejemplo, si se da un fallo en el que en una línea de producción la máquina encargada de pintar una superficie metálica no ha funcionado bien un 5% de las veces durante la última semana, la “corrección” sería revisar todas las piezas producidas y volver a pintar las que estén defectuosas, y la acción correctiva sería hacerle un mantenimiento correctivo a la máquina de pintura para que no vuelva a darse el problema, o incluso sustituirla

por otra o añadir un control de calidad después del pintado para comprobar que este ha sido correcto.

9.2.4 Verificar la eficacia

Por último, hay que comprobar que la corrección ha cumplido su propósito. Del mismo modo, si se ha realizado una acción correctiva es recomendable esperar un tiempo prudencial y luego verificar su eficacia, comprobando que el problema no vuelve a suceder.



Figura 13: Modelo de QRQC.

10 RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD)

10.1 Reseña histórica

En la II Guerra Mundial se produjo un cambio drástico en la economía y la industrialización mundial ya que aumentó la necesidad de productos de toda clase y la mano de obra industrial disminuyó considerablemente. Esto provocó que hubiera un gran aumento de la mecanización, por lo que en esta etapa la producción comenzó a depender cada vez más de los equipos y las máquinas. La idea de que los fallos se podían y debían prevenir e intentar de corregir dio como resultado el concepto de mantenimiento preventivo, que en los años 60 consistía principalmente en revisiones completas de los equipos a intervalos programados, estas eran bastante lentas y retrasaban la producción pero evitaban las paradas por averías.

El RCM es un proceso desarrollado durante los años 60's y 70's con la finalidad de ayudar a las empresas a determinar las posibles consecuencias de fallos o como solucionarlos basándose en el mantenimiento.

Este proceso tuvo la primera aparición en la industria de la aviación comercial internacional de Estados Unidos, llevado a cabo por la necesidad de optimizar la fiabilidad, y ha ido evolucionando de forma continua desde sus inicios en 1960 hasta nuestros días.

Fue un gran éxito la implantación del RCM en la industria aeronáutica. En un periodo corto de tiempo posterior a su puesta en marcha, las aerolíneas comerciales no experimentaron incremento en los costes en el mantenimiento, aun cuando el tamaño y la complejidad de las aeronaves cada vez eran mayores, así como los costes de operación se incrementaron durante el mismo periodo y también se incrementaron los récords de seguridad de las aerolíneas debido al uso del RCM.

10.2 ¿Qué es el RCM?

El mantenimiento centrado en fiabilidad ,RCM (Reliability Centered Maintenance) es una de las técnicas organizativas actuales aplicadas al mantenimiento que mejora de forma más eficaz los resultados de la empresa.

Es un proceso con el que podemos determinar cuáles son las operaciones que debemos hacer para que un equipo o sistema continúe desempeñando las funciones deseadas, siempre y cuando sean rentables para la empresa.

El mantenimiento centrado en fiabilidad como hemos visto en el punto anterior ha sido desarrollado para y por la industria de la aviación civil hace más de 30 años. El proceso permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para mejorar las no conformidades que pudieran aparecer. El RCM es utilizado en miles de empresas alrededor de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos. La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM.

La norma SAE JA1011, de AGO 2009, establece que para que un proceso sea reconocido como RCM debe seguir los siete pasos en el orden que se muestra a continuación:

- Delimitar el contexto operativo, las funciones y los estándares de desempeño deseados asociados al activo (contexto operacional y funciones).
- Determinar cómo un activo puede fallar en el cumplimiento de sus funciones (fallos funcionales).
- Definir las causas de cada fallo funcional (modos de fallos).
- Describir qué sucede cuando ocurre cada fallo (efectos de fallos).
- Clasificar los efectos de los fallos (consecuencias del fallo).
- Determinar qué se debe realizar para predecir o prevenir cada fallo (tareas e intervalos de tareas).
- Decidir si otras estrategias de gestión de fallos pueden ser más efectivas (cambios de una sola vez).

Fallos Funcionales

Un fallo funcional se define como “un estado en el cual un sistema no es capaz de ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado”. Es fundamental tener una comprensión perfecta de las funciones de los activos y el nivel de rendimiento deseado. La norma SAE requiere que se identifiquen todos los estados de fallos asociados con cada función para que podamos identificar todas las causas relevantes.

Modos de fallo

Un modo de fallo es un evento único, que provoca un fallo funcional y cada modo de fallo normalmente tiene una o más causas. La norma recomienda no ser demasiado superficial en el nivel de causalidad de los modos de fallo. Cuando se enumeren los modos de fallo considerar:

Efectos de Falla

Los efectos de fallo cuantifican el “daño” que cada evento en particular puede causar a la empresa. Se recomienda describir “lo que ocurre cuando se produce el modo de fallo”. La norma recomienda varias consideraciones relevantes para ayudar a entender que tan grave pudiera ser cada causa del fallo particular. Los efectos de fallo ayudan a determinar hasta qué punto cada modo de fallo es relevante teniendo en cuenta lo siguiente:

- ¿Hay alguna evidencia de que ha ocurrido el fallo?
- ¿Cuál es el impacto potencial que tiene el fallo en la seguridad del personal?
- ¿Cuál es el impacto potencial que tiene el fallo en el medio ambiente?
- ¿Cómo se ve afectada la producción o las operaciones?
- ¿Hay algún daño físico causado por el fallo?
- ¿Hay algo que deba hacerse para restaurar la función del sistema después del fallo?

Consecuencias del Fallo

Los efectos de los fallos se clasifican en categorías basadas en la evidencia que se tiene de éstas, impacto en la seguridad, en el medio ambiente, en la capacidad operacional y los costos. Como cada paso dentro del proceso de RCM, la determinación de la consecuencia del fallo es fundamental.

10.3 Tipos de mantenimiento

Podemos clasificar los tipos de mantenimiento así:

- Mantenimiento predictivo, también llamado mantenimiento a condición.
- Mantenimiento preventivo, que puede ser de dos tipos: sustitución o reacondicionamiento cíclico.
- Mantenimiento correctivo, también llamado trabajo a la rotura.
- Mantenimiento detectivo o de búsqueda de fallos.

- **El mantenimiento predictivo o a condición**

El mantenimiento predictivo o mantenimiento a condición consiste en la búsqueda de síntomas que permitan identificar un fallo antes de que tenga lugar. Ejemplos; la inspección visual , el monitoreo de vibraciones, ultrasonidos, chequeos periódicos. Tienen en común que la decisión de realizar o no una acción correctiva depende de la condición medida.

- **El mantenimiento preventivo o de sustitución o reacondicionamiento cíclico**

El mantenimiento preventivo se refiere a aquellas tareas de recambio hechas a intervalos fijos independientemente del estado del elemento o componente, es decir no depende del desgaste del material sino que se hacen de forma preventiva y periódica. Estas tareas solo son válidas si existe un patrón de desgaste :es decir, si la probabilidad de fallo aumenta rápidamente después de superar la vida útil del elemento.

- **El mantenimiento correctivo o trabajo a la rotura**

Si se decide que no se hará ninguna tarea predictiva o preventiva para mejorar una no conformidad, sino que se reparará la misma una vez que ésta ocurre, entonces estamos hablando de mantenimiento correctivo. ¿Cuándo conviene este tipo de mantenimiento? Cuando el coste del fallo (directos e indirectos) es menor que el coste de la prevención, o cuando no puede hacerse ninguna tarea predictiva o preventiva y no se justifica realizar un rediseño del equipo. Esta opción sólo es válida en caso que la fallo no tenga consecuencias sobre la seguridad o el medio ambiente.

- **El mantenimiento detectivo o de búsqueda de fallos**

El mantenimiento detectivo o de búsqueda de fallos consiste en el ensayo de dispositivos de protección bajo condiciones controladas , para asegurarse que estos dispositivos serán capaces de aportar la protección pedida cuando sean necesarios. La principal diferencia con los demás tipos de mantenimiento son las siguientes: En el mantenimiento detectivo no se está reparando un elemento que falló como en el mantenimiento correctivo, tampoco se está cambiando ni reacondicionando un elemento antes de su vida útil lo que hace el mantenimiento preventivo, ni tampoco se están buscando síntomas de que un fallo está a punto de ocurrir eso forma parte del mantenimiento predictivo. Por lo tanto, el mantenimiento detectivo es un cuarto tipo de mantenimiento. A este mantenimiento también se le llama búsqueda de fallos o prueba funcional.

La implementación del RCM debe llevar a equipos más seguros y confiables, reducciones de costes (directos e indirectos), mejora en la calidad del producto, y mayor cumplimiento de las normas de seguridad y medio ambiente. El RCM también esta asociado a beneficios humanos, como mejora en la relación entre distintas áreas de la empresa, fundamentalmente un mejor entendimiento entre mantenimiento y operaciones.

11 ANÁLISIS DE PARETO

11.1 Reseña histórica

En 1909 el economista y sociólogo Vilfredo Pareto (1848 – 1923) publicó los resultados de sus estudios sobre la distribución de la riqueza, observando que el 80% de la misma se encontraba concentrada en el 20% de la población.

A finales de los años 30, durante una visita a la central de General Motors Corporation para el intercambio de buenas prácticas de ingeniería industrial, Juran tuvo la oportunidad de conocer los trabajos de Pareto sobre la distribución de la riqueza.

Más adelante Juran, mientras preparaba la primera edición de su obra Manual de Control de la Calidad, se vio ante la necesidad de dar un nombre corto al principio de “los pocos vitales los muchos triviales”. Bajo el título “La mala distribución de las pérdidas de calidad”, en el que figuraban numerosos ejemplos de mala distribución, señaló que Pareto había encontrado mal distribuida la riqueza.

Asimismo, mostró ejemplos de curvas acumulativas para la desigual distribución de la riqueza y la desigual distribución de las pérdidas de calidad. Tituló esas curvas como principio de Pareto de la distribución desigual aplicado a la distribución de la riqueza y la distribución de las pérdidas de calidad y por ello toma parte importantes en el análisis de fallos y en la calidad en general.

11.2 ¿Qué es el análisis de Pareto?

El Análisis de Pareto constituye un sencillo y gráfico método de análisis que permite diferenciar entre las causas más importantes de un problema (los pocos y vitales), y las que lo son menos (los muchos y triviales).

La relación 80/20 se ha encontrado en distintos campos. Por ejemplo, el 80% de los problemas de una organización son debidos a un 20% de las causas posibles. El 80% de los defectos de un producto se debe al 20% de causas potenciales. El 80% del absentismo, es causado por un 20% de empleados...

