

Gestión Integral de Activos Físicos y Mantenimiento

Leandro Torres

Apoyo en la



 Alfaomega

Gestión Integral de Activos Físicos y Mantenimiento

Leandro Torres



Buenos Aires • Bogotá • México DF • Santiago de Chile

Torres, Leandro Daniel
Gestión integral de activos físicos y mantenimiento. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires:
Alfaomega Grupo Editor Argentino, 2015.
516 p.; 17x23 cm.
ISBN 978-987-1609-66-6
1. Administración de Empresas.
CDD 650

Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, su tratamiento informático y/o la transmisión por cualquier otra forma o medio sin autorización escrita de Alfaomega Grupo Editor Argentino S. A.

Edición: Héctor Germán Asenjo
Corrección: Vanesa García
Diseño y armado de interiores: Vanesa García
Diseño de tapa: Iris Biaggini
Revisión de armado: Vanesa García

Internet: <http://www.alfaomega.com.mx>

Todos los derechos reservados © 2015, por Alfaomega Grupo Editor Argentino S. A.
Paraguay 1307, PB, oficina 11

ISBN 978-987-1609-66-6

Queda hecho el depósito que prevé la ley 11.723

NOTA IMPORTANTE: La información contenida en esta obra tiene un fin exclusivamente didáctico y, por lo tanto, no está previsto su aprovechamiento a nivel profesional o industrial. Las indicaciones técnicas y programas incluidos han sido elaborados con gran cuidado por el autor y reproducidos bajo estrictas normas de control. Alfaomega Grupo Editor Argentino S. A. no será jurídicamente responsable por: errores u omisiones; daños y perjuicios que se pudieran atribuir al uso de la información comprendida en este libro, ni por la utilización indebida que pudiera dársele. Los nombres comerciales que aparecen en este libro son marcas registradas de sus propietarios y se mencionan únicamente con fines didácticos, por lo que Alfaomega Grupo Editor Argentino S. A., no asume ninguna responsabilidad por el uso que se dé a esta información, ya que no infringe ningún derecho de registro de marca. Los datos de los ejemplos y pantallas son ficticios, a no ser que se especifique lo contrario.

Los hipervínculos a los que se hace referencia no necesariamente son administrados por la editorial, por lo que no somos responsables de sus contenidos o de su disponibilidad en línea.

Empresas del grupo:

Argentina: Alfaomega Grupo Editor Argentino, S. A.
Paraguay 1307 P.B. "11", Buenos Aires, Argentina, C.P. 1057
Tel.: (54-11) 4811-7183/0887
E-mail: ventas@alfaomegaeditor.com.ar

México: Alfaomega Grupo Editor, S. A. de C.V.
Pitágoras 1139, Col. Del Valle, México, D.F., México, C.P. 03100
Tel.: (52-55) 5575-5022 – Fax: (52-55) 5575-2420/2490. Sin costo: 01-800-020-4396
E-mail: atencionalcliente@alfaomega.com.mx

Colombia: Alfaomega Colombiana S. A.
Calle 62 N° 20-46, Barrio San Luis, Bogotá, Colombia
Tel. (57-1)7460102 - Fax: (57-1) 2100415
E-mail: cliente@alfaomega.com.co

Chile: Alfaomega Grupo Editor, S. A.
Av. Providencia 1443, Oficina 24, Santiago de Chile, Chile
Tel.: (56-2) 235-4248/2947-5786 – Fax: (56-2) 235-5786
E-mail: agechile@alfaomega.cl

Dedicatoria

Dedico este libro a mi esposa María Alejandra y a mis tres hijos Leandro, Ángeles y Alejandra que siempre colaboraron en mi desarrollo tanto profesional como humano.

Agradecimientos

Agradezco al Ing. Oscar Giovannini y a mis alumnos de la Universidad Tecnológica Regional Córdoba de 5to año de la carrera de Ingeniería Industrial, que colaboraron en distintas revisiones y con el aporte resumido de trabajos prácticos hechos en la cátedra.

Un agradecimiento muy especial a mi amigo Ernesto Primera de Venezuela quien participó en la elaboración del capítulo 10 (RCM).

Leandro Torres

Mensaje del editor

Los conocimientos son esenciales en el desempeño profesional, sin ellos es imposible lograr las habilidades para competir laboralmente. La universidad o las instituciones de formación para el trabajo ofrecen la oportunidad de adquirir conocimientos que serán aprovechados más adelante en beneficio propio y de la sociedad; el avance de la ciencia y de la técnica hace necesario actualizar continuamente esos conocimientos. Cuando se toma la decisión de embarcarse en una vida profesional, se adquiere un compromiso de por vida: mantenerse al día en los conocimientos del área u oficio que se ha decidido desempeñar.

Alfaomega tiene por misión ofrecerles a estudiantes y profesionales conocimientos actualizados dentro de lineamientos pedagógicos que faciliten su utilización y permitan desarrollar las competencias requeridas por una profesión determinada. Alfaomega espera ser su compañera profesional en este viaje de por vida por el mundo del conocimiento.

Alfaomega hace uso de los medios impresos tradicionales en combinación con las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) para facilitar el aprendizaje.

Libros como éste tienen su complemento en una página Web, en donde el alumno y su profesor encontrarán materiales adicionales.

Esta obra contiene numerosos gráficos, cuadros y otros recursos para despertar el interés del estudiante, y facilitarle la comprensión y apropiación del conocimiento. Cada capítulo se desarrolla con argumentos presentados en forma sencilla y estructurada claramente hacia los objetivos y metas propuestas.

Los libros de Alfaomega están diseñados para ser utilizados dentro de los procesos de enseñanza-aprendizaje, y pueden ser usados como textos para diversos cursos o como apoyo para reforzar el desarrollo profesional.

Alfaomega espera contribuir así a la formación y el desarrollo de profesionales exitosos para beneficio de la sociedad.

Acerca del autor

Leandro Daniel Torres

Ing. Eléctrico Electrónico – UCC, Mágister en dirección de empresas - ICDA-UCC

Cursos de Pos-Grado:

- Especialista en Mantenimiento Industrial. - BRETON SPA
- Metodología de la Investigación Científica (UCC)
- AUDITOR LIDER ISO9001 (*Georgia Institute of Technology*) Atlanta USA
- ADITOR LIDER internacional FIEV Renault Francia- 2009
- Perfeccionamiento en BOSTON – USA-
- Especialista en Educación a Distancia y Nuevas Tecnologías (IUA) - 2001

Actividad laboral del autor

- Director de la empresa **TorresConsulting** (ver empresas que asiste en www.ltorresconsulting.com.ar).
- Coordinador General de los cursos de Educación Virtual, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba.
- Profesor en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba.
- Profesor de Grado y Posgrado en el Instituto Universitario Aeronáutico.
- Profesor Instituto de Formación Superior RENAULT.
- Profesor de Maestría en la Universidad de INTEC – Instituto Tecnológico de Santo Domingo – República Dominicana.
- Consultor internacional del Grupo Ramos - República Dominicana.
- Miembro y consejero regional de la **ASQ Reliability Division**.
- Integrante del comité del “**Energy Institute of América**”.
- Autor del los libros: Logística de Mantenimiento, Gestión de Mantenimiento y “MANTENIMIENTO. Su Implementación y la Introducción de Mejoras en la Producción.

Prólogo

Esta obra sobre “Gestión integral de activos físicos y mantenimiento”, que está orientada a las ingenierías y destinada a estudiosos y estudiantes, concentra los resultados de la extensa y destacada actividad profesional y académica, tanto en la Argentina como en otros países, del conocido autor Leandro Torres, profesor universitario, ingeniero eléctrico electrónico, magíster en Dirección de Empresas y también directivo empresarial.

En razón de la temática propia de este libro, es importante evocar inicialmente una reflexión de Isaac Asimov, acerca de que la ciencia puede fascinarnos, pero es la ingeniería la que cambia el mundo.

Los contenidos de esta obra hacen que resulte indudablemente de importancia y utilidad, desde un enfoque académico y formativo para su utilización en las universidades o instituciones afines, como en el campo de la aplicación práctica para su uso en diversos tipos de empresas y organizaciones.

Para reconocer y valorar la relevancia, actualidad y carácter innovador de la temática abordada, solo hace falta recorrer los títulos de sus diversos capítulos, que aglutinan temas centrales y significativos, tales como: Conceptos de Gestión integral de activos; Fiabilidad; Tipos de mantenimiento; La Introducción de mejoras en la producción aplicando TMP y 5S, RCM; Gestión de mantenimiento: Aplicación de sistemas informáticos Calidad aplicada al mantenimiento; Costo de ciclo de vida (LCC) y su análisis (LCCA); Contratación del mantenimiento (*outsourcing*) y Mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Asimismo, oportuna y convenientemente dispersados en el texto, se encuentra una profusa diversidad de gráficos, cuadros y otros elementos que se emplean actualmente, bajo el influjo de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación.

Resulta notorio que este libro que, en realidad, constituye un verdadero tratado, fue redactado previendo una orientación y estilo que

favorecen la metacognición y, al mismo tiempo, dan cumplimiento a las dos perspectivas primordiales de la definición de documento pedagógico: aquel donde se formula una clara y ordenada exposición y tratamiento secuencial de los temas y argumentos, y que puede resultar de utilidad para la educación y la enseñanza.

Asimismo, esta obra, ante la eventual escasez o inexistencia de documentos bibliográficos abarcativos, en español, acerca de los temas tratados, viene a constituir un compacto “estado del arte” muy actualizado, sobre el área disciplinaria a la que el autor ha venido dedicando sus mayores esfuerzos profesionales, y muestra sus vastos y valiosos conocimientos acerca de sus fundamentos, aplicación, posibilidades y perspectivas.

Según un pensamiento histórico de Henry Ford, acerca de que el verdadero progreso es el que pone los conocimientos y la tecnología al alcance de todos. Resulta evidente que en este trabajo, se ha logrado la expectativa de contribuir tanto a la excelencia académica como a la expansión y actualización de valiosos conocimientos de ingeniería, útiles y prácticos, de interés real y muy actual.

Además, se han seguido de un modo conjunto, prácticas actuales de la educación universitaria, por lo que se nota en la presentación de este trabajo un estilo y una visión holística, interdisciplinaria, significativa e integradora, considerando y destacando los aspectos y facetas más notables y relevantes de la temática, como así también sus posibilidades de aplicación efectiva actual, individualmente o en su conjunto.

Concurrentemente, lo que acrecienta el valor de esta obra, es que en todos los casos, se ha puesto un gran esfuerzo en presentar los distintos asuntos o tópicos con el mayor grado de actualización, reflejando las tendencias, modalidades e ideas más recientes. Análogamente, se advierte con claridad el seguimiento de una apropiada concatenación temática secuencial desde el punto de vista formativo.

Por su serio trabajo y por el enfoque, contexto y utilidad general de esta nueva publicación, deseo hacer llegar a su autor mis cordiales felicitaciones.