Evidentemente, la relación no debe ser exactamente 80/20. Pero sí se puede aventurar que unas pocas causas son responsables de la mayor parte de los problemas y en esto se basa el análisis de Pareto para el análisis de fallos.

▪ Ventajas

1. Permite focalizar los aspectos cuya mejora tendrán más impacto en el sistema.
2. Proporciona una visión sencilla de la importancia de los problemas.
3. Evita que empeore el sistema al empezar tratando las cosas mas importantes antes que las menos importantes.
4. Es fácil de entender y comprender cosa que estimula al equipo.

▪ Utilidades

1. Determinar cual es la causa clave de un problema separándolas de las menos importantes
2. Decidir de forma sencilla cual será el objetivo de las acciones de mejora

3. Contrastar la efectividad de las mejoras obtenidas.
4. Fácil comunicación a los demás responsables de la empresa.

11.3 Metodología análisis de pareto

Los pasos a seguir para la elaboración de un diagrama de Pareto son.

1. Selección de los datos.

Aquellos que se van a analizar. También el periodo de tiempo al que se refieren dichos datos.
2. Agrupar los datos.

Se agrupan según categorías, de acuerdo con un criterio determinado.
3. Tabular los datos.

Comenzando por la categoría que contenga más elementos y, siguiendo en orden descendente,
4. Dibujar el diagrama de Pareto.

Ahora, se dibuja el diagrama, sus ejes de ordenadas y abscisas.
5. Representar en un gráfico de barras.

En esta representación, el eje horizontal aparecerá también en orden descendente.
6. Delinear la curva acumulativa.

Se dibuja un punto que represente el total de cada categoría. Tras la conexión de estos puntos se formará una línea poligonal.
7. Identificar el diagrama.

Se etiquetan los datos como: título, fecha de realización, periodo estudiado,...
8. Analizar el diagrama de Pareto.

Finalmente, se analiza el diagrama de Pareto.

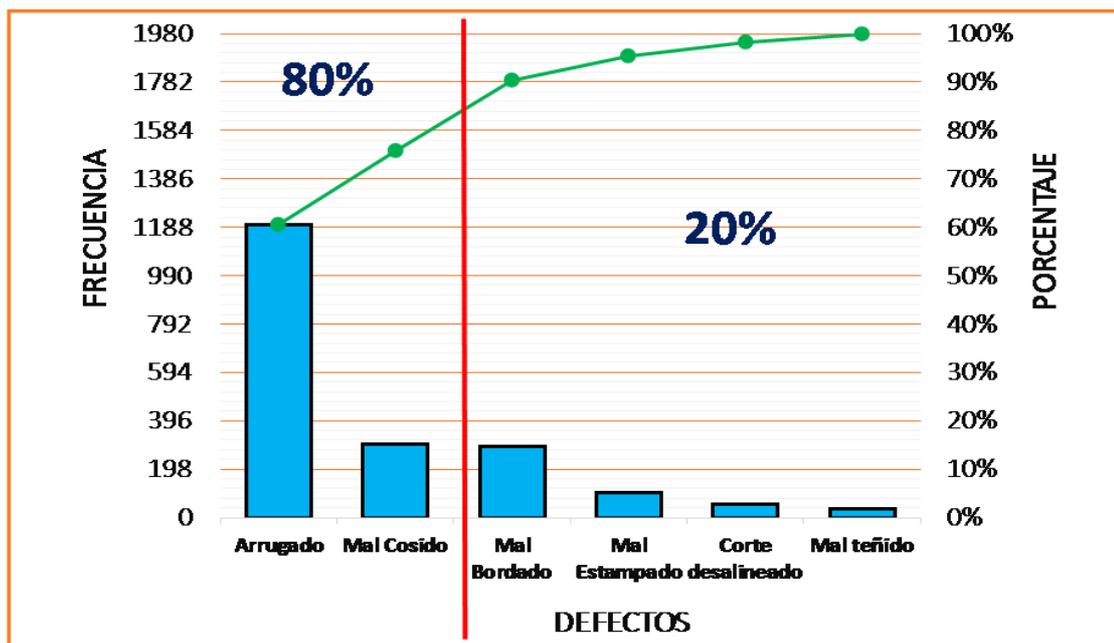


Figura 14: Ejemplo Análisis de Pareto.

12 SIL (NIVEL INTEGRAL DE SEGURIDAD)

12.1 ¿Qué es el SIL?

El Safety Integrity Level, abreviado SIL, en español «Nivel de Integridad de Seguridad» se define como un nivel relativo de reducción del riesgo que provee una función de seguridad. La Integridad de la Seguridad, se define como: “La Probabilidad de que un Sistema relacionado con Seguridad realice adecuadamente la totalidad de las Funciones de Seguridad requeridas bajo todas las circunstancias establecidas y durante el Período de Tiempo Especificado.

Los requisitos para un SIL determinado no son consistentes a lo largo de todos los estándares de seguridad funcional. En los estándares de seguridad europeos se definen 4 SILs, siendo el nivel 4 el más severo y 1 el más bajo. El SIL se determina a partir de un número de factores cuantitativos en combinación con factores cualitativos.

12.2 Metodología del SIL

- **Método Cuantitativo descrito en la norma IEC 61508**

Este método depende de la empresa u organización donde se utilice, el cual esta basado en las estrategias corporativas o legales de la empresa, país o estado en el cual se encuentra la empresa que determinara el nivel SIL Objetivo.

Generalmente se obtienen estos valores de tablas o matrices que muestran la frecuencia de un evento y sus consecuencias.. Es común encontrar diferentes matrices dependiendo del país, compañía, tipo de industria, criterios corporativos, la determinación del nivel de riesgo tolerable requiere de un profundo conocimiento de los peligros y riesgos en la industria y contar con empresas especializadas dedicadas a fijar los criterios de frecuencia y consecuencia

Frecuencia	Consecuencia			
	Catastrófico	Critico	Marginal	Despreciable
Frecuente	I	I	I	II
Probable	I	I	II	III
Ocasional	I	II	III	III
Remoto	II	III	III	IV
Improbable	III	III	IV	IV
Increíble	IV	IV	IV	IV

MATRIZ #1 CLASIFICACION DEL RIESGO DE ACUERDO A IEC 61508

Figura 15: Clasificación del riesgo de acuerdo a IEC 61508.

El paso final es el cálculo de la Reducción de Riesgos Necesarios para cumplir con el riesgo tolerable. Éste se obtiene al dividir el número de veces por año que la Función Instrumentada de Seguridad (SIF) falla entre el número de demandas por año. El resultado obtenido es el “Número Aceptable de Veces que la SIF puede Fallar por Año” que viene siendo la Probabilidad de Fallo sobre Demanda (PFD), el nivel SIL es fijado de acuerdo a la siguiente imagen, y bajo los criterios de un experto.

Nivel de Integridad de Seguridad NIL (SIL)	Probabilidad de Fallo Sobre Demanda Promedio (PFDave)
4	$\leq 10^{-5}$ a $< 10^{-4}$
3	$\leq 10^{-4}$ a $< 10^{-3}$
2	$\leq 10^{-2}$ a $< 10^{-3}$
1	$\leq 10^{-1}$ a $< 10^{-2}$

MATRIZ #2 NIVELES DE INTEGRIDAD DE SEGURIDAD

Figura 16: Niveles de integridad de seguridad.

▪ **Método de Matriz de Riesgo**

El método de la matriz de riesgo o matriz de peligros es uno de los más populares ya que es muy simple de utilizar, éste utiliza la frecuencia y la consecuencia para determinar cualitativamente el nivel SIL, fijando una categoría para cada relación existente en la matriz. La siguiente figura muestra esta relación.

		Consecuencia (Severidad)		
		Menor	Serio	Extenso
Fr e- c u e n c i a	Alta	SIL2	SIL3	SIL3
	Me- dia	SIL1	SIL2	SIL3
	Baja	NR	SIL1	SIL3

MATRIZ #3 MATRIZ FRECUENCIA CONSECUENCIA

Figura 17: Matriz frecuencia-consecuencia.

Tipo de Evento	Posibilidad/ Rango Cualitativo
Eventos como múltiples fallas en diversos instrumentos, válvulas, múltiples errores humanos en un ambiente libre de tensiones o fallas en equipos de proceso.	Bajo
Eventos como fallas en instrumentos y válvulas en redundancia, o liberación de productos en áreas de carga y descarga de productos	Medio
Eventos como fugas en proceso, fallas de instrumentos y válvulas simples o errores humanos que generan una pequeña liberación de productos.	Bajo
Los sistemas deberán de estar de acuerdo a normas que indican que una función de control debe de fallar con una frecuencia menor de 10 E-1 por año	

TABLA #1 FRECUENCIA DE UN EVENTO PELIGROSO DE ACUERDO A IEC 61511

Figura 18: Frecuencia de un evento peligrosos de acuerdo a IEC 6151.

13 LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL EN EL DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE FALLOS

En el esfuerzo por focalizar y localizar una reseña histórica a todos los procesos por los que a diario usan las empresas en el análisis de fallos es muy importante para ello el de reseñar la revolución industrial.

La revolución industrial fue un proceso de grandes transformaciones económicas y sociales que tuvieron inicio en Inglaterra en el siglo XVIII. esta revolución se extendió por gran parte del hemisferio norte durante todo el siglo XIX y principios del siglo XX. Fueron grandes innovaciones que se gestaron en la industria y que permitieron inicialmente un gran avance en la Europa del siglo XIX. El uso de la máquina en los procesos mejoró notablemente la productividad en las fábricas, lo que trajo consigo un progreso rápidamente. La industria textil, metalúrgica y química tuvo un gran crecimiento en Inglaterra y Europa durante este Siglo. El trabajo manual fue sustituido por las máquinas, y la fuerza humana y animal, así como la de los elementos naturales, dejó paso a las nuevas fuentes de energía. Las principales industrias afectadas fueron la textil, la metalúrgica y la química. La característica principal de la revolución industrial fue la creación del sistema de fábrica mecanizada, es decir, las fábricas se habían trasladado de la producción fabricada simple a la compleja con la sustitución del trabajo manual por las máquinas. Esta sustitución implicó la aceleración de la producción de mercancías, que se produjeron a gran escala. Esta época es importantísima porque se pasó de un mundo rural a un mundo industrial.

13.1 Las Etapas

▪ Primera revolución industrial

La primera revolución industrial que tuvo lugar en la mitad del siglo XVIII y XIX tiene como principal característica la aparición de la mecanización.

La invención de máquinas, el aprovechamiento de la energía calorífica del carbón mineral y su transformación en energía mecánica para hacer funcionar las máquinas representaron un gran avance en las técnicas empleadas para la fabricación de mercancías y consecuentemente, en el aumento de la producción.

▪ Segunda revolución industrial

Esta es una nueva etapa de crecimiento económico, caracterizada por el crecimiento científico-técnico que facilitó un rápido desarrollo de todos los medios de producción y de nuevas formas de organizar la producción y el trabajo. Esta nueva etapa en el desarrollo económico de las potencias industriales se prolongó hasta el estallido de la Primera Guerra Mundial en 1914. Esta segunda Etapa de la revolución se caracterizó por la mejora de la producción gracias a la incorporación de nuevas fuentes de energía como la electricidad y el petróleo, la obtención de nuevos materiales como el acero y la aplicación de nuevas formas de trabajo como la automatización y el trabajo en cadena.. Con estos dos métodos se aumentó la producción, se redujeron gastos y se abarató el precio final de los productos. Finalmente, la utilización del cemento armado (permitió que la ingeniería y la industria de la construcción alcanzaran un gran desarrollo. Este hecho hizo posible la edificación de puentes, viaductos y túneles más largos.

▪ Tercera revolución industrial

La tercera revolución industrial se inició a mediados del siglo XX. Fue entonces cuando ocurrió un gran avance en la ciencia, la tecnología y con la llegada del ordenador, la creación de internet, la robótica y la electrónica. En la ciencia cabe destacar el desarrollo de la ingeniería genética y la biotecnología, con la producción en masa de varios medicamentos y los avances médicos. Otro hito importante de esta fase fue la conquista del espacio, cuando Neil Armstrong llegó a la luna en 1969, revelando la fuerza y logros tecnológicos de los recursos humanos.

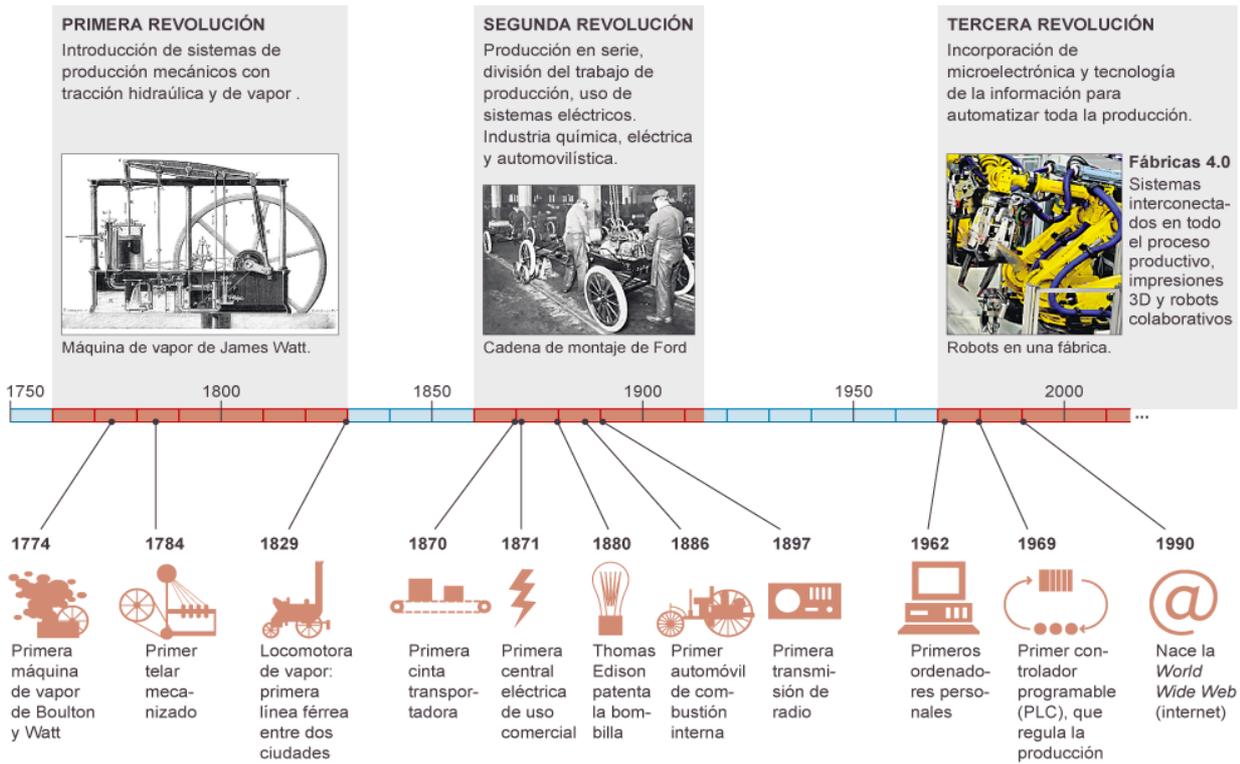


Figura 19: Primeras tres etapas de la revolución industrial.

En la actual Cuarta Revolución Industrial, están tomando gran importancia las nuevas tecnologías como el Big Data, la Inteligencia Artificial, el Internet de las cosas(IoT), la fabricación aditiva, la realidad aumentada, entre otras, que están difuminando las barreras entre lo físico y lo digital. La gran diferencia de la Cuarta Revolución del resto de ellas es que, ésta última no es causa del cambio sino consecuencia. El cambio en el consumo supone que ya no nos es suficiente con que el producto sea lo más barato posible, sino que además el producto debe adaptarse a todo lo que necesitamos como consumidores y lo que demandamos según nuestros gustos. Todo a un solo clic y con envío gratuito. Y es esto justamente el gran cambio que ha obligado a las empresas a buscar soluciones más ágiles y rápidas que den respuesta a sus clientes, ahora hiperconectados. Desde el punto de vista de la industria, el cambio no solo consiste en la eterna búsqueda de ahorrar costes de producción sino que ahora además deben responder de forma rápida y personalizada a sus consumidores. La solución la han encontrado en la digitalización de todo; desde el diseño a la manufactura. La digitalización trae consigo un hecho clave, y es que al estar todo conectado, se genera una cantidad infinita de datos que son de gran utilidad para conocer más y mejor tanto la cadena de producción como al cliente.

Anteriormente, si se presentaba algún problema en pleno proceso de fabricación, toda la cadena debía detenerse, evaluar dónde estaba el fallo, arreglarlo, y ponerlo en marcha nuevamente. Esto suponía pérdidas económicas cuantiosas por cada minuto que la producción se detenía. Lo mismo ocurría cuando se debía hacer algún mantenimiento de las máquinas, siempre con fechas fijadas y sin tener en cuenta si realmente era necesario o no. Pues bien, la nueva industria conectada evitaría que los procesos se detuvieran. Si todo está comunicado, y se dispone de la información en tiempo real, somos capaces de modificar acciones y predecir fallos antes de que supongan un verdadero problema que cause que se detenga toda la producción. Gracias a las tecnologías Big Data somos capaces de llevar a cabo mantenimiento predictivo de las máquinas y de procesos, garantizando así mayor eficiencia dentro de la industria.

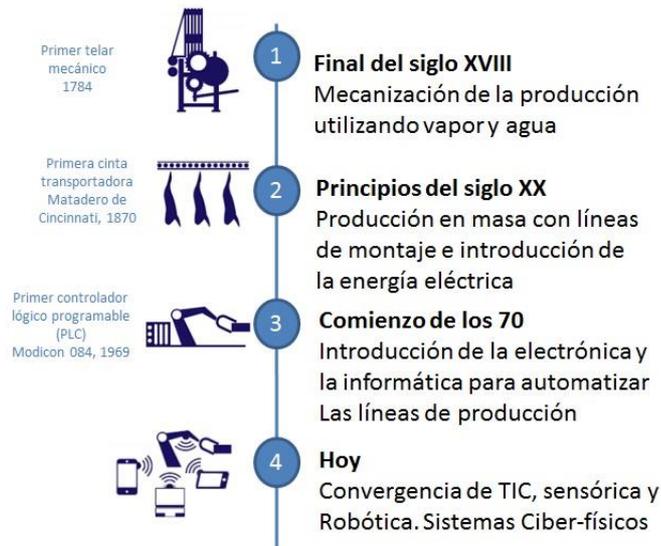


Figura 20: De la industria 1.0 a 4.0.

14 LA INDUSTRIA 4.0

La cuarta revolución industrial es lo que se conoce como fábrica conectada inteligente lo que llamaremos Industria 4.0. En definitiva se trata de una versión masivamente informatizada de la fábrica en la que todos sus procesos se encuentran conectados e interactúan entre sí. El principio de Industria 4.0 es que las máquinas se organicen por sí solas. Las cadenas de suministro se enlazan de forma automática y los pedidos se convierten directamente en datos para la fabricación. Los equipos de fabricación negociarán en un mercado virtual. El empleo masivo de sensores, la expansión de las redes y comunicaciones inalámbricas, el desarrollo de robots y máquinas cada vez más inteligentes, así como el aumento de la potencia computacional a bajo coste y el desarrollo del análisis big data serán las tecnologías base que transformarán la forma de producir.



Figura 21: Múltiples sensores en la industria 4.0.

Sin embargo para alcanzar estos beneficios, las empresas necesitarán invertir en equipamiento, en tecnologías de la información y comunicaciones y análisis de datos.

La dificultad de la industria 4.0 es generar un flujo continuo de información, que va a ser muy superior al empleado tradicionalmente. El intercambio de información se hace tanto a nivel interno como externo y en tiempo real. Las redes y los procesos se han limitado hasta ahora a una planta industrial. Pero en el escenario Industria 4.0 la comunicación es instantánea y se eliminan los límites de la planta industrial individual para extender la interconexión a múltiples factorías e incluso regiones geográficas. Las necesidades particulares de los clientes pueden contemplarse a través de algún grado de personalización o de adaptación. Igual ocurre en el caso de proveedores y la logística de la empresa asegurando plazos de entrega y adaptándose a situaciones cambiantes. Así se hace posible manejar una producción a gran escala, con productos fabricados según necesidades particulares, y a la vez, sin mantener voluminosos stocks.