Norberto I. Schinitman

Contenido

CAPÍTULO 1		CAPÍTULO 3	
CONCEPTOS DE GESTIÓN INTEGRAL DE ACTIVOS Y MANTENIMIENTO	1	TIPOS DE MANTENIMIENTO	145
Evolución del mantenimiento	2	Mantenimiento correctivo	146
Objetivos del mantenimiento en la gestión integral de activos	3	Mantenimiento modificativo	147
La finalidad del mantenimiento en la gestión de activos	4	Mantenimiento preventivo	148
Las fallas	5	Mantenimiento proactivo	151
Identificación y análisis de las fallas..	10	Mantenimiento condicional o predictivo	152
Tasa de falla	27	Determinación del período de intervención y dimensión del área	167
Relación y conceptos de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad	30	Ejercicios propuestos	170
Ejemplo de aplicación de mantenimiento	47	CAPÍTULO 4	
Ejercicios propuestos	53	LA INTRODUCCIÓN DE MEJORAS EN LA PRODUCCIÓN APLICANDO TPM Y 5S	171
CAPÍTULO 2		Introducción de mejoras en la producción aplicando TPM y 5S	172
FIABILIDAD	55	TPM Mantenimiento Total Productivo	172
La fiabilidad	56	Estrategia de las 5S	207
Introducción matemática de variable aleatoria	56	Ejercicios propuestos	218
Fiabilidad e in fiabilidad	61	CAPÍTULO 5	
Vida útil	64	GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	219
Relación entre $f(t)$, $\lambda(t)$ y $R(t)$	67	Desempeño de la gestión de mantenimiento	220
Distribuciones teóricas en el terreno de la fiabilidad	68		
Ejercicios propuestos	142		

Implementación de la gestión en mantenimiento.....	220	AMFE.....	336
Análisis de la situación	220	Conclusiones	364
El plan de mantenimiento	221	Ejercicios propuestos.....	365
El tablero de a bordo	222	CAPÍTULO 8	
Control de gestión	230	COSTO DE CICLO DE VIDA (LCC) Y SU ANÁLISIS (LCCA)	367
Costos de mantenimiento	233	Análisis de costos de ciclo de vida (LLC).....	367
Gestión de almacén	239	Costo de ciclo de vida	370
Gestión de mantenimiento para la planta industrial ABC S.R.L.....	252	Los costos.....	381
Codificación de la información	262	Estimación de los costos	388
Procedimiento para el pedido de trabajo de mantenimiento	265	Procedimiento de análisis de costo de ciclo de vida	402
Mantenimiento preventivo	267	Vida útil – Análisis dinámico real	422
Cálculos de costos	271	Conclusión	425
Análisis de efecto económico.....	274	Ejercicios propuestos.....	425
Ejercicios propuestos.....	276	CAPÍTULO 9	
Anexo	277	CONTRATACIÓN DEL MANTENIMIENTO (OUTSOURCING) ...	427
CAPÍTULO 6		Introducción.....	428
APLICACIÓN DE SISTEMAS INFORMÁTICOS	285	Diagnóstico de las actividades a tercerización.....	428
Introducción	286	Beneficios que aporta la tercerización.....	429
Ventajas y desventajas de la implementación de un sistema informático	286	Precauciones previas ante la tercerización del mantenimiento	432
Etapas de implementación.....	288	Preparación del contrato de mantenimiento	433
Implementación	289	Pliegos de condiciones.	
Estructura de un sistema informático para mantenimiento	290	Especificaciones.....	436
Inventario y registro de equipos.....	290	Alternativas y comparación	438
Plantillas como base para la informatización	291	Contratos de mantenimiento.....	442
Ejercicios propuestos.....	310	Contratos “Ganador-Ganador” (Win-WIn).....	443
Anexo	311	Ejercicios propuestos.....	444
CAPÍTULO 7		CAPÍTULO 10	
CALIDAD APLICADA AL MANTENIMIENTO	321	MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD	445
Introducción	322	Introducción.....	446
Concepto de calidad	322	Breve reseña del RCM	446
Normalizar, homologar y certificar	324	Beneficios de la aplicación del RCM..	447
Enfoque basado en procesos.....	326		
Sistema de calidad	327		
Procedimientos instrucciones y registros.....	329		

Características del RCM en las	
tareas de mantenimiento	448
Herramientas del RCM	450
Metodología de aplicación del RCM...	459
Ejemplo aplicando la metodología	
del RCM	461
Ejemplos de aplicación	476
Ejercicio práctico	494
BIBLIOGRAFÍA.....	495



Los gráficos de este libro, en versión digital, se pueden encontrar en la página del libro.

Para tener acceso al material de apoyo, siga los siguientes pasos:

1. Ir a la página: <http://libroweb.alfaomega.com.mx>
2. Ir a la sección *Catálogo* y seleccionar la imagen de la portada del libro, al dar doble clic sobre ella, tendrá acceso al material.

Estimado lector

En esta edición, se han actualizados temas y modificado gráficos respecto de una publicación anterior de estos contenidos.

Se abordan, como ya se había hecho en la obra que antecedió a este libro, los distintos tipos de Mantenimientos: preventivo/proactivo/predictivo, comprender los conceptos de fiabilidad, el modelo de *Weibull*.

Se explica la forma de implementar mejoras en los procesos productivos TPM, 5S y RCM.

Comprenderá cómo definir el sistema de información y seleccionar medios informáticos relacionados con la actividad, interpretará cómo manejar las actividades de RR. HH. y la aplicación de seguridad en el mantenimiento.

Verá ejemplos de aplicación práctica, con fotos y desarrollos implementados en distintas empresas.

Este libro es de gran utilidad tanto del punto de vista teórico, para uso en las universidades y de aplicación práctica en las empresas.

Leandro Torres



Las imágenes de este libro son muy importantes, por ello, para una mejor visualización se han colocado en la página web del libro. Encuéntrela en:

<http://libroweb.alfaomega.com.mx>

Objetivos generales

- Entender los conceptos de la gestión de activos y mantenimiento.
- Conocer y valorar los conceptos fundamentales del mantenimiento.
- Aplicar los criterios del mantenimiento preventivo / proactivo / predictivo.
- Comprender los conceptos de fiabilidad.
- Definir el sistema de información y seleccionar medios informáticos relacionados con la actividad.
- Aprender a implementar mejoras en los procesos productivos.
- Conocer y valorar los conceptos básicos y la problemática de implementación de un sistema de mantenimiento total productivo y las técnicas denominadas 5S.
- Interpretar la importancia de una actitud de prevención para evitar los accidentes que devienen de esta actividad.
- Comprender la actividad de RR. HH.
- Entender la importancia de la aplicación de seguridad en el mantenimiento.
- Transferir los conocimientos adquiridos en nuevas situaciones de la actuación profesional.

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS DE GESTIÓN INTEGRAL DE ACTIVOS Y MANTENIMIENTO

- Evolución del mantenimiento
- La importancia del mantenimiento
- La finalidad del mantenimiento
- Variables del mantenimiento:
 - ◆ Fiabilidad
 - ◆ Mantenibilidad
 - ◆ Disponibilidad
- Objetivos del mantenimiento
- Las fallas:
 - ◆ Clasificación
 - ◆ Identificación y análisis de las fallas
 - ◆ Análisis de la prioridad de reparación
 - ◆ Procedimientos básicos para analizar los problemas

Los gráficos de este capítulo, en versión digital, se pueden encontrar en la página web del libro, en el sitio: <http://libroweb.alfaomega.com.mx>

1 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

Analizando el desarrollo de las empresas a lo largo del tiempo, se observa que las intervenciones de mantenimiento a las máquinas se fueron resolviendo de distinta forma. Las primeras máquinas eran atendidas por los propios usuarios, la técnica no estaba tan evolucionada y las reparaciones se realizaban tras la avería o cuando ésta estaba a punto de producirse, la responsabilidad de la producción y del buen funcionamiento correspondía al operador de la máquina.

A medida que fue creciendo la complejidad de los equipos, los operadores necesitaron ayuda de especialistas para poder afrontar las reparaciones. Este hecho dio lugar a la aparición de talleres o servicios dentro de la propia planta. Esos talleres disponían de personal con conocimientos y herramientas adecuados para las reparaciones.

Con el aumento del tamaño de las industrias y la necesidad creciente de mantener el equipamiento en buen estado para la producción, los talleres se fueron convirtiendo en una función de servicio que se incorporó a la estructura de la empresa.

Se hizo necesario diferenciar entre el personal de producción y el de mantenimiento, como consecuencia el operador intervenía cada vez menos en la ejecución de las reparaciones.

A principios del siglo XX, se transforman los sistemas productivos con particularidades propias de la denominada “Revolución Industrial”. Luego, con motivo de las dos guerras mundiales, el servicio de logística de mantenimiento se vuelve indispensable para asegurar el máximo funcionamiento de los equipos productivos.

En diferentes etapas, se comienzan a estudiar las averías y sus soluciones, dando lugar a un gran avance técnico. Se determinan índices entre las horas de funcionamiento y la aparición de las averías, permitiendo la reparación antes que se produzca la falla. Dentro del personal de mantenimiento, se comienzan a diferenciar las especialidades, en particular, las mecánicas y eléctricas.

El desarrollo tecnológico en los últimos años trae aparejado la necesidad de cambiar la filosofía de trabajo. El mantenimiento debe incorporar esta nueva tecnología con sus particularidades propias, junto a nuevas técnicas apropiadas a estas épocas. En este libro, explicamos las nuevas estrategias y tácticas del nuevo mantenimiento enfocado a la gestión de activos.

EL OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO Y LA GESTIÓN INTEGRAL DE ACTIVOS

El objetivo del mantenimiento y la gestión integral de activos es conservar todos los bienes que componen los eslabones de un sistema de producción o servicios, en las mejores condiciones de funcionamiento, aplicando estrategias de confiabilidad y productividad teniendo siempre presente los beneficios reales tras una inversión.

Este mantenimiento no solo deberá mantener las máquinas sino también las instalaciones de iluminación, redes de computación, sistemas de energía eléctrica, aire comprimido, agua, aire acondicionado, calles internas, pisos, depósitos, etcétera.

La importancia de introducir mejoras en los procesos productivos y aplicar reformas en la confiabilidad radica en la necesidad que tienen las empresas de mejorar la cadencia en la producción, bajar los tiempos de *set-up*, mejorar la seguridad, sin producir un desmedro en la calidad.

2 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO EN LA GESTIÓN INTEGRAL DE ACTIVOS

Los objetivos de mantenimiento deben alinearse con los de la empresa y éstos deben ser específicos y estar presentes en las acciones que realice el área. Estos objetivos serán los que mencionamos a continuación:

Máxima disponibilidad:

- Asegurar máxima disponibilidad y fiabilidad de los sistemas, instalaciones, máquinas y equipos.
- Reparar las averías en el menor tiempo posible.

Mínimo costo:

- Reducir los mantenimientos correctivos.
- Manejo óptimo de stock.
- Manejarse dentro de costos anuales regulares.

Conservación de los activos físicos (máquinas, equipos y sistemas):

- Realizar las reparaciones en las máquinas, equipos e instalaciones, pensando en mantener la vida útil de los mismos.
- Tener presente al realizar la programación de los mantenimientos, la fiabilidad de los activos.

Conservación de la energía:

- Conservar en buen estado las instalaciones auxiliares.
- Eliminar paros y puestas de marcha continuos.
- Controlar el rendimiento de los equipos.

Conservación del medio ambiente:

- Mantener las protecciones en aquellos equipos que pueden producir fugas contaminantes.
- Evitar averías en equipos e instalaciones correctoras de poluciones.

Higiene y seguridad:

- Mantener las protecciones de seguridad en los equipos para evitar accidentes.
- Adiestrar al personal sobre normas para evitar los accidentes.
- Asegurar que los equipos funcionen en forma adecuada.

Implicación del Personal:

- Obtener la participación del Personal para poder implementar el TPM y RCM.
- Implicar a los trabajadores en las técnicas de calidad.

3 LA FINALIDAD DEL MANTENIMIENTO EN LA GESTIÓN DE ACTIVOS

La finalidad del mantenimiento, entonces, es conseguir el máximo nivel de Disponibilidad de máquinas y equipos manteniendo su vida útil con la mínima contaminación del medio ambiente y mayor seguridad para el personal con el menor costo.

Tal como encontramos hoy a las industrias, bajo una creciente presión de la competencia, éstas se encuentran obligadas a alcanzar altos valores de producción con exigentes niveles de calidad cumpliendo con los plazos de entrega. Aquí justamente radica la importancia del mantenimiento.

Lo que implica conservar el sistema de producción y servicios funcionando con el mejor nivel de fiabilidad posible, reducir la frecuencia y gravedad de las fallas, aplicar las normas de higiene y seguridad en el trabajo, minimizar la degradación del medio ambiente, controlar y, por último, reducir los costos a su menor expresión.

El mantenimiento debe seguir las líneas generales determinadas con anterioridad, de forma tal que la producción no se vea afectada por las roturas o imprevistos que pudieran surgir.