Las tecnologías base en las que se apoyará la Industria 4.0 son:

1. Internet de las cosas (IoT)
2. Sistemas ciber-físicos (CPS)
3. La Nube
4. Ciberseguridad
5. Big Data
6. Realidad Aumentada
7. Simulación
8. Fabricación Aditiva
9. Robots

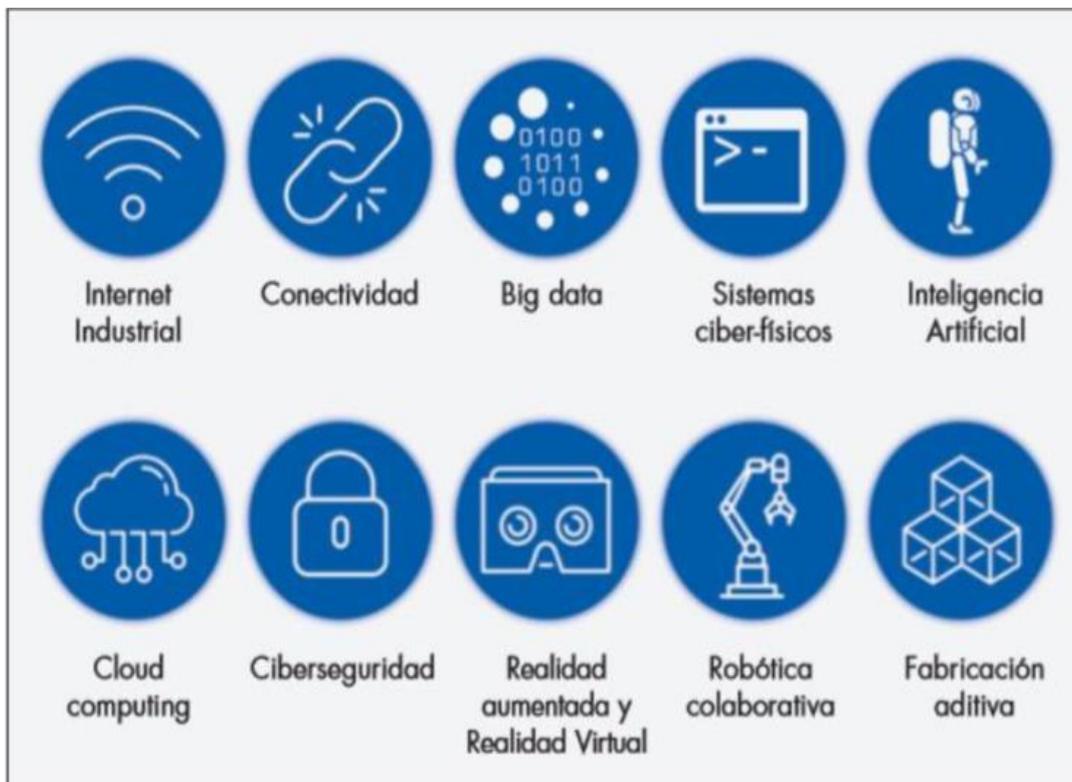


Figura 22: Tecnologías base de la industria 4.0.

▪ **Internet de las Cosas (IoT)**

En el estamento más bajo de la pirámide de la automatización están los sensores y actuadores, y a continuación los PLC que comunican con un sistema de control de los procesos de fabricación de más alto nivel. Con este avance cada vez más dispositivos dispondrán de elementos de procesamiento empotrados y estarán interconectados de forma que podrán interactuar entre ellos y con los controladores más centralizados si es necesario. El IoT tendrá un efecto enorme sobre el campo de las tecnologías de fabricación. El equipamiento de fabricación conectado, cadenas logísticas conectadas, sistemas ciber-físicos, y la analítica big-data de procesos de producción ayudarán a mejorar la forma en que las piezas son producidas. Será de gran importancia para el análisis de fallos ya que con estos sensores que llevarán empotradas cada una de las piezas de una cadena de montaje, podremos conocer en qué eslabón de la cadena comenzó a aparecer el fallo y así acotar el problema.

▪ **Sistemas Ciber-físicos (CPS)**

Los sistemas ciber-físicos constituyen una nueva generación de Tecnologías Informáticas y de las Comunicaciones. Una generación que se caracteriza por el estrecho vínculo de los sistemas de procesamiento empotrados con los procesos físicos que controlan.

Los sistemas ciber-físicos son similares a la arquitectura básica del internet de las cosas, sin embargo, éstos sistemas incluye una mayor vinculación y coordinación entre los elementos físicos y de procesamiento. Se trata de ecosistemas integrados por dispositivos que interactúan con el mundo físico, pero interpretándolo y aprendiendo de las interacciones que se producen por lo que también se plantean de vital importancia en el análisis de fallos en la industria y de forma muy importantes en los departamentos de calidad de las empresas.

▪ **La Nube**

Se utilizará cada vez más la nube para dar soporte a la multitud de sensores y dispositivos junto con las enormes cantidades de datos que generan ya que serán de una gran dimensión todos estos datos, para evitar que los sistemas se ralenticen se emigrarán a la nube todos estos datos de forma que los tengamos siempre a mano y no nos ralenticen nuestros sistemas. Muchos sistemas de supervisión y de control ya trabajan en la nube. A medida que la tecnología mejores y se alcancen tiempos de respuesta de milisegundos la mayoría de los sistemas migrarán a la nube.

▪ **Ciberseguridad**

La ciberseguridad en la Industria 4.0, con miles de millones de dispositivos conectados y canales de comunicación entrelazados, es crítica y de vital importancia, ya que la confidencialidad de los millones de datos que poseen las industrias dependen de la ciberseguridad. Con la llegada de Industria 4.0, basada en la interconexión, serán imprescindibles unas comunicaciones fiables y seguras así como sofisticados controles de acceso de los usuarios.

▪ **Big Data**

El Big Data se ocupa de todas las actividades relacionadas con los sistemas que manipulan enormes conjuntos de datos: adquisición, almacenamiento, búsqueda, compartición, análisis, y visualización. No obstante Big Data a menudo se refiere simplemente a la utilización de métodos avanzados para extraer patrones repetitivos y estadísticos dentro de esos datos o algún tipo de información útil para modelos predictivos, poder guardar toda la información del trabajo de una

línea durante x tiempo es importante a la hora de saber por qué se produce el fallo en el sistema o los patrones de fallos que suelen seguir y también nos acerca a la causa del fallo.

El Big Data ha empezado a incorporarse a la industria donde permite aumentar la calidad de la producción, ahorrar energía y mejorar el servicio de las máquinas y equipamiento. Algunos fabricantes, a través de sensores como pueden ser cámaras de vision artificial, han sido capaces de identificar patrones en las materias primas que sus proveedores mandan a sus fabricas y que pueden generar productos defectuosos, esto permite detectar la materia prima defectuosa antes de entrar en la línea por lo que también será un ahorro para la empresa tanto económico como temporal.

▪ **Realidad Virtual**

Es la tecnología que permite la creación de escenarios virtuales con los cuales puede interaccionar el usuario. Estos escenarios virtuales tienden a desarrollarse de la forma más realista posible con objeto de que el usuario no perciba diferencias con el mundo real. La realidad virtual posibilita un desarrollo mucho más rápido al permitir a los ingenieros visualizar modelos 3D en tamaño real de los componentes o incluso del sistema al completo, mucho antes de que las piezas estén físicamente disponibles. Esto permite que se puedan realizar ensayos y saber si va a servir este diseño en la realidad antes de gastarse un solo euro.

▪ **Realidad Aumentada**

Es la integración de realidad virtual y la vida real. Se trata de aplicaciones que incorporan a la información del mundo real otra información en forma de gráficos, contenidos, sonidos,... que les llegan a los operarios a través de aplicaciones o de gafas de inteligencia artificial, precisa de sensores para integrar ambas informaciones. El usuario es capaz de distinguir la parte real de la virtual y gracias a tener toda la información posible ante él del sistema podrá ejecutar de forma más eficiente su trabajo e incluso poder participar en el análisis de fallos , al conocer la información tanto real como virtual de nuestro sistema.

▪ **Simulación**

Los datos adquiridos de los diferentes elementos de la cadena de producción, permiten generar un modelo virtual de la totalidad o de una parte de esa cadena, lo que también posibilita generar simulaciones de procedimientos. Estas simulaciones dispondrán de los datos adquiridos en la planta física en tiempo real y lo podrán usar sobre un modelo virtual que puede incluir máquinas, productos y humanos para ver como reacciona ante los cambios que se producirán, por lo que también es una forma de ampliar la gestión de la calidad en la industria. Esto posibilitará a los operadores mejorar las máquinas haciendo pruebas rápidamente y de forma muy barata en el mundo virtual. Esto permitirá no solo reducir los tiempos de parada e incrementar la calidad.

▪ **Fabricación Aditiva**

La fabricación aditiva se basa en la sucesiva fabricación de pequeñas capas de material hasta lograr la pieza deseada. Existen diversas técnicas pero básicamente todas se basan en la creación de piezas a partir de un archivo CAD 3D, imprimiendo las sucesivas capas. Está vinculada a las TIC pues requiere del diseño digital de la pieza y de un sistema controlado para llevar a cabo la impresión.

▪ Robots

Los robots llevan ya muchos años realizando tareas a nivel industrial. En la actualidad, los robots están evolucionando para volverse más autónomos, flexibles y cooperativos.

El empleo masivo de sensores, la expansión de las redes y comunicaciones inalámbricas, el desarrollo de una nueva generación robots y máquinas cada vez más inteligentes, así como el aumento de la potencia computacional a bajo coste y el desarrollo del análisis big data serán las tecnologías base que transformarán la forma de producir en lo que es llamado la industria 4.0.

15 BIG DATA

El Big Data consiste en realizar toda clase de técnicas de tratamiento de grandes volúmenes de datos, fuera de los análisis y herramientas clásicas. Este concepto engloba muchas ideas y aproximaciones, pero todas con un objetivo común: extraer información de valor de los datos, de forma que pueda ser de ayuda para las decisiones y procesos de negocio.

El término Big Data hace referencia a la cantidad de datos que generamos con nuestras acciones o comportamientos o que genera una industria en su día a día, mediciones, horas punta de producción, fallos, paros del sistema... Debido a su gran volumen, complejidad y rápido crecimiento, nos encontramos con que su recopilación, gestión y análisis no es nada fácil ya que conforman una cantidad de datos muy pesada en la que es difícil decidir entre que datos debemos quedarnos para analizarlos mas en profundidad.

Estos datos que generamos no tienen valor en sí mismos si no se procesan. Es su análisis y la gestión de estos datos lo que nos aporta valor. A través del Big Data, podemos predecir flujos de comportamiento. Lo que importa no son los datos, si no lo que las empresas hacen con estos datos, ahí reside la clave del Big Data.

El big data al ser una herramienta de recolección y clasificación de datos es aplicable a diversos sectores no solo a la industria, el big data utiliza determinados algoritmos, combinándolos con variables y dispositivos que permiten detectar, por ejemplo, el rendimiento de las cosechas, problemas de salud pública, tendencias o flujos de mercado, número de personas que frecuentan una zona...

15.1 Las 5 V's del Big Data.

- **Volumen:** La cantidad de datos a tratar importa con el big data se tratarán grandes volúmenes de datos hasta Petabytes los cuales incluso estarán no estructurados ya que vendrán de diferentes sensores instalados por toda la empresa, lo que hace que el volumen sea una de las 5V's ya que forma un papel importante en el big data.
- **Velocidad:** La velocidad es al ritmo que se reciben los datos y al que se aplica una acción en el sistema gracias a la tecnología empleada podemos trabajar con todos esos datos de forma rápida, permitiendo obtener resultados en tiempo real, el tiempo forma un papel importante en la industria como sabemos por lo que la velocidad tendrá también una gran importancia en el big data ya que es de vital importancia tener todos los datos e informaciones en tiempo real.

- **Variación:** La variedad hace referencia a la gran cantidad de datos diferentes que vamos a recibir haciendo uso del big data gracias a algoritmos de machine learning podemos trabajar con datos de todo tipo (números, textos, vídeos, imágenes...) lo que significa un gran avance respecto a la industria hasta ahora ya que con los videos e imágenes se requiere un procesamiento dicional y diferente al de números y textos ya que el ordenador deberá sacar información para nosotros de una imagen o video.
- **Veracidad:** La veracidad también es de vital importancia porque a la hora de trabajar con tantos datos y fijarnos en patrones repetitivos de los mismos para analizar estos datos, es importante que esos datos sean correctos. En caso contrario los resultados no serán válidos.
- **Valor:** El valor a los datos se los debemos dar nosotros el big data solo nos aporta millones de datos que nosotros mediante el conocimiento del sistema y la estadística tenemos que sacar rendimiento a esos datos, si no , no estamos hablando de Big Data, los datos tiene un valor intrínseco pero el verdadero valor se lo damos nosotros.

Las soluciones basadas en Big Data tienen como objetivo extraer información de valor mediante el análisis de grandes conjuntos de datos. Estos análisis se fundamentan en técnicas matemáticas, generalmente basadas en la estadística, y que provienen de campos diversos como la minería de datos, el aprendizaje automático, el análisis de series temporales o la investigación operacional.

15.2 Clases de analítica con Big Data

La obtención de una gran cantidad de datos en una industria forma un papel muy importante en el análisis de fallos, a la hora de conseguir la causa raíz de un problema, con el objetivo de servir de ayuda en el análisis de fallo podemos clasificar diferentes analíticas que presentamos a continuación.



Figura 23: Diferentes tipos de analítica y su complejidad.

15.3 Analítica descriptiva/Diagnóstica

¿Qué ha pasado? /¿Por qué ha pasado? Es la pregunta que nos tenemos que hacer llegados a este punto, esta analítica consiste en almacenar y realizar agregaciones de datos históricos, visualizándolos de forma que puedan ayudar a la comprensión del estado actual y pasado de la industria. La analítica descriptiva nos cuenta cómo ha funcionado la empresa hasta la fecha y así tenemos el historial de fallos para poder usarlos y poder responder a la pregunta que nos hemos propuesto.

15.4 Analítica predictiva

¿Qué va a pasar? Se construye sobre la analítica descriptiva y usa modelos estadísticos avanzados para añadir a nuestra base de información datos que no conocemos. Esto se traduce en técnicas como la predicción de valores futuros, con ellos podemos saber cual va a ser el devenir de nuestra industria. De esta forma la analítica predictiva nos dice cómo va a funcionar nuestra empresa, por lo que nos podremos anteponer a futuros fallos y dificultades si ya las conocemos de antemano.

Para estimar esa información desconocida, la analítica predictiva utiliza una serie de técnicas entre las que destacan:

15.4.1 Clasificación automática

La clasificación automática se basa en la disciplina científica conocida como aprendizaje automático supervisado, que consiste en presentar diversos datos de clasificaciones pasadas, realizadas por expertos en el tema, a un sistema de clasificación. Dicho sistema analiza esos datos y, mediante algoritmos de aprendizaje estadístico, logra inferir el conocimiento del experto, imitando su labor.

El resultado de todo este proceso de aprendizaje es un sistema de clasificación con la capacidad de procesar grandes volúmenes de datos, y dar tiempos de respuesta mucho más rápidos que al hacerlo de forma manual manipulando datos. Además, el sistema es un elemento vivo, que ir actualizándose con nuevos datos para reajustar sus procesos de clasificación, garantizando así que se mantiene actualizado respecto a nuevas políticas de negocio o cambios de tendencia en los datos.

15.4.2 predicción

La capacidad de anticiparse a futuros cambios en la industria es fundamental para garantizar el éxito. Las técnicas de predicción tienen como objetivo acotar estas incertidumbres y poder predecir los fallos o defectos futuros de forma razonable y eficaz. Con procedimientos semejantes a los de la clasificación automática, las técnicas de predicción se basan en el aprendizaje automático supervisado y el estudio de series temporales. Estas técnicas analizan históricos de las métricas que hay que predecir y, mediante técnicas estadísticas, las relacionan con factores externos que puedan influenciarlas en un futuro. De este modo se construye un modelo predictivo capaz de estimar los valores más probables que tendrán estas métricas en el futuro próximo.

De forma similar a los sistemas de clasificación, un modelo de regresión es una solución viva, que puede realimentarse de forma continua con nuevos datos a medida que se van obteniendo, reajustándose así de manera automática a cambios en tendencias o fenómenos inesperados.

15.4.3 Segmentación automática

Debido a la gran cantidad de datos con los que vamos a trabajar en el big data de una industria va a ser muy frecuente no saber qué buscamos exactamente en los datos. Establecer unas categorías bien definidas o fijar unas métricas cerradas por las que clasificar y organizar los datos es una tarea muy complicada, aunque tengamos un objetivo claro en mente, pero hacerlo es de vital importancia a la hora de ordenar en nuestra mente que es lo que necesitamos de todos esos datos. Las técnicas de segmentación analizan grandes volúmenes de datos y detectan automáticamente grupos similares y los agrupan y de la misma forma se dan cuenta de todas las anomalías que pudiera tener el sistema.

Son herramientas de utilidad para:

- **Conseguir grupos afines**

conseguir grupos afines, que compartan características y patrones de fallos y poder irlos clasificando en grupos.

- **Localizar actividades anómalas**

Localizar actividades anómalas, fallos anómalos, diferentes a los normales, los que nos pueden llevar en nuestra búsqueda del fallo a la causa raíz de la anomalía.

- **Clasificar de forma automática**

Clasificar de manera automática las diferentes anomalías o grupos afines en conjuntos con temáticas similares.

15.5 Analítica prescriptiva

¿Qué hacer para que ocurra? Un sistema prescriptivo recopila información de la empresa, predice en base a dicha información qué impacto tendrán las diferentes acciones que se vayan a tomar, y escoge la acción que mayor cantidad de la inversión vaya a devolver como ganancias para la empresa mediante un proceso de optimización.

Cada negocio es diferente y, por tanto, no existe una solución de analítica prescriptiva general aplicable a todos. Es por ello que en el diseño de todo sistema prescriptivo se realiza una labor de consultoría, que es diferente en cada industria y empresa, diseñando un sistema de optimización a medida.

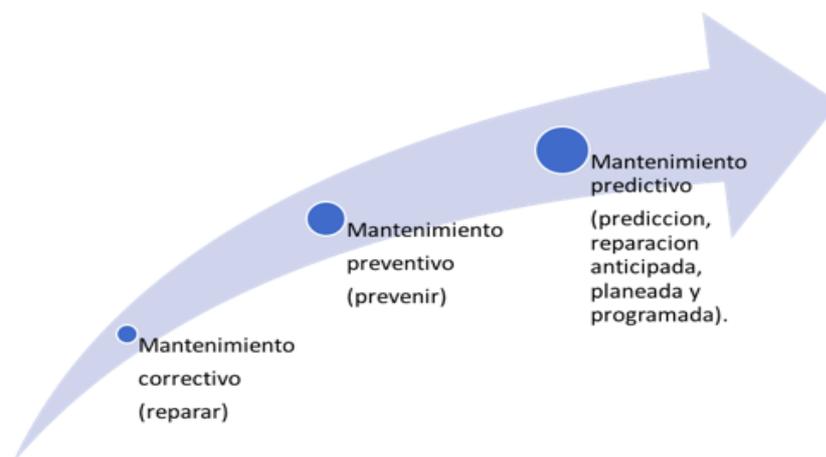


Figura 24: Tipos de mantenimiento.

15.6 Algunas aplicaciones del big data en empresas

Como hemos vistos el big data tiene una aplicación muy importante en la analítica de la búsqueda del fallo en la industria por los que tiene un papel importante en los métodos de análisis de fallos actuales, además tiene diversas aplicaciones en distintos campo que detallaremos a continuación, pondremos algunos ejemplos de cómo y para qué usan el big data algunas empresas en la actualidad.

- Meteorología

La predicción del tiempo en base al análisis de todos los datos recogidos en las estaciones de meteorología mundial. Los motores de predicción nos dan la predicción del tiempo, luego el sistema recoge a través de las estaciones de meteorología los datos reales y de nuevo el sistema realiza nuevos ajustes para tratar de mejorar la predicción, datos predictivos y reales están en plena simbiosis.

- Predicción del tráfico

Existen apps como Google maps en la que puedes comprobar como la ruta para desplazarse entre dos puntos concretos puede variar según la hora o el día. A través del análisis del geoposicionamiento de todos los usuarios de Google Maps y otros servicios de Android así como del histórico se predice el tráfico en ese momento en las diferentes rutas, optimizando así el cálculo de tiempos entre diferentes opciones para recortar tiempos en el desplazamiento.

- Recomendación de películas o series

En plataformas como Netflix o Amazon te recomiendan nuevas series o películas a tu gusto dependiendo lo que hayas visto o buscado antes, usan todos los datos que aportas una vez estas dentro de la plataforma.

- Sistemas Anti-Fraude

Detección de intentos de fraude por ejemplo en uso de tarjetas de crédito, identificando los patrones utilizados por los clientes en horarios, orígenes, tipología de compras, importes... pudiendo localizar anomalías. Existen diferentes plataformas ya en el mercado que se dedican a esto; iPrevent, esta plataforma es capaz de registrar y aprender los hábitos de comportamiento y consumo de los titulares de cada una de las tarjetas expedidas por una entidad bancaria. El objetivo: establecer líneas rojas que detecten posibles comportamientos anómalos en el uso de esas tarjetas, también iDetect es una herramienta capaz de detectar violaciones de datos personales o de seguridad relacionados con tarjetas de crédito.