4 LAS FALLAS

Toda instalación destinada a producir un bien o un servicio tiene que mantenerse en condiciones que le permitan seguir en funcionamiento, logrando un producto de determinada calidad y a un costo lo más bajo posible. Quien se dedique al mantenimiento de cualquier tipo de instalación debe ofrecer la reparación de los desperfectos que surjan y las modificaciones necesarias para que éstos no aparezcan.

Para lanzar un nuevo producto, se hacen los estudios de mercado correspondientes (clientes y sus preferencias) y también se estudia el proceso productivo más adecuado. Mantenimiento debe conocer las posibles averías que se pueden producir en las instalaciones, máquinas o equipos y estudiar los procesos para evitarlas o, si es necesario, repararlas.

No podemos conformarnos con detectar una falla y repararla, lo importante es descubrir el origen del desperfecto y prever que no se repita en el futuro. Es una tarea de aprendizaje, utilizando la experiencia propia y ajena, que nos va permitiendo predecir cualquier inconveniente en la producción.

Definimos “falla” como el deterioro o desperfecto en las instalaciones, máquinas o equipos que no permite su normal funcionamiento.

La experiencia nos demuestra que no existen instalaciones, máquinas o equipos que estén libres de fallas a lo largo de su vida útil, y que con una adecuada gestión de mantenimiento es posible reducir a un mínimo los perjuicios que ocasiona algún desperfecto.

En la industria, se suele considerar como “avería” a cualquier anomalía que impida mantener los niveles de producción. Pero el concepto es aún más amplio y debe tener en cuenta la falta de calidad del producto, la falta de seguridad, el mal aprovechamiento de la energía disponible y la contaminación ambiental.

Las instalaciones, máquinas o equipos son diseñados para alcanzar ciertos niveles de producción y también, deben entregar un producto con una calidad esperada. Cualquier circunstancia que haga descender el nivel de calidad debe considerarse una “avería”.

Es importante tener en cuenta que si el estado de algún equipo pone en riesgo la seguridad de personas o el buen funcionamiento de la instalación, de igual modo estamos ante una falla.

El ambiente es esencial para cualquier actividad humana y mantenerlo descontaminado debe ser un objetivo que en un proceso de fabricación no se puede perder de vista.

Es por ello que consideraremos también una avería a cualquier polución que de alguna manera ponga en peligro el normal desarrollo de la vida humana. Es responsabilidad de quien realice el mantenimiento de una instalación asegurar que éstas cumplan con las normativas vigentes destinadas a proteger el ambiente.

Todo lo dicho anteriormente completa y ayuda a comprender mejor la definición de una avería o falla. El normal funcionamiento de una instalación implica mantener el nivel productivo, la calidad del producto, la seguridad de las personas y la calidad del medio ambiente.

CLASIFICACIÓN DE LAS FALLAS EN FUNCIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD

Los distintos aspectos que una actividad productiva implica nos permiten clasificar las fallas de la siguiente manera:

- Fallas que afectan a la *producción*.
- Fallas que afectan a la *calidad del producto*.
- Fallas que comprometen la *seguridad de las personas*.
- Fallas que degradan el *ambiente*.

Las dos primeras afectan directamente al producto sea en su cantidad y/o calidad, las otras dos afectan al entorno.

En la realidad, se producen fallas que combinan algunos de los casos de esta primera clasificación y también, se pueden hacer muchas otras clasificaciones si tomamos diferentes conceptos como parámetro.

Para comenzar, trataremos de analizar el origen de las fallas:

- **Mal diseño o error de cálculo en las máquinas o equipos:** se dan casos en que el propio fabricante, por desconocer las condiciones en las que trabajará, realiza un diseño no adecuado de estas máquinas o equipos. Se puede estimar este error en un 12% del total de las fallas. Este tipo de situación es muy difícil de revertir, y es probable que tengamos que asumir un alto índice de desperfectos.
- **Defectos de fabricación de las instalaciones, máquinas o equipos:** si en la fabricación se descuida el control de la calidad de los materiales o de los procesos de fabricación de las piezas componentes, las máquinas e instalaciones pueden poseer defectos que se subsanan reemplazando la pieza defectuosa. Este tipo de error se puede encontrar alrededor de un 10% del total de las fallas.
- **Mal uso de las instalaciones, máquinas o equipos:** es la más frecuente de los casos de fallas y se producen por falta de conocimiento del modo de

operarlas, o por usarlas para realizar trabajos para los cuales no fueron diseñadas. Alcanzan al 40% del total de las fallas.

- **Desgaste natural o envejecimiento por el uso:** debido al paso del tiempo y al trabajo cotidiano de las instalaciones, máquinas o equipos, éstos alcanzan niveles de desgaste, de abrasión, de corrosión, etc. A este tipo de falla la estimamos en un 11%.
- **Fenómenos naturales y otras causas:** las condiciones atmosféricas pueden influir en el normal funcionamiento de las instalaciones, máquinas o equipos, y junto con otro tipo de fallas pueden ocasionar roturas y paradas espurias de la producción. Las suponemos en un 27% de las fallas totales.

Esta clasificación es importante desde el punto de vista de la producción, desde la perspectiva del mantenimiento, pueden ser interesantes otros tipos de clasificaciones.

CLASIFICACIÓN DE LAS FALLAS EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD Y FORMA EN LA QUE APARECEN

Una de esas clasificaciones son aquellas que se hacen:

- En función de la **capacidad de trabajo** de la instalación.
- En función de la **forma de aparecer** la falla.

En función de la capacidad de trabajo, podemos distinguir, a su vez, averías **totales** y fallas **parciales**. Las totales son aquellas que ponen fuera de servicio a todo el equipo y las parciales solo a una parte de él. Dependiendo, la aparición de una o de otra, de la organización de la producción (en paralelo o en serie) y del grado de complejidad de la instalación.

Cuando en un motor encendido por chispa se avería la bobina encargada de elevar la tensión que alimenta a la bujía, estamos ante una falla total, porque el motor no puede seguir funcionando y es imprescindible reemplazar el elemento para que el sistema pueda seguir operando. Si la falla fuera solo en una bujía, el motor podría seguir entregando energía, aunque no con la potencia normal, porque los otros cilindros que funcionan en paralelo, siguen en marcha. En este caso, estamos ante una falla parcial.

Según la forma en la que aparece el problema, se pueden encontrar fallas **repentinas** y fallas **progresivas**. Las repentinas aparecen sin mediar un evento que pudiera anunciar la aparición de una falla, están asociadas a roturas de piezas o componentes de la instalación antes de lo previsto, o a una suma de circunstancias que no se pueden predecir. Las progresivas tienen generalmente su origen en el desgaste paulatino de algún elemento, en la abrasión, en la falta de ajuste, etc. Este tipo de falla da muchas señales antes de producirse, avisa la

proximidad de una avería y, con un seguimiento, se puede determinar con mucha exactitud el momento en el que se producirá el desperfecto.

Siguiendo con el ejemplo del motor de combustión interna, una falla repentina sería la rotura de la tapa del distribuidor y, una falla progresiva, cuando se desgasta el platino.

Esta es una falla que se puede detectar mucho antes de que se produzca inspeccionando el desgaste que presenta el platino. Además, se puede estimar la duración del elemento y programar su recambio antes de que su estado pueda ocasionar algún inconveniente.

En un diagrama de cuatro cuadrantes, podemos combinar estas dos clasificaciones.

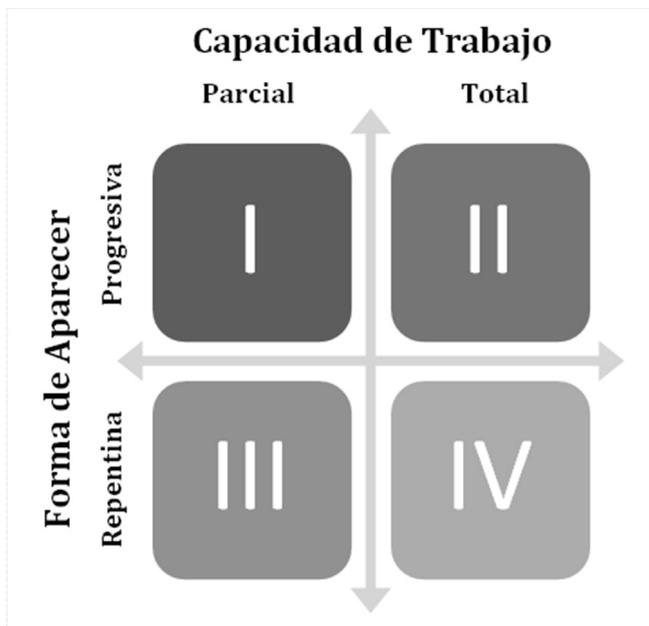


Figura 1.1 Diagrama de cuatro cuadrantes.

En el cuadrante I, ubicamos aquellas fallas que aparecen progresivamente y que no afectan a la línea de producción completa. En principio, este tipo de avería es la más leve, porque con un seguimiento se puede detectar y corregir el problema antes de que se extienda a otros sectores de la instalación. Por las características del desperfecto, contamos con un cierto tiempo para encontrar la solución, pero este tiempo no se debe extender mucho porque las consecuencias pueden ser cada vez peores.

En el cuadrante II, colocamos las fallas que si bien son progresivas afectan a la instalación entera. Son más serias que las anteriores y requieren un tratamiento más urgente. En los cuadrantes siguientes III y IV, va creciendo el grado de

dificultad para detectar y remediar el desperfecto, como así también la urgencia con la que debe ser abordado y terminado el problema.

Son muy útiles también otros tipos de clasificación de las fallas, como por ejemplo:

- Según la **técnica** que debemos aplicar para subsanarla, eléctrica, mecánica, instrumental, electrónica, etcétera.
- Según si la **originó** otro falla o no, distinguiendo así fallas dependientes o independientes.
- Según el **tiempo** que dura la falla, se clasifica en continua, intermitente o errática.

TIEMPOS RELATIVOS AL MANTENIMIENTO

En el marco de la gestión de mantenimiento, se distinguen los tiempos de paro TA imputables al mantenimiento que se llaman TAM y los no imputables al mantenimiento TAF (F de fabricación).

Por la forma de recogida de los tiempos, los tiempos de espera serán imputados a la fabricación (TAF). En efecto, los contadores horarios que afectan a una máquina totalizan solamente los TBF.

Entonces, la codificación puede distinguir para cada paro, el tiempo de espera de los diferentes tiempos de indisponibilidad.

Se llamará TO al “Tiempo Requerido” de la norma, con referencia al “Tiempo de Apertura”, técnica utilizada corrientemente en las cadenas de producción.

$$TO = \sum TBF + \sum TAM + \sum TAF$$

TO : Tiempo Requerido

TBF : Tiempo de Buen Funcionamiento

TAM : Tiempo de Mantenimiento

TAF : Tiempo de Espera

Proceso evolutivo de las fallas

Velocidad de manifestación

Las fallas se manifiestan según uno de los dos siguientes modelos:

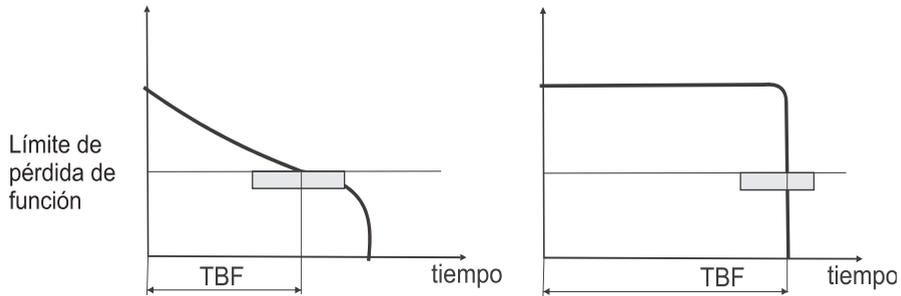


Figura 1.2 Modelos de falla.