- Predicción de valores en Bolsa

Es uno de los campos más intensivos en utilización del Big Data, con múltiples estrategias y algoritmos orientados a la identificación de patrones que predicen subidas o bajadas de cotización y que nos diran qué invertir y dónde invertirlo.

- Diagnóstico de enfermedades

Poseer datos a gran escala de salud permiten identificar patrones a través de variables de salud como son los síntomas, los hábitos e indicadores que actúan como señales de predicción de enfermedades y es de vital importancia a la hora del diagnóstico precoz de enfermedades e incluso tener una máquina virtual que dependiendo de los síntomas dictamine una solución al

problema es importante en países pocos desarrollados donde carecen de especialistas. Los diagnósticos de la inteligencia artificial rondan el 95% de efectividad

- Desarrollo de nuevos productos

EL conocimiento de los datos de consumo masivos lo usamos para extraer las características de los productos más vendidos o buscados para dar lugar a productos rentables para la empresas y que vayan a ser aceptados por el gran público.

- Lead Scoring

Análisis de los datos de clientes potenciales para clasificarlos en grupos según el nivel de potencialidad basándose en datos de históricos, perfil social, datos en redes sociales... para saber la probabilidad que tiene mi empresa de recibir una compra de éste cliente.

16 MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA INDUSTRIA 4.0

16.1 ¿Qué es el mantenimiento predictivo?

El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de fallo de un componente de una máquina o de un sistema, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base a un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza.

Para ello tendremos que combinar la información operacional generada por activos críticos, históricos de mantenimiento e información de contexto para mejorar la fiabilidad y el rendimiento.

Tal y como se extrae de la definición, necesitamos información y datos. Antes de ello, la realización del mantenimiento predictivo tiene dos pilares que son conocer bien cuáles son nuestros activos críticos y comprender los datos que generan estos activos para poder realizar la analítica necesaria. El mantenimiento predictivo consiste en la aplicación de distintas técnicas para pronosticar el futuro fallo de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse justo antes de que falle.

Podemos dividir las técnicas de mantenimiento predictivo en varios niveles. El técnico especializado que revisa la máquina y prevé que la pieza va a fallar está haciendo mantenimiento predictivo. El siguiente nivel consistiría en hacer que ese técnico realizara inspecciones periódicas para mejorar su criterio a la hora de prever posibles fallos en las piezas. Un nivel más se conseguiría poniendo sensores que envíen una alerta cuando las piezas se salgan de ciertos niveles previamente establecidos. El cuarto y último nivel consistiría en la aplicación de técnicas de analítica avanzada que utilicen los datos emitidos por los sensores para la detección temprana de anomalías que permitan detectar fallos en los distintos componentes lo que viene siendo la aplicación de la industria 4.0.

Este último nivel entra dentro de la digitalización de la industria, denominada industria 4.0 definida como la conexión digital de objetos para crear sistemas inteligentes. La gran cantidad de datos que producen los sensores hace que el mantenimiento predictivo entre dentro del también denominado Big Data.

16.2 Implantación de un sistema de mantenimiento predictivo inteligente

¿Cómo se implanta un sistema de mantenimiento predictivo inteligente? Los datos son el motor del mantenimiento predictivo, con lo que deben ser recogidos y estructurados mediante una tecnología capaz de recolectar, analizar y procesar grandes cantidades de datos, Big Data del que hemos hablado en capítulos anteriores.

Es fundamental que los datos sean suficientemente representativos y tenga suficiente valor de los eventos que se quieren analizar. Por ejemplo, si se quiere prever el fallo de un determinado componente, los datos tienen que contener mediciones de los sensores relacionados con él en fallos anteriores. Así pues, si la empresa no tiene un sistema adecuado de recolección de datos el uso del Big data no servirá ya que los datos deben ser veraces antes de usar el Big data.

▪ El análisis de la empresa

Una vez tenemos la suficiente cantidad de datos con valor y veraces es cuando entra en juego la analítica del big data. Como en todo proyecto, lo primero es el conocimiento de la empresa para conocer sus necesidades, su situación actual y sus expectativas. Es importante que durante el análisis queden resueltos los siguientes objetivos:

- **Objetivo de la empresa:** ¿Qué es lo que ha llevado a plantear este problema? ¿Qué objetivos se pretenden conseguir? ¿Cómo podemos medir el éxito del proyecto? Un objetivo de negocio en este caso puede ser saber qué componentes van a fallar en los próximos n días. El éxito del proyecto podría ser reducir los fallos en las piezas.
- **Análisis de la situación actual:** ¿se dispone de todos los datos necesarios para abordar el proyecto? ¿Qué datos se guardan sobre cada componente? ¿Con qué frecuencia se actualizan dichos datos? ¿Quiénes son las personas clave para poder acceder a ellos? ¿Existe ya algún patrón identificado de comportamiento por el que se sepa que el componente falla?
- **Determinar las metas del análisis de datos:** Esta tarea consiste en traducir los objetivos de negocio en metas del análisis de datos. Por ejemplo en el caso de querer saber qué componentes van a fallar en los próximos N días, una primera meta podría ser determinar qué características de los sensores hacen que el componente falle.

▪ Entendimiento de los datos

Uno de los pasos principales para un analista de datos cuando se enfrenta a un problema así es centralizar y ordenar los datos necesarios incluyéndolos en una única tabla. Esta tabla contendrá datos de uno o más aparatos dependiendo del estudio que se quiera llevar a cabo.

En esta fase se intentan entender matemáticamente los datos viendo por una parte cómo se distribuye cada variable y por otra cómo se relacionan las variables entre sí. En mantenimiento predictivo este punto tiene la dificultad añadida de que son problemas que normalmente tienen muchas variables y muchísimos datos, lo que hace difícil tener una visión general de los mismos.

Gráficos útiles en este sentido suelen ser aquellos que dan información sobre datos agrupados tales como los diagramas de barras.

▪ **Técnicas de modelización**

La analítica predictiva se define como la aplicación de modelos matemáticos para estimar futuros fallos y poder adelantarnos a ellos. Estas técnicas buscan patrones, tendencias o modelos en los datos pasados que puedan predecir la probabilidad de eventos futuros.

En el ámbito del mantenimiento predictivo se identifican cuatro grandes grupos de modelos matemáticos:

- **Modelos de clasificación:** Se usan cuando existe una variable estado cuyo valor está dentro de un conjunto finito de posibilidades que queremos predecir o explicar. Estos modelos buscan patrones que han dado lugar a fallos en el pasado que son datos históricos medidos en los sensores junto con un histórico de fallos para poder prever futuros errores en las máquinas.
- **Modelos de regresión:** Los modelos de regresión permiten predecir el valor de una variable continua, es decir, una variable que puede tomar infinitos valores en función de otras variables. Como antes también recoge información de datos históricos.
- **Modelos de segmentación:** Agrupan datos con características similares en grupos, de manera que los datos que forman parte de un mismo grupo tienen características semejantes, mientras que los grupos entre sí tienen características lo más dispares posibles. Entra dentro de este grupo la detección de anomalías, identificándolas bien porque son muy distantes al centro del grupo al que pertenecen.
- **Modelos de análisis de supervivencia:** Esta técnica es capaz de predecir el tiempo que tarda en ocurrir un determinado suceso. En el ámbito del mantenimiento predictivo se usa para predecir la probabilidad de fallo a lo largo del tiempo según las características del componente.

▪ **El flujo del proyecto**

El proceso de realización de un proyecto de mantenimiento predictivo se puede ver como una escalera, el flujo del proyecto va desde la modelización a la comprensión de datos, para volver a modelizar mejorando la precisión de la respuesta. La interacción con la empresa y los equipos de mantenimiento es también constante, ya que éstos tienen la experiencia e información capaces de contrastar las respuestas del modelo y aportar nuevos datos que ayuden al modelo a dar una mayor precisión en ellas.

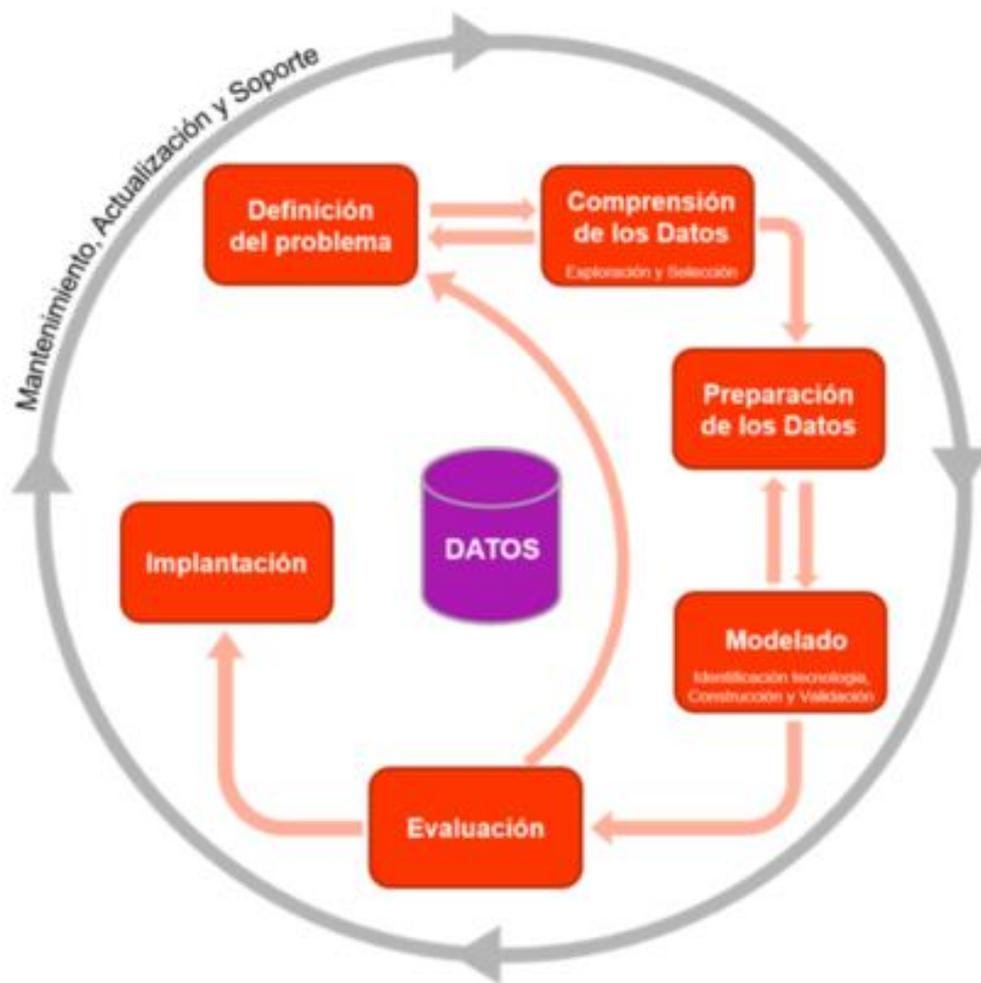


Figura 25: Flujo del proyecto.

Las empresas industriales que aplican los fundamentos de la analítica predictiva en el mantenimiento obtienen resultados mejores que los que no lo hacen.

La Analítica Predictiva junto al Big Data, permite a una empresa la identificación de las tendencias y los patrones de comportamiento de modo que pueda anticiparse y controlar los acontecimientos para mejorar los resultados de su gestión.

Las tendencias actuales de procesar una gran cantidad de datos en tiempo real generan la necesidad de poseer analistas con conocimientos y herramientas que puedan ser usadas con estos fines. La gestión de activos en mantenimiento industrial no es una excepción para estas aplicaciones. La predicción analítica provee a los que toman decisiones y a los analistas de datos en mantenimiento industrial con las capacidades y habilidades para realizar predicciones con precisión sobre los eventos futuros basados en el procesamiento y análisis de datos relevantes para el negocio.

16.3 Técnicas de mantenimiento predictivo

▪ **Análisis de vibración**

Esta técnica es usada en la predicción de errores en máquinas rotativas, fijándonos en la vibración de las mismas.

▪ **Inspección visual**

Observación detenidamente del equipo para ver si tiene grietas o fisuras.

▪ **Ultrasonidos aplicados al mantenimiento predictivo**

La captación de ultrasonidos es una técnica que me permite localizar defectos internos en piezas y sistemas.

▪ **Termografía**

La termografía por infrarrojos es una técnica fundamental en mantenimiento eléctrico que se caracteriza por su capacidad de detección de puntos calientes y realizar medidas precisas de temperatura a una distancia de seguridad.

▪ **Análisis de lubricantes**

Analizándolos podemos comprobar desgastes de las máquinas y sus componentes, y esto nos permite maximizar el ciclo de vida útil del sistema.

▪ **Medición de temperatura**

El control de temperatura impacta directamente en el proceso, teniendo alarmas que avisan del exceso o defecto de temperatura, siempre y cuando afecte directamente al correcto funcionamiento de la máquina.

▪ **Medida de Presión**

Podemos comprobar presiones para detectar posibles fallos en hidráulica por fugas, obstrucción de filtros, fallo en cierres...

▪ **Inspección radiográfica**

Usamos radiografías para detectar defectos internos, se suele utilizar en uniones de piezas realizadas con soldaduras, para comprobar que estas soldaduras no tengan grietas, burbujas o impurezas.

▪ **Líquidos penetrantes**

Es una inspección no destructiva que se utiliza para encontrar fisuras, que a su vez, se visualizan por medio de tintes y líquidos penetrantes.

16.4 Beneficios del mantenimiento predictivo

- Detección de anomalías.
- Predicción de averías.
- Cálculo de vida útil.
- Optimización del mantenimiento.
- Reducción de pérdidas por paradas.
- Visualización en tiempo real.

17 CONTROL DE CALIDAD EN LA INDUSTRIA

17.1 Definición de calidad

La Real Academia Española define calidad como la propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor. Esta definición establece dos elementos importantes en su análisis. Primero, la referencia a características o propiedades y, segundo, su bondad para valorar “algo” a través de ella.

Puede decirse que la calidad es un término con el que los consumidores están familiarizados y entienden, pero que por regla general difícilmente pueden definir. Se dice que un producto o servicio goza de calidad cuando cumple con las funciones o desempeño para el cual fue diseñado o creado.

En este sentido, la calidad es un término relativo multidimensional que supone acepciones diferentes, tanto en el tiempo, como en función de quien lo utilice y en qué ámbito, pues implica tanto juicios de valor individual como colectivo.

17.2 Significados de la calidad según el contexto

David A. Garvin, sugirió que la calidad puede tener cinco diferentes significados o definiciones:

Transcendental: Calidad como sinónimo de excelencia. Es un significado utilizado a menudo por los consumidores. La calidad sería reconocible, pero no definible de forma precisa, la calidad es innata del producto y solo puede ser reconocida por el cliente a partir de su propia experiencia.

Centrado en el producto: La calidad viene definida por la cantidad en la que un atributo que queremos está presente en un producto o servicio.

Centrado en el cliente: La calidad viene determinada por lo que el consumidor desea. En este contexto la calidad se define como “lo que mejor se ajusta al uso que se pretende dar con el producto o servicio”.

Centrado en el valor: La calidad como relación entre la utilidad o satisfacción con el producto y su precio.

Centrado en la fabricación: La calidad se define como conformidad a las especificaciones determinadas para la manufactura o realización de un producto o servicio.



Figura 26: Significado de la calidad según el contexto.

17.3 Las ocho dimensiones de la calidad

En 1987, David A. Garvin publicó en la Harvard Business Review su famoso artículo “Compiendo en las Ocho Dimensiones de la Calidad” en donde propone detalladamente un nuevo modelo para la Calidad, convirtiéndose en el más reciente Gurú de la Calidad. Fue en esta publicación en la que él hizo la primera presentación de las Ocho Dimensiones, una estructura conceptual para la reflexión de lo que sería la Calidad de un producto. Las Ocho Dimensiones de la Calidad, según la definición inicial, son:

Desempeño: Se trata de los atributos básicos de un producto, son las características funcionales primarias de un producto, es lo mínimo indispensable que un cliente espera del producto. Por ejemplo: Consideremos un reloj de pulsera, en donde el cliente espera la información de fecha y hora y tal vez la función de cronometraje.

Características: Comprende aspectos secundarios, complementarios al funcionamiento básico del producto, agregan valor al producto pero no son exigencias del cliente. Por ejemplo: En el caso del reloj de pulsera, sería la existencia de funciones como la exhibición simultánea del horario en dos capitales mundiales, una luz que permita lectura en la oscuridad o la posibilidad de uso en profundidad hasta 100m

Conformidad: Refleja el grado en el que las características del producto responden a patrones formales. Por ejemplo: Para el reloj de pulsera, se espera que responda al patrón mundial de tiempo, que esa garantía de uso hasta 100m sea verificada según una norma industrial.

Confiabilidad: Se trata de la probabilidad de mal funcionamiento del producto de la aparición de fallos o del nivel de interrupciones inesperadas. Por ejemplo: Para un reloj de pulsera, sería normal no esperar ninguna falla grave o detención en el funcionamiento en tres años.

Durabilidad: expresa la vida útil de un producto o de la cantidad de uso posible de un producto. Por ejemplo para un reloj de pulsera, es una expectativa razonable que dure hasta 10 años sin problemas que impidan su uso y con pequeños arreglos.

Atención: Comprende los factores que pueden afectar la percepción del cliente.

Estética: Es la apariencia de un producto, el sentimiento o sensación que él provoca son los aspectos estéticos del producto.

Calidad Percibida: Expectativa del cliente en relación a un producto.

17.3 Los Catorce puntos para la gestión de Deming

Entre las numerosas aportaciones de Deming a la calidad, caben destacar dos: los catorce puntos de Deming, que se debe contemplar para la dirección de la empresa, y la divulgación del ciclo PDCA de Walter Shewhart, que consiste en un modelo metodológico básico para asegurar las actividades fundamentales de mejora y mantenimiento en la industria: Plan- Do- Check- Act.

En su libro Fuera de la Crisis, Deming propuso un conjunto de catorce principios que tenían como objetivo mejorar la administración y gestión de las empresas.

▪ Los catorce puntos de Deming:

1) Crear la firme determinación de mejorar el producto o servicio

Deming sostiene que el objetivo de la mejora continua se debe reflejar en todos los aspectos de la estrategia de una empresa. Mejora continua significa literalmente lo que dicen las dos palabras. Para mantenerse competitivas, las empresas deben buscar constantemente formas de mejorar sus sistemas de producción y el atractivo que tienen para el cliente los productos que le ofrecen. Esta mejora ha de ser la finalidad.

2) Adoptar la nueva filosofía

Desde el punto de vista de Deming, los defectos son caros e innecesarios. Son caros porque necesitan de toda una infraestructura para remediarlos. Por otro lado, este conjunto de costes evitables lo soportan, en último término, los clientes. Por tanto, debemos abandonar la idea de que los defectos son inevitables.

3) Suprimir la dependencia de la inspección masiva

Deming no sugiere que se elimine la inspección, sino que confiar en la inspección es incompatible con la calidad. La inspección no mejora un producto, tan solo evita que los defectos lleguen al cliente, y no siempre. Es imposible, dice Deming, incorporar la calidad a un producto basándose en inspecciones; la calidad se debe incorporar en el diseño. Diseñar en pro de la calidad abarca a todos los aspectos y productos de la empresa. El objetivo de la gestión de la calidad es asegurar que el sistema produzca lo

que se pretende que produzca, y esto empieza por el diseño. Deming defiende el empleo de técnicas estadísticas a la hora de realizar las inspecciones. Además, defiende que no por añadir más inspectores se mejorará la calidad, ya que se taparán los errores entre ellos.

4) Acabar con la práctica de adjudicar los pedidos únicamente en función del precio.

Deming defiende que presionar a un proveedor a que baje el precio despierta en él la tentación de atajar en su camino de mejora. Al final, somos nosotros los que saldremos perdiendo. También introduce el precio de vida útil de un producto. Si una determinada máquina cuesta más que otra, pero es más barata de operar, puede ser conveniente comprarla aunque sea más cara, ya que su coste a lo largo de su vida útil es menor.

5) Mejorar constantemente el sistema de producción, sin detenerse jamás

Mejora continua significa que cada nuevo producto salga mejor que el anterior. Si no es posible mejorar el resultado de un producto o proceso, se rediseña para hacerlo más fácil, más económico o más rápido, da igual, lo importante es que cada vez salga mejor. Dado que un producto no puede superar las limitaciones de su diseño, es fácil que los defectos sean irreparables.

6) Instituir la formación en el trabajo

La mejora continua implica una inversión importante y constante en formación. Deming observa que las empresas hacen demasiadas suposiciones acerca de lo que sus empleados saben y pueden hacer. Sin que los empleados estén seguros de sus conocimientos y capacidades, difícilmente podrán involucrarse en un proceso de mejora continua.