5 IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS FALLAS

Es importante identificar las fallas para luego poder encarar su análisis y en base a esto solucionar los problemas. No siempre es fácil realizar ésta tarea por lo que se han desarrollado numerosas técnicas para identificar y analizar las fallas. Estas técnicas no solo se aplican en mantenimiento, sino que también son de utilidad para los diversos aspectos donde se implementa el mejoramiento continuo: calidad de procesos, diseño y desarrollo de productos, control de inventarios, etc. Por la facilidad de uso y funcionalidad, las técnicas gráficas son las más difundidas.

Normalmente, el estudio de las fallas requiere de la identificación y análisis del problema. A continuación, se desarrollan los métodos que pueden ser utilizados para tal fin.

ANÁLISIS DE LA PRIORIDAD DE REPARACIÓN

Para establecer la importancia entre los diferentes equipos y poder determinar la prioridad que será requerida por cada máquina, es conveniente estudiar cada equipo con respecto al conjunto de instalaciones con las que cuenta la empresa.

Este análisis conviene realizarlo según los siguientes factores:

- Producción
- Calidad
- Mantenimiento
- Medio ambiente
- Seguridad

Influencia sobre Producción: PORCENTAJE de tiempo de uso del equipo:

- Equipo duplicado o posibilidad de recuperar la producción con otro equipo.
- Influencia sobre los otros elementos productivos.

Para ponderar la importancia, se presentan las tablas que serán estudiadas y adaptadas a cada planta en particular.

Porcentaje de uso

<i>PONDER</i>	<i>% USO</i>
4	80%
2	Entre 50 y 80%
1	50%

Instalación alternativa

<i>PONDER</i>	<i>ALTERNATIVA</i>
5	Sin posibilidad
4	Recurso externo
2	Recurso en stock
1	Equipo duplicado

Influencia en el resto de la planta

<i>PONDER</i>	<i>INFLUENCIA</i>
5	Sobre toda la planta
4	Importante
2	Relativa
1	Solo el equipo

Importancia sobre la calidad:

- Pérdidas por no cumplir requisitos de calidad.
- Influencia del equipo en la calidad final del producto.

Para ponderar la importancia sobre la calidad, se presenta una tabla que será ajustada para cada planta.

Importancia sobre la calidad del producto final

<i>PONDER</i>	<i>IMPORTANCIA</i>
5	Decisiva
4	Importante retrabajo
2	Relativa dentro de la tolerancia
1	Nula

Influencia sobre el mantenimiento:

- Frecuencia o costo de las averías.
- Número de horas paradas por mes.
- Grado de especialización del equipo y personal para atenderlo.

Importancia sobre costos de mantenimiento:

Estos valores dependerán del tipo de maquinaria de la planta.

Número de horas de parada por avería

<i>PONDER</i>	<i>HORAS PARADA</i>
5	3 horas
2	1 a 3 horas
1	1 hora

Según medio ambiente:

- Influencia importante.
- Influencia relativa.

Importancia sobre el medio ambiente

<i>PONDER</i>	<i>IMPORTANCIA</i>
5	Grave
2	Relativa
1	Nula

Según la seguridad:

- Riesgo de las personas.
- Riesgo de los equipos.

Importancia sobre la seguridad

<i>PONDER</i>	<i>IMPORTANCIA</i>
5	Riesgo del operario
2	Riesgo del equipo
1	Relativo

Se insiste sobre la necesidad de que cada empresa ajuste los valores que se encuentran en las tablas para adaptarlas a casos concretos.

Con la suma de las puntuaciones, se establecen grupos de equipos. Por ejemplo, los que superan los 30 puntos, entre 10 y 30 y los que tienen menos de 10 puntos.

Esta ponderación será importante para diseñar el sistema de mantenimiento y la planificación, las prioridades en los mantenimientos preventivos y los stocks de repuestos.

PROCEDIMIENTOS PARA ANALIZAR LOS PROBLEMAS

Antes de investigar un problema, es fundamental asegurarse de que se lo comprende perfectamente. Esto supone definir los síntomas del problema y comprender el proceso que lo provoca, así se evita desperdiciar esfuerzos innecesariamente. Cuando se comprende y define un problema se ha avanzado bastante en su resolución.

El Diagrama de Pareto

Frecuentemente, el personal técnico de mantenimiento y producción debe enfrentarse a problemas que tienen varias causas o son la suma de varios problemas. El Diagrama de Pareto permite seleccionar por orden de importancia y magnitud, las causas o problemas que se deben investigar hasta llegar a conclusiones que permitan eliminarlos de raíz.

La mayoría de los problemas son producidos por un número pequeño de causas y éstas son las que interesan descubrir y eliminar para lograr un gran efecto de mejora. A estas pocas causas que son las responsables de la mayor parte del problema se las conoce como vitales. Las causas que no aportan en magnitud o en valor al problema se las conoce como triviales. Aunque no aporten un valor a la mejora, no significa que se deban dejar de lado o descuidarlas. Se trata de ir eliminando en forma progresiva las causas vitales. Una vez eliminadas éstas, es posible que las causas triviales se lleguen a transformar en vitales.

El Diagrama de Pareto es un instrumento que permite graficar por orden de importancia, el grado de contribución de las causas que estamos analizando o el conjunto de problemas que queremos estudiar. Se trata de clasificar los problemas y/o causas en vitales y triviales como podemos observar en la Figura 1.3.

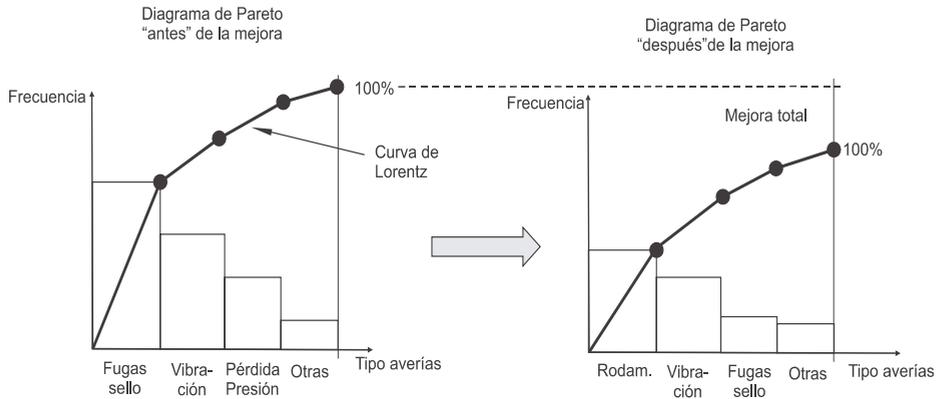


Figura 1.3 Diagrama de Pareto: comparativo antes y después de la mejora.

Para construir el Diagrama de Pareto, se pueden seguir los siguientes pasos:

Paso 1

En el primer paso, se decide la clase de problema que será investigado. Se define el cubrimiento del análisis, si se realiza a una máquina completa, una línea o un sistema de cierto equipo. Se decide qué datos serán necesarios y la forma de clasificarlos. Este punto es fundamental, ya que se pretende preparar la información para facilitar su estratificación posterior.

Paso 2

Preparar una hoja de recogida de datos. Si la empresa posee un programa informático para la gestión de los datos, se preparará un plan para realizar las búsquedas y la clasificación de la información que se desea. Es, en este punto, cuando se puede realizar la estratificación de la información sugerida anteriormente.

Paso 3

Clasificar en orden de magnitud la información obtenida. Se recomienda indicar con letras (A, B, C,...) los temas que se han ordenado.

Paso 4

Dibujar dos ejes verticales (izquierdo y derecho) y otro horizontal.

1) Eje vertical.

- En el eje vertical de la izquierda, se marca una escala desde 0 hasta el total acumulado.

- En el eje vertical de la derecha, se marca una escala desde 0 hasta 100%.
- 2) Eje horizontal.
- Se divide este eje en un número de intervalos de acuerdo al número de clasificaciones que se pretende realizar. Es allí donde se escribirá el tipo de avería que se ha presentado en el equipo que se estudia.

Paso 5

Construir el diagrama de barras.

Paso 6

Marcar con un punto los porcentajes acumulados y unir comenzando desde cero cada uno de estos puntos con líneas rectas obteniendo como resultado la curva acumulada. A esta curva se le conoce como la **Curva de Lorentz**.

Paso 7

Escribir notas de información del diagrama como título, unidades, nombre de la persona que elaboró el diagrama, período comprendido y número total de datos.

Resumiendo

Un Diagrama de Pareto es el primer paso para eliminar las averías importantes del equipo. En todo estudio, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Toda persona involucrada deberá colaborar activamente.
- Concentrarse en la variable que mayor impacto produzca en la mejora.
- Establecer una meta para la mejora.

Con la cooperación de todos, se podrán obtener excelentes resultados. Uno de los objetivos del Diagrama de Pareto es el de mostrar a todas las personas, las áreas prioritarias en las que se deben concentrar todas las actividades y el esfuerzo del equipo.

El Diagrama de Pareto presenta claramente la magnitud relativa de los problemas y suministra a los técnicos una base de conocimiento común sobre la cual trabajar. Una sola mirada basta para detectar cuáles son las barras del diagrama que componen el mayor porcentaje de los problemas. La experiencia demuestra que es más fácil reducir a la mitad una barra alta, que reducir una de poca altura a cero.

Para mayor claridad, se examina un caso como ejemplo:

Se supone que en un departamento de montaje de una industria se producen determinadas fallas. Se aplicará el Diagrama de Pareto con las siguientes fases.

Paso 1: Decidir cómo clasificar los datos.

Se pueden clasificar por tipo de problema, por cadena de montaje, por turno de trabajo, por fase de trabajo, etc. Se establece por tipo de problema.

Paso 2: Elegir el período de observación.

En el caso del ejemplo, dependerá de la cantidad de productos fabricados. Si la cantidad diaria es elevada, será suficiente un período breve; por el contrario, cuando la producción es reducida será necesario un período más prolongado. Se decide realizar el relevamiento por 3 meses.

Paso 3: Obtener los datos y ordenarlos.

En esta fase, se tendrá que preparar una hoja para recoger los datos según las pautas establecidas en las fases precedentes: tipo de problema y un período de 3 meses.

Nº	Defecto	Meses			Total
		Enero	Febrero	Marzo	
1	Diámetro sobre Tol.	250	245	230	725
2	Pintura	36	33	37	106
3	Diámetro bajo Tol.	80	82	85	247
4	Mal calado	25	22	17	64
5	Rugosidad	60	65	58	183
TOTAL					1325

Tabla 1.1 Datos de fallas sin ordenar.

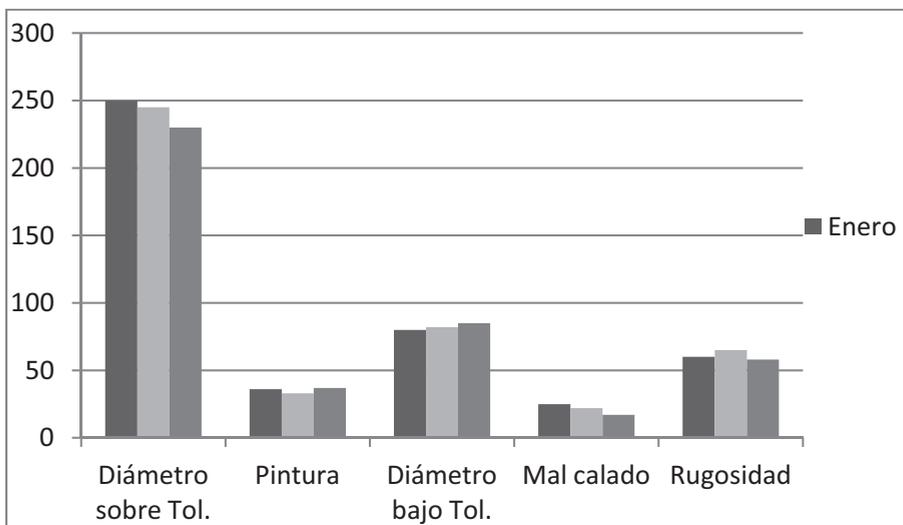


Figura 1.4 Gráfico de barras de datos por tipo de falla.

A continuación, se procede a ordenar los conceptos por orden de importancia en una tabla como se muestra en la Tabla 1.2 el defecto más numeroso se dispone en primer lugar, en segundo lugar el defecto que le sigue por orden de frecuencia, y así sucesivamente, etc. En la última columna, se indica la cantidad total de problemas.

Nº	Defecto	Total
1	Diámetro sobre Tol.	725
3	Diámetro bajo Tol.	247
5	Rugosidad	183
2	Pintura	106
4	Mal calado	64
	<i>TOTAL</i>	<i>1325</i>

Tabla 1.2 Datos ordenados por cantidad de falla.

Paso 4: Preparar los ejes cartesianos para el diagrama. En el **eje X**, se dispondrán los tipos de defectos y, en el **eje Y**, las cantidades de defectos. Se pueden graficar los problemas según las cantidades o en función de los porcentajes con respecto al total de problemas.

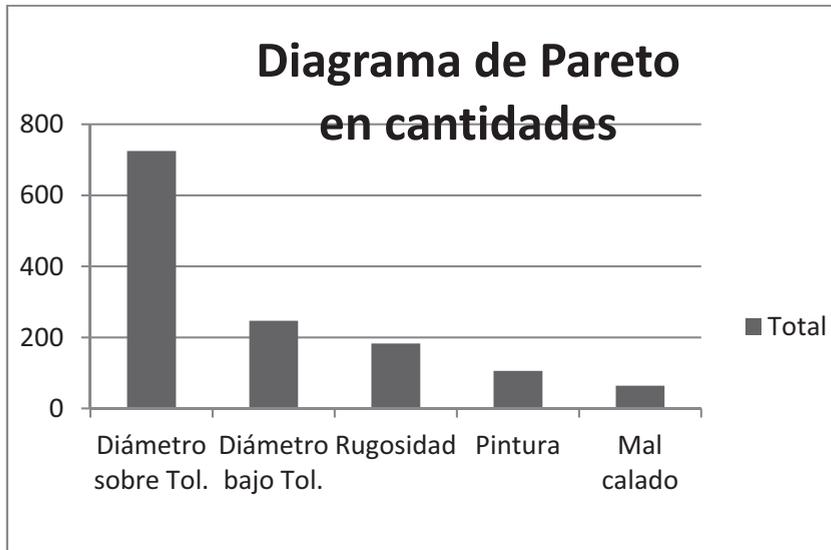


Figura 1.5 Cantidades por defecto.

Los defectos se ordenan en forma similar a la tabla, en orden de mayor a menor frecuencia. Para definir la escala del **eje Y**, se tiene que considerar que el valor más grande corresponde al primer defecto, según lo determinado, y será la base para la escala de valores absolutos o porcentual. El **eje X** se divide proporcionalmente según la cantidad de grupos de problemas a graficar, en el ejemplo, son 5 grupos.

Paso 5: Diseñar el diagrama.

N°	Defecto	%
1	Diámetro sobre Tol.	54,72
3	Diámetro bajo Tol.	18,64
5	Rugosidad	13,81
2	Pintura	8,00
4	Mal calado	4,83
	<i>TOTAL</i>	<i>100</i>

Tabla 1.3 Defectos en función del porcentaje.

Se procede a representar en escala, con bastones los valores absolutos y/o porcentuales que se han determinado en la tabla.

Otra forma de visualizar los problemas es proceder a ordenar también los conceptos por orden de importancia en una tabla y, en la última columna, se indica la cantidad en porcentaje.

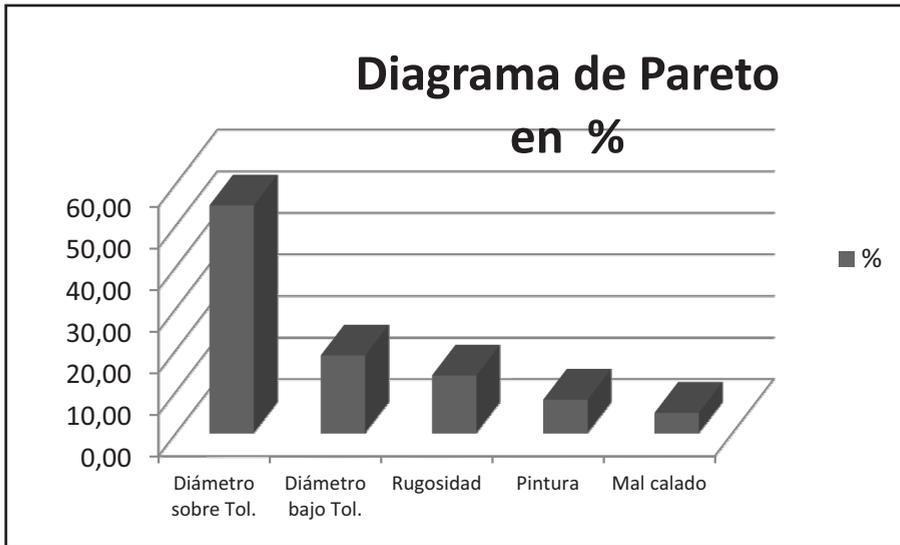


Figura 1.6 Diagrama de Pareto en 3D.

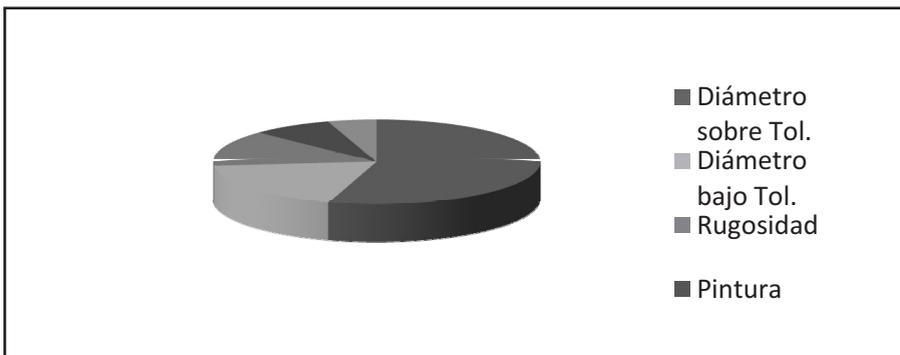


Figura 1.7 Diagrama de Pareto en forma de torta (pastel).

El Diagrama Causa-Efecto

Este diagrama se utiliza para representar la relación entre algún **efecto** y todas las **causas** posibles que lo pueden originar.

Todo tipo de problema, como el funcionamiento de un motor o una lámpara que no enciende, puede ser sometido a este tipo de análisis.

Generalmente, se lo presenta con la forma del espinazo de un pez, de donde toma el nombre alternativo de **Diagrama de Espina de Pescado**. También se lo llama **Diagrama de Ishikawa** en reconocimiento a su impulsor.

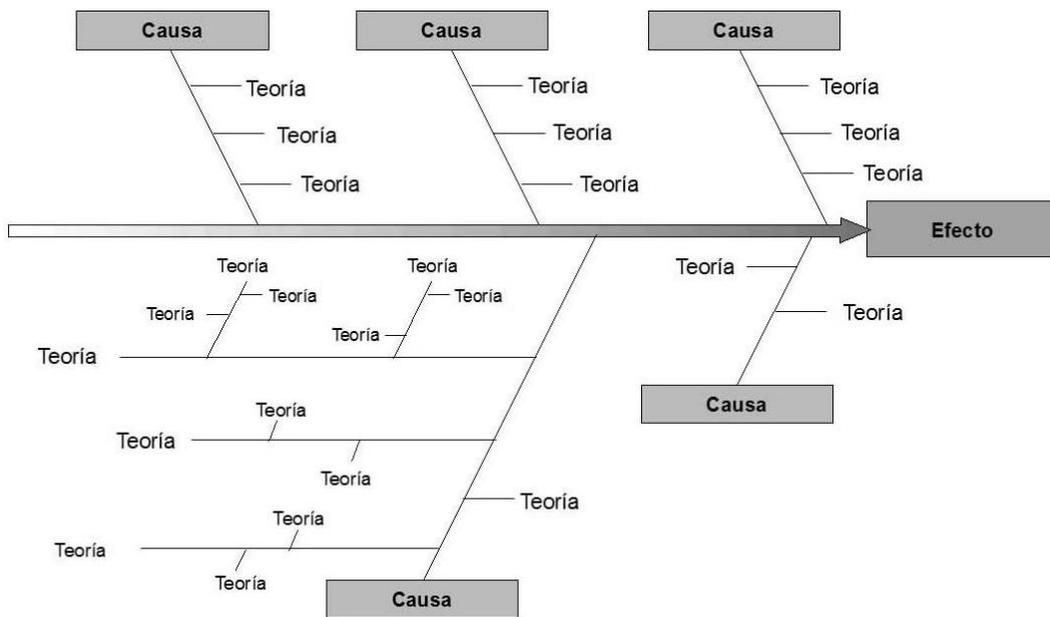


Figura 1.8 Diagrama genérico de Causa Efecto.

Los diagramas de causa-efecto se construyen para ilustrar con claridad cuáles son las posibles **causas** que producen el problema. Un eje central se dirige al **efecto**. Sobre el eje, se disponen las posibles **causas**. El análisis causa-efecto es el proceso mediante el cual se parte de una definición precisa del efecto que se desea estudiar. Posteriormente, se disponen todas las causas que pueden provocar dicho efecto. A las causas conviene agruparlas por tipos, a modo de ejemplo, las originadas por motivos eléctricos, otras por elementos mecánicos, hidráulicos, etc. Cada grupo se dispone en un subeje.

El análisis causa-efecto puede dividirse en tres etapas:

- Definición del efecto que se desea estudiar.
- Construcción del diagrama de causa-efecto.
- Análisis causa-efecto del diagrama construido.

La definición del efecto que se desea estudiar representa la base de un eficaz análisis. Efectivamente, siempre es necesario efectuar una precisa definición del

efecto como objeto de estudio. Cuanto mayor sea el desarrollo del efecto, más directo y eficaz podrá ser el análisis de las causas. Así, si el motor del automóvil no arranca, ¿cuáles pueden ser las causas de la falta de arranque? Evidentemente, las causas posibles pueden ser múltiples.

Si se definiera el efecto como: el motor no arranca cuando está muy frío y el vehículo se encuentra a la intemperie. En este caso, el análisis será más preciso y estamos eliminando una serie de causas que no corresponden a la situación del vehículo. Invirtiendo el razonamiento se puede decir que cuanto más indefinido se exprese el efecto que se desea estudiar, más amplio e indeterminado será el diagrama causa-efecto. Por lo tanto, más vago y de mayor complejidad, el análisis y resolución del problema.

Cuando se tiene bien definido el efecto que se desea estudiar, se puede proceder a las dos fases sucesivas si se tiene la prudencia de separar la segunda fase –construcción del diagrama– de la tercera –análisis y valoración de las diversas causas.

De este modo, es posible garantizar que la definición de las posibles causas sea innovadora y creativa, mientras que el análisis crítico de las causas debe ser lo más realista posible. En realidad, cuanto más ideas y sugerencias contenga el Diagrama de Causa-Efecto, tanto más eficaz será para la determinación de la causa o las causas (ya que el problema puede ser originado por más de una).

Construcción del Diagrama de Causa-Efecto

La construcción del mismo se inicia escribiendo el efecto que se desea estudiar en el lado derecho de una hoja de papel. A ello, debe seguir la búsqueda de todas las posibles causas que sobre él influyen.

Para esa búsqueda, se pueden seguir tres métodos, que se diferencian por la forma en la que se realizan. Son los siguientes:

- Método por clasificación de las causas.
- Método por fases del proceso.
- Método por enumeración de las causas.