7) Instituir el liderazgo

Los puestos de mando deben motivar a sus subordinados mediante su apoyo y motivación más que mediante su autoridad de mando. Los líderes, dice Deming, se deben centrar en mejorar el sistema, no en localizar los errores achacables a cada individuo.

8) Librarse del miedo

Para Deming, miedo y fracaso son dos cosas que van de la mano. La inseguridad acaba produciendo una pérdida, porque obliga a ocuparse exclusivamente de cumplir las normas y seguir el sistema, no de hacer aportaciones al mismo. El directivo debe dar confianza y seguridad a sus subordinados. De este modo, su participación en la mejora continua será posible. El trabajador requiere de formación en su tarea para poder sentirse seguro de lo que hace.

9) Eliminar las barreras que separan los distintos departamentos

Deming dice que es esencial que todo el personal de la empresa conozca los problemas de los demás. La colaboración y el trabajo en equipo son claves en la mejora continua. Sin duda, surgirán disconformidades entre los miembros de distintos departamentos, pero al menos, la decisión se tomará conociendo la postura de ambos.

10) Eliminar los eslóganes, exhortaciones y objetivos dirigidos a los trabajadores

Deming ve en los eslóganes y exhortaciones una prueba del fracaso de la dirección. La razón es que si se establecen sistemas adecuados, incluyendo una dirección y formación adecuadas del personal, es innecesario pedir que trabajen con más ahínco y que se cometan menos fallos. Además, como el 80 % de los errores son culpa del sistema, poco puede hacer un operario ante ellos. En realidad es la dirección la responsable de los mismos.

11) Eliminar los estándares cuantitativos de trabajo

Los estándares cuantitativos de trabajo no tienen en cuenta la calidad. Para asegurar el logro de los objetivos se debe cambiar el sistema. Es muy fácil decir tienes que producir 300 piezas al día, pero es difícil de cumplir si la máquina se para constantemente, si la materia prima es mala... y ante esto poco puede hacer el operario. Deming también se opone a la calificación por méritos, ya que considera que se basa en el corto plazo, y que destruye el trabajo en equipo al fomentar el egoísmo. En un intento por alcanzar sus objetivos, el departamento A no se preocupa de los problemas que puedan causar sus soluciones en los departamentos B y C.

12) Eliminar las barreras que privan al personal del orgullo por el trabajo

Deming dice que fomentar el orgullo por el trabajo induce automáticamente en los operarios el deseo de contribuir al perfeccionamiento del sistema.

13) Estimular la formación y el afán de superación personal

Deming urge a las empresas a invertir cuanto puedan, no solo en la formación relacionada con el trabajo, sino también en educación general.

14) Tomar medidas para llevar a cabo la transformación

Deming incita a las empresas a que adopten su filosofía con orgullo, y que la expliquen a todo el personal. Este cambio requiere tiempo, y la paciencia es esencial. Deming recomienda empezar la transformación por aquellas actividades que más fáciles sean de mejorar, para después pasar a temas más complejos.

17.4 El ciclo de Deming (ciclo PDCA). El ciclo de la calidad:

Durante la segunda mitad del siglo XX, W. Edwards Deming popularizó el ciclo PDCA (Planificar, Desarrollar, Comprobar, Actuar), inicialmente desarrollado por Shewhart, que es utilizado extensamente en los ámbitos de la gestión de la calidad. Esta herramienta ayuda a establecer en la organización una metodología de trabajo encaminada a la mejora continua.

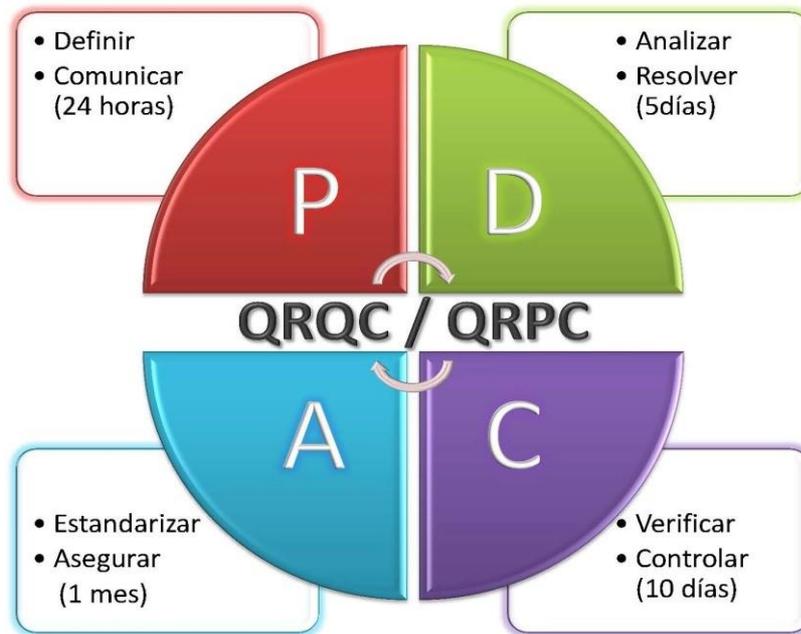


Figura 27: Ciclo PDCA.

Planificar (P). La dirección de la organización define los problemas y realiza el análisis de datos, y marca una política, junto con una serie de directrices, metodologías, procesos de trabajo y objetivos que se desean alcanzar en un periodo determinado, incluyendo la asignación de recursos. Estas actividades que corresponden a la alta dirección se engloban bajo el término “Planificar” (“Plan”, en inglés).

Hacer (D). A partir de las directrices que salen de la planificación, la organización efectúa una serie de actividades encaminadas a la obtención de los productos o los servicios que proporciona a sus clientes (“Do” en inglés). En estos procesos, se deben tener en cuenta todos los requisitos del cliente, de forma que el producto o servicio obtenido se ajuste lo más posible a sus expectativas.

Comprobar (C). Finalizado el proceso productivo, debemos evaluar su eficacia y eficiencia realizando un seguimiento y un control con una serie de parámetros que son indicativos de su funcionamiento. Se trata de comprobar (“Check” en inglés) objetivamente los resultados obtenidos por la organización mediante el análisis de sus procesos, comparándolos con los resultados previamente definidos en los requisitos, en la política y en los objetivos de la organización, para verificar si se han producido las mejoras esperadas, averiguar las causas de los errores y plantear posibles mejoras.

Ajustar (A). Esta etapa marcará una serie de nuevas acciones correctoras para mejorar aquellos aspectos de los procesos en los que se han detectado debilidades o errores. En consecuencia, se tiene que “Actuar” (“Act” en inglés) para estandarizar las soluciones, mejorar la actividad de la empresa y la satisfacción del cliente.

Para cerrar el ciclo, la dirección, haciendo un análisis global del ciclo completo, volverá a planificar una serie de objetivos aplicables a la siguiente iteración del bucle.

REFERENCIAS WEB

- [1] <https://www.monografias.com/trabajos94/deteccion-modos-efectos-y-analisis-fallas/deteccion-modos-efectos-y-analisis-fallas.shtml>
- [2] <http://biring.us.es/proyectos/>
- [3] <https://www.gestiopolis.com/manejo-fallas-e-ingenieria-confiabilidad/>
- [4] <http://www.reporteroindustrial.com/temas/El-analisis-de-causa-raiz+115643>
- [5] <https://www.ipeaformacion.com/resolucion-de-problemas/la-metodologia-8d-las-ocho-disciplinas/>
- [6] <https://www.nunsys.com/mantenimiento-predictivo/>
- [7] https://www.treelogic.com/es/Control_Calidad_Industria40.html
- [8] <https://grupogaratu.com/que-es-y-que-aporta-la-industria-4-0/>
- [9] <http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>
- [10] <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2391&tip=10&xit=mantenimiento-predictivo-con-big-data-una-oportunidad-para-la-gestion>
- [11] <https://www.tableau.com/es-es/learn/articles/root-cause-analysis>
- [12] <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>
- [13] <https://blogdelacalidad.com/diagrama-de-ishikawa/>
- [14] <http://josecarloss1120.blogspot.com/2016/05/diagrama-de-ishikawa-historia-dr.html>
- [15] <https://www.monografias.com/trabajos42/diagrama-causa-efecto/diagrama-causa-efecto.shtml>
- [16] <https://www.pdcahome.com/4563/qrqc-control-de-calidad-de-respuesta-rapida-quick-response-quality-control/>
- [17] <http://www.mantenimientopetroquimica.com/index.php/10-que-es-rcm>
- [18] <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/395/F%20SEVILLANO%20PEREZ.pdf>
- [19] <http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/26-articulos-destacados/17-plan-de-mantenimiento-basado-en-rcm>
- [20] https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2489/course/section/2495/Mantenimiento_8%20%20%281%29.pdf
- [21] <https://enciclopediahistoria.com/revolucion-industrial/>
- [22] http://nuclear.fis.ucm.es/bigdata/documentos/14_L_Carro_etal_BigdataMeteorologia.pdf
- [23] <http://mentalfloss.com/article/92958/how-does-google-maps-know-where-traffic>
- [24] <https://www.wired.co.uk/article/how-do-netflixs-algorithms-work-machine-learning-helps-to-predict-what-viewers-will-like>
- [25] <https://bbvaopen4u.com/es/actualidad/que-es-el-metodo-kanban-y-por-que-funciona-en-la-programacion-de-software>
- [26] <https://www.eleconomista.es/mercados-cotizaciones/noticias/7689008/07/16/Big-data-el-nuevo-Santo-Grial-de-la-inversion.html>
- [27] <https://www.lavanguardia.com/ciencia/cuerpo-humano/20180223/44950677766/inteligencia-artificial-machine-learning-diagnosticar-enfermedades-medicos-eficiencia.html>
- [28] <https://decidesoluciones.es/que-hay-detras-del-mantenimiento-predictivo/>
- [29] <http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>
- [30]

REFERENCIAS

1. Metals Handbook. Vol. 11: Failure Analysis and Prevention. ASM International, 2002.
2. How to organize and run a failure investigation / Daniel P. Dennies | ASM International | 2005 |
3. Proyecto Fin de Carrera Ingeniería de Telecomunicación , Marco para la evaluación en la implementación de la Industria 4.0. Autor: Maria Dolores Sánchez Pena
4. Trabajo Fin de Grado , Grado Ingeniería de Organización Industrial ,La Industria 4.0: Aplicaciones e Implicaciones. Autor: Teresa Barros Losada
5. Out of crisis(Fuera de la crisis) /Deming, W.Edwars / MIT Press [1986]