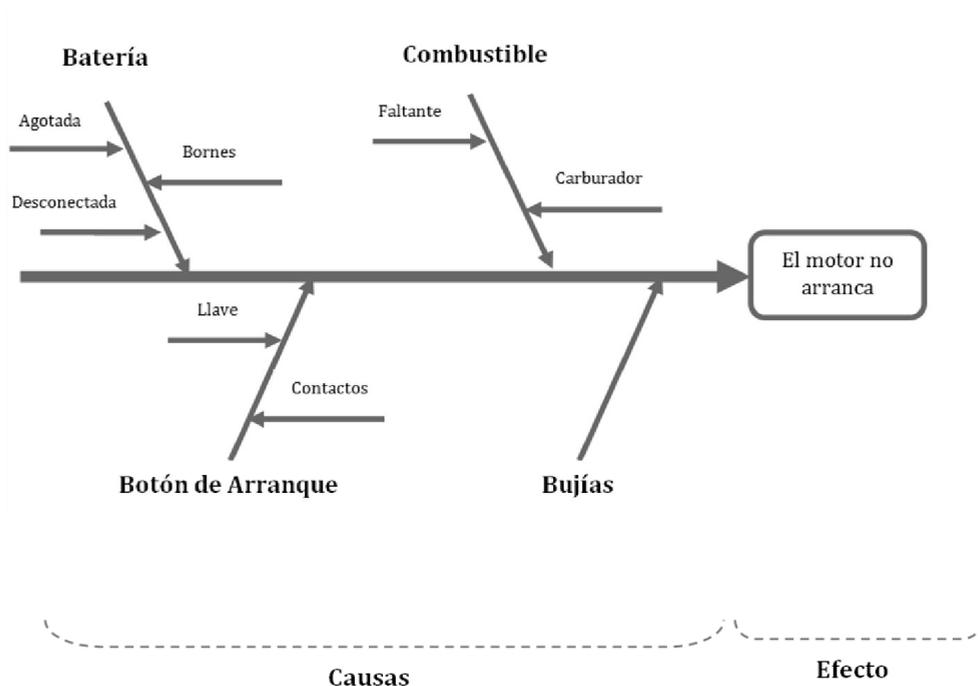


Figura 1.9 Ejemplo N: 1- diagrama Causa Efecto.

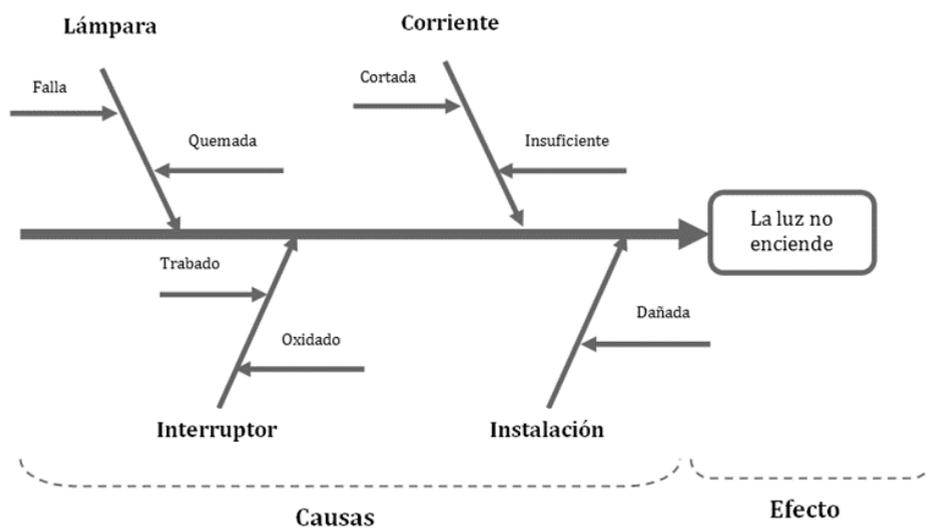


Figura 1.10 Ejemplo N: 2- diagrama Causa Efecto.

Método de las 5M

Conforme al presente método, se procede a analizar el problema y a definir las posibles causas. Generalmente, este proceso se realiza con el grupo de trabajo encargado de la resolución del problema.

Para la aplicación de este método, se sigue un orden para considerar las causas de los problemas, partiendo de la premisa de que éstas están agrupadas según cinco criterios y, por ello, se denomina de las 5M.

Las M corresponden a:

- Máquinas
- Mano de obra
- Métodos
- Materiales
- Medio ambiente

Las 5M suelen ser, por lo general, un punto de referencia que abarca casi todas las principales causas de un problema, por lo que constituyen los brazos principales del Diagrama de Causa-Efecto.

Estructura básica de las 5M

En este caso, las subdivisiones se realizan sobre la base de las 5M, además de organizar las ideas, estimulan la creatividad. En esta fase, quienes intervienen deben liberarse de preconcepciones, en caso contrario, se puede condicionar la búsqueda a las soluciones que ya se han propuesto o probado y que no han aportado la solución. Las causas sugeridas se incluyen situándolas en el brazo correspondiente. En el ejemplo, se ilustra con algunas de las posibles causas en forma genérica.

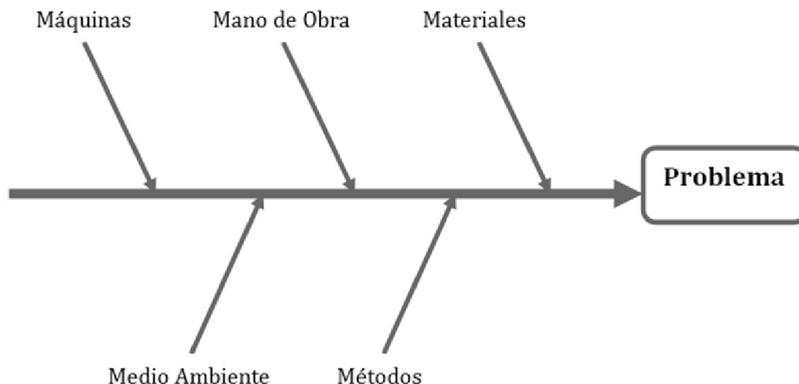
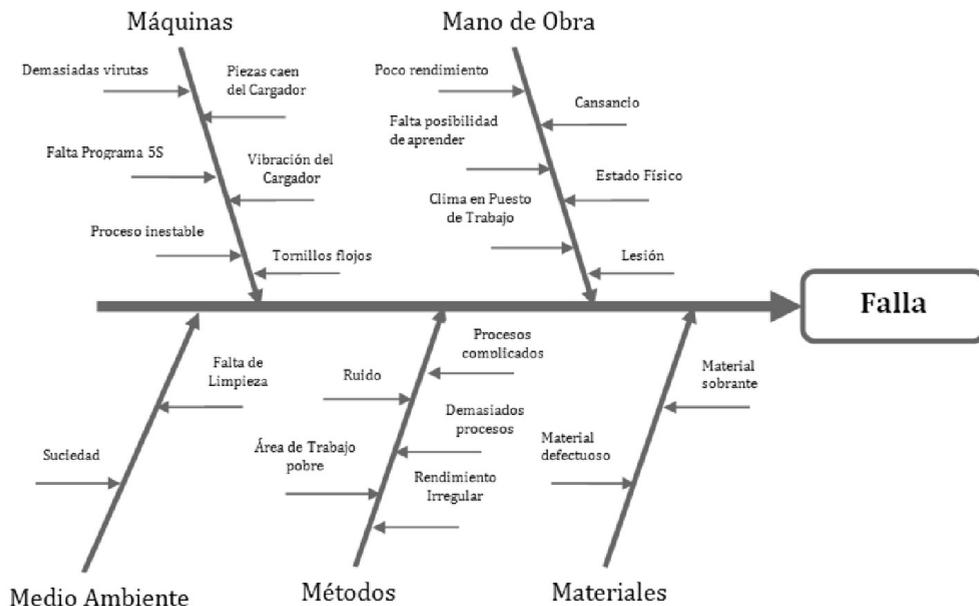


Figura 1.11 Estructura 5M.

Ejemplo del diagrama de las 5M**Figura 1.12 Ejemplo de aplicación 5M.****Método Brainstorming**

Este método *Brainstorming* consiste básicamente en que todos los participantes expongan sus ideas y que las mismas sean anotadas, luego comentadas, para finalmente llegar a las conclusiones.

Para llevar a cabo esta actividad, es conveniente establecer un orden de prioridades y seguir los siguientes pasos:

- 1) Nombrar a un **moderador del grupo**, quien debe asegurar que todos comprendan el problema. Será el encargado de observar que se anoten las ideas que se propongan en un lugar visible, preferentemente construyendo el diagrama.
- 2) Antes de iniciar la propuesta de ideas, dar 5 a 6 minutos en silencio para pensar el problema en forma individual.
- 3) Por turnos, cada miembro enuncia una idea. No se permiten comentarios ni críticas. En esta etapa, solo pueden intervenir el encargado de anotar las ideas y a quien le corresponde el turno.
- 4) Cuando alguno de los participantes no tenga ideas para sugerir, el moderador esperará poco tiempo y pasará al turno de quien continua. Cuando las ideas hayan comenzado a agotarse, aproximadamente a los 30

minutos, el grupo analiza y discute las que ya fueron anunciadas. Las ideas duplicadas o relacionadas se agrupan. Se pueden descartar aquellas que no tengan un fundamento serio, siempre sin realizar críticas.

- 5) De todas las ideas, se analizan cuáles pueden ser las más probables. Se puede aplicar el Diagrama de Pareto y sobre las causas que concentran la atención, realizar un relevamiento de datos.

En algunos casos, la causa puede estar en más de alguna categoría, según la decisión del grupo se la dispone por mayoría en las distintas categorías o en la que se considere más indicada.

La revisión directa del diagrama puede impulsar al grupo a decidir una profundización de la investigación en un área determinada.

LAS HERRAMIENTAS BÁSICAS PARA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Las herramientas básicas que más se utilizan para ayudar a definir un problema son las listas de comprobación y los diagramas de flujo.

Lista de comprobación

¿Qué?	¿Cuál es el problema? ¿Qué se ha observado?
¿Quién?	¿Quién interviene en el problema? ¿Quién está antes o después del problema en el flujo de trabajo?
¿Dónde?	¿Dónde se manifiesta? ¿Dónde se origina?
¿Cuándo?	¿En qué ocasión aparece? ¿En qué momentos y por cuánto tiempo?
¿Cómo?	¿Cómo se manifiesta? ¿Con cuánta frecuencia ocurre? ¿Cuál es la importancia del problema? ¿Cuál es la importancia en tiempo perdido? ¿Cuál es la importancia en costos? ¿Cuál es la importancia en cuanto a la frecuencia?
¿Por qué?	¿Por qué ocurre el problema? <i>Pregunta clave que se debe responder.</i>

Este tipo de consideraciones centra la atención sobre el problema y contribuye a dar cohesión al grupo de trabajo.

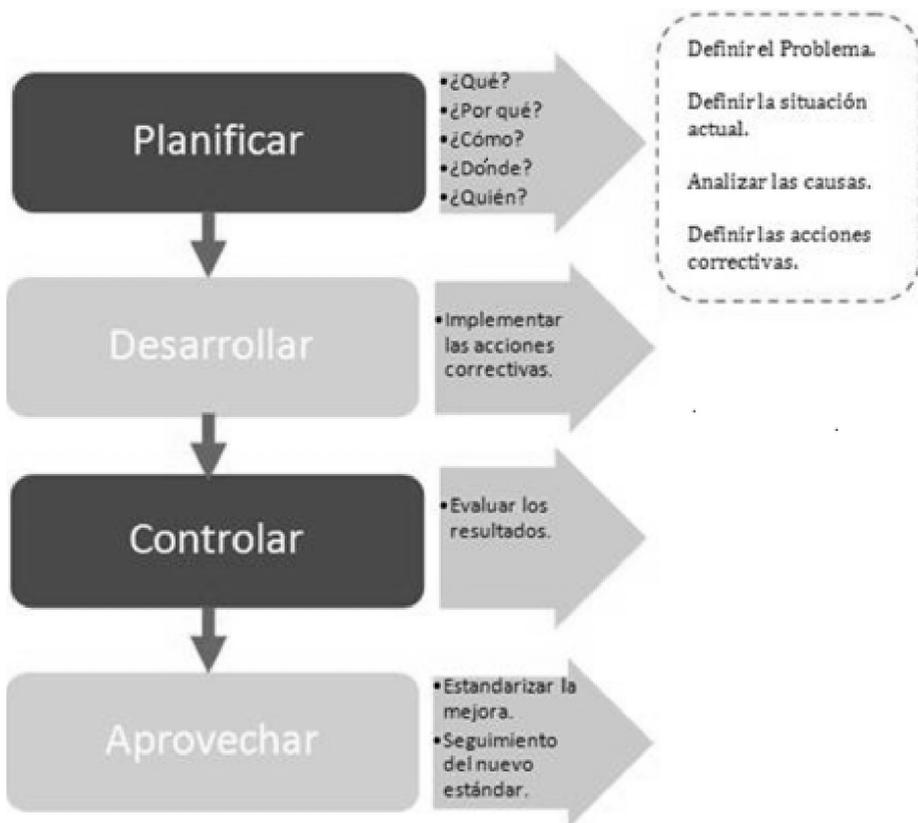


Figura 1.13 Esquema lista de comprobación.

Los diagramas de flujo

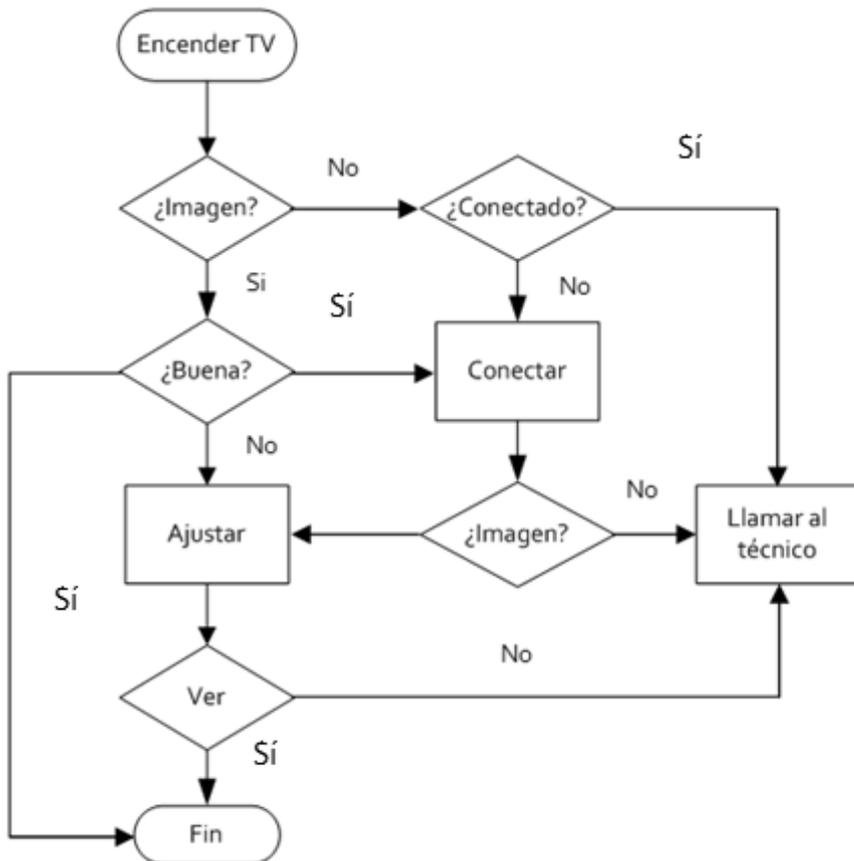
Estos diagramas aportan un medio para asegurar que se entienden todas las etapas del proceso y sus relaciones con la etapa siguiente. Constituye un dibujo que describe el proceso como una serie de actividades, cada una de las cuales está vinculada con la siguiente. La causa del problema puede radicar en cualquiera o en varias de las actividades asociadas al proceso.

Es fundamental conocer las interacciones entre actividades antes de intentar buscar causas posibles del problema.

A continuación, se señalan las siguientes etapas:

- Definir claramente los límites del proceso.
- Utilizar los símbolos normalizados.
- Asegurar que cada paso tenga una salida.

- Cuando un proceso tiene más de una salida, usar un bloque de decisión. El siguiente diagrama ilustra un ejemplo sencillo.



6 TASA DE FALLA

La tasa de falla $\lambda(t)$ es un estimador de la fiabilidad y se expresa frecuentemente en “avería/hora”.

$$\lambda(t) = \frac{\text{número de fallas}}{\text{duración}}$$

Siendo $N(t)$ el número de dispositivos funcionando en el instante t y $N(t + \Delta t)$ el número de dispositivos en funcionamiento en el instante $t + \Delta t$, tenemos que:

$$N(t) - N(t + \Delta t) = \Delta N > 0$$

donde ΔN es la cantidad de dispositivos que fallan. Así, nos queda:

$$\lambda(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t) \cdot \Delta t}$$

LA CURVA DAVIES O DE LA BAÑERA

Dado que la tasa de las fallas varía respecto al tiempo, su representación típica tiene forma de bañera, debido a que la vida de los dispositivos tiene un comportamiento que viene reflejado por tres etapas diferenciadas:

- Fallas iniciales o de juventud (Tasa decrece).
- Fallas normales o de madurez (Tasa constante).
- Fallas de desgaste o de obsolescencia (Tasa aumenta).

En la Figura 1.14, se puede apreciar la representación de la curva típica de la evolución de la tasa de fallas.

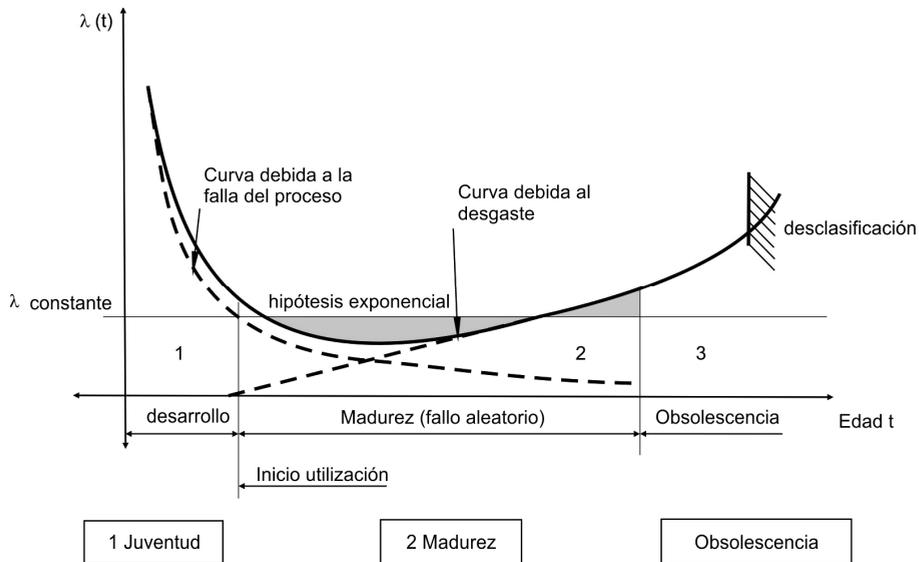


Figura 1.14 Curva evolución de la tasa de fallas.

CICLO DE VIDA DE UN EQUIPO

Al ciclo de vida de un equipo se lo puede dividir en tres partes:

- Infancia

Puesta en funcionamiento del equipo, máquina o sistema. Esto implica alta probabilidad de fallas por la falta de adaptación al medio ambiente, fallas de control de calidad, ajuste y asentamiento de elementos, es decir que el equipo o sistema puede no funcionar óptimamente por problemas intrínsecos al diseño y/o fabricación, también puede deberse a la falta de conocimiento del funcionamiento correcto por parte del operario.

- Madurez

La segunda fase es conocida, también como vida útil de un sistema, es de mayor duración relativa y se caracteriza porque el índice de fallas es prácticamente constante.

- Vejez

Esta fase representa la vejez del sistema por desgaste, siendo el aumento de la probabilidad de producirse una falla gradual y constante, aquí la actividad de mantenimiento es lo más relevante y se manifiestan con mayor énfasis, distintos tipos de mantenimiento.

A continuación, observamos una curva estándar:

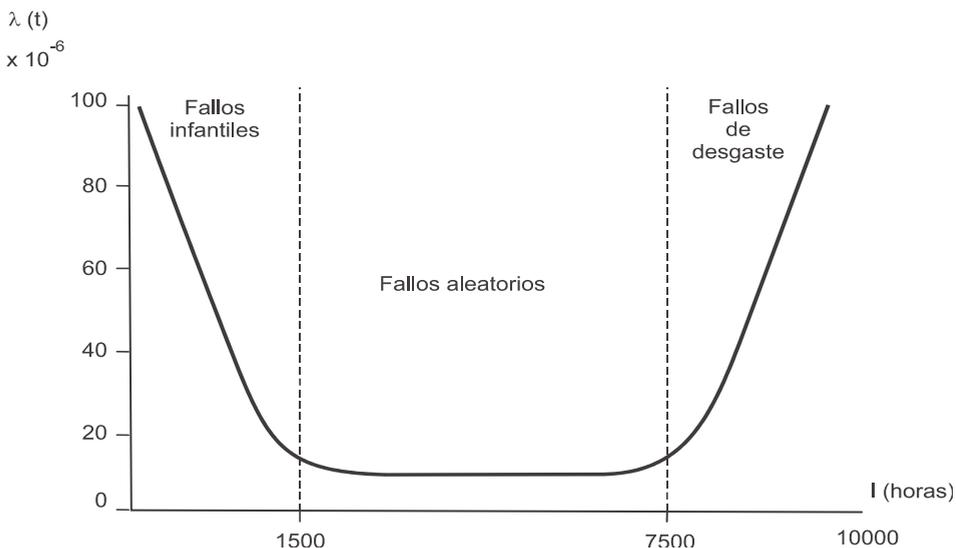


Figura 1.15 Curva de tasa de falla del ejemplo.

Ejemplo

Se han estudiado 70 vehículos durante el período que va de 80000 km a 90000 km, han sido reparadas 41 averías. ¿Cuál es la tasa de falla $\lambda(t)$ relativa a este período?

$$\lambda(t) = \frac{41 \text{ (vehículo avería)}}{(70 \text{ (vehículo)} \cdot (90000 - 80000) \text{ Km})} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ averías/Km}$$

7 RELACIÓN Y CONCEPTOS DE: FIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD

En el siguiente esquema, se muestra la relación entre estas variables:

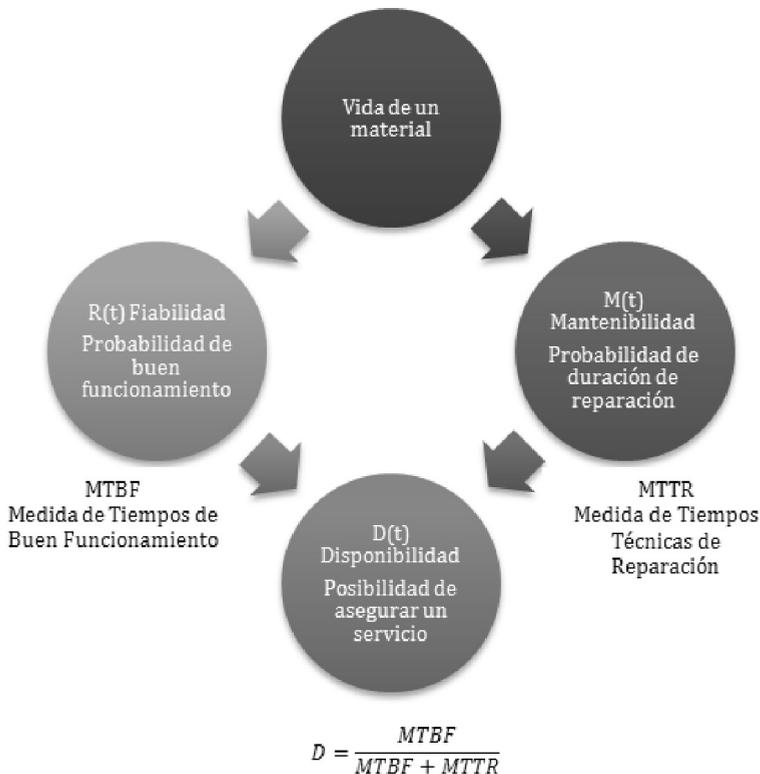


Figura 1.16 Esquema de relación entre Fiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad.

$\lambda(t)$ = Tasa de falla instantáneo (a veces notadas como $Z(t)$ o $h(t)$).

MTBF = Media de los tiempos de buen funcionamiento (está dado por el equipo).

MTRR = Media de los tiempos técnicos de reparación (t: media aritmética de los tiempos de intervención), está dado por mantenimiento.

MTA = Media de los tiempos de paro.

$M(t)$ = Función **Mantenibilidad**, (está dada por el equipo y mantenimiento).

$\mu(t)$ = Tasa de reparación.

Estos tres conceptos se pueden enfocar de forma provisional (antes del uso) o de manera operacional (durante o después del uso).

Las tres funciones precedentes, llamadas respectivamente $R(t)$, $M(t)$, $D(t)$, son funciones de tiempo. En mantenimiento, es indispensable precisar la noción de tiempo.

FIABILIDAD

La fiabilidad es la probabilidad de que las instalaciones, máquinas o equipos, se desempeñen satisfactoriamente sin fallar, durante un período.

Recordemos que la probabilidad puede variar entre 0 (indica la certeza de falla) y 1 (indica la certeza de buen desempeño).

Por lo tanto, la probabilidad de falla está necesariamente unida a la fiabilidad. El análisis de fallas constituye otra medida del desempeño de los sistemas. Para ello, se utiliza lo que denominamos la tasa de falla, que es el cociente del número de fallas sobre el total de horas de operación del equipo.

Fiabilidad en los sistemas

En la práctica, nos encontramos con equipos, máquinas y sistemas complejos, compuestos de muchas partes dependientes unas de otras. Generalmente, se utilizan dos configuraciones básicas: serie y paralelo, con las que se pueden confeccionar otras más complejas.

Configuración en serie

En la configuración en serie, cuando uno de los elementos falla, trae consigo aparejado la falla total del sistema. Entonces, tendremos:

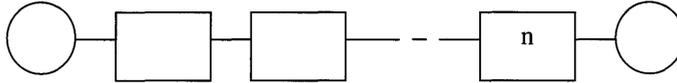
$$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \dots \cdot R_n = \prod_{j=1}^n R_j$$

$\prod_{j=1}^n R_j =$ Productoria.

$R_1, R_2, R_n =$ Representan las distintas fiabilidades del sistema.

$R_s =$ Fiabilidad de la configuración serie.

A continuación, se presenta un esquema representativo de dicha configuración:

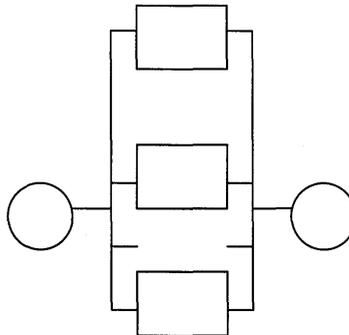


Configuración en paralelo

En la configuración en paralelo, el sistema funciona siempre que funcione al menos uno de sus componentes. La falla se producirá únicamente cuando fallen todos sus elementos. Entonces, tendremos:

$$R_p = \prod_{j=1}^n [1 - (R_j)]$$

A continuación, se presenta un esquema representativo de dicha configuración:

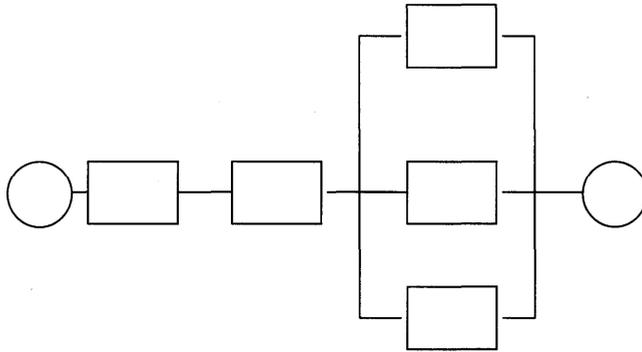


Configuración mixta

En la configuración mixta, el sistema se comporta en función de estas dos combinaciones, una serie y paralelo.

$$R_{mix} = \left[\prod_{j=1}^n R_j \right] \cdot \left[1 - \prod_{j=1}^n [1 - (R_j)] \right]$$

A continuación, se presenta un esquema representativo de dicha configuración:



MANTENIBILIDAD

La mantenibilidad es la probabilidad que una máquina, equipo o un sistema pueda ser reparado a una condición especificada en un período de tiempo dado, en tanto su mantenimiento sea realizado de acuerdo con ciertas metodologías y recursos determinados con anterioridad.

La mantenibilidad es la cualidad que caracteriza una máquina, equipo o sistema en cuanto a su facilidad a realizarle mantenimiento, depende del diseño y pueden ser expresados en términos de frecuencia, duración y costo.

$$M(t) = Prob(TTR < t)$$

Se ha visto que la mantenibilidad es la característica de un proyecto en relación a la capacidad de poner a nivel un dispositivo cuando la necesidad de mantenimiento se hace evidente.

El mantenimiento es la acción física cumplimentada por los técnicos para la vuelta a nivel de funcionamiento.

El administrador del mantenimiento debe estar “prevenido” sobre las características de mantenibilidad, puesto que ella condiciona el mantenimiento.

TTR= Tiempos Técnicos de Reparación

El TTR de una intervención se compone, en general, de la suma de los tiempos siguientes:

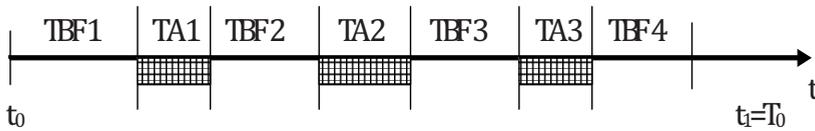
- Tiempo de verificación de la realidad de la falla (las falsas alarmas son frecuentes en los circuitos electrónicos)
- Tiempo de diagnóstico
- Tiempo de acceso al órgano que falla (retiradas y desmontajes)
- Tiempo de reemplazo o de reparación

- Tiempo de reensamblaje
- Tiempo de control y ensayos

En la mantenibilidad, hay que tener en cuenta:

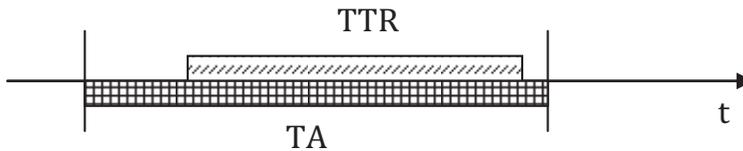
a) La vida de una máquina

Comprende una alternativa de paros y de “buen funcionamiento”, durante su duración potencial de utilización, como puede ser apreciado en el siguiente esquema:



Estas duraciones pueden ser observadas o estimadas.

Una parte variable de los TA (Tiempos de Paro) está constituida por los TTR (Tiempos Técnicos de Reparación).



b) MTBF Y MTTR

La MTBF o Media de los Tiempos de Buen Funcionamiento es el valor medio entre paros consecutivos, para un período dado de la vida de un dispositivo:

$$MTBF = \frac{\sum_0^n TBF_i}{n}$$

De la misma forma, la MTTR o Media de los Tiempos Técnicos de Reparación será:

$$MTTR = \frac{\sum_0^n TBR_i}{n}$$

Estos valores pueden ser calculados (después de observaciones), estimados, prefijados o extrapolados.

El siguiente gráfico relaciona los tiempos de buen funcionamiento con los tiempos técnicos de reparación.

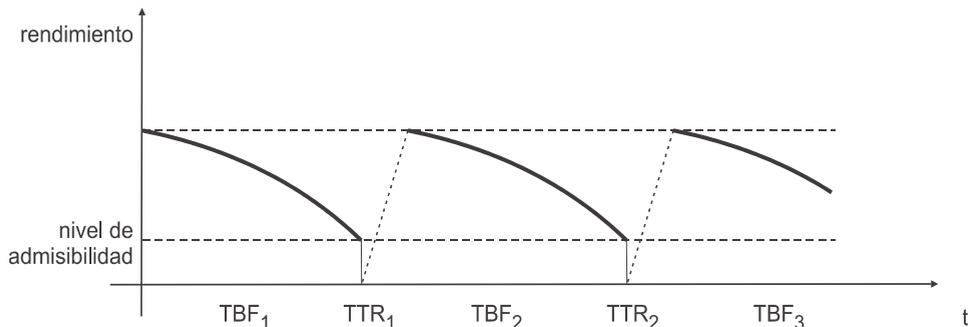


Figura 1.17 Relación entre los tiempos de buen funcionamiento y los de reparación.

Criterios de mantenibilidad

Los criterios a considerar antes de la compra de un equipo industrial son:

- 1) Criterios relacionados con la concepción de un bien:
 - Intercambiabilidad: Normalización de los componentes, estandarización de los materiales y de sus elementos.
 - Indicadores de degradación, de fallas y definición de sus límites.
 - Modularidad de la arquitectura y de las partes de máquina.
 - Contadores de unidades de uso.
 - Tecnologías clásicas y en número limitado.
 - Tiempos de localización de diagnóstico y de reparación.
 - Aptitud para el desmontaje (acceso, utillajes no especiales, etc.)
 - No necesitar reglajes complejos después del desmontaje.
- 2) Criterios relativos a las informaciones:
 - Validez de las fichas técnicas.
 - Existencia de informaciones de instalación y de mantenimiento.
- 3) Criterios relativos al seguimiento posventa:
 - Evolución de las fabricaciones.

- Eficacia y seriedad del servicio posventa del proveedor.
 - Facilidad de obtención de los recambios.
- 4) Criterios relativos a la gestión:
- Homogeneidad del parque (naturaleza de las tecnologías).
 - Concepción de la instalación (acceso, reconfiguraciones posibles, etc.)
 - Medios disponibles (logística).
 - *Dossiers*-máquinas puestos al día.

DISPONIBILIDAD

La disponibilidad es la proporción de tiempo durante la cual un sistema o equipo estuvo en condiciones de ser usado.

El pliego del proyecto, entre múltiples criterios, fijará el nivel de disponibilidad que el sistema estudiado debe presentar.

Un material disponible es un material del que se puede servir, partiendo de esta evidencia, resulta que la disponibilidad depende a la vez:

Del número de fallas	Fiabilidad
De la rapidez con que sean reparados	Mantenibilidad
De los procedimientos definidos para el mantenimiento	Mantenimiento
De la calidad de los medios aplicados	Logística

Y de la compatibilidad de estos factores entre ellos (interdependencia).

Expresiones de la disponibilidad

La disponibilidad es la probabilidad de buen funcionamiento de un dispositivo en el instante t .

$$D = \frac{TO - \sum TA}{TO}$$

TO = Tiempo requerido.

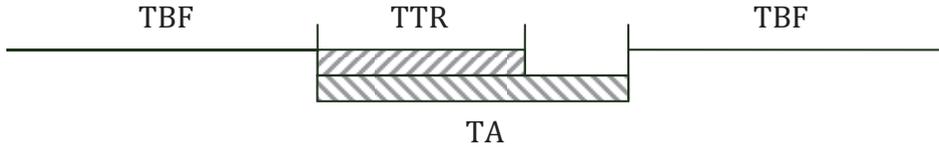
TA= Tiempos de paro.

Por supuesto que no están comprendidos en el tiempo de paradas aquellas que se producen por problemas de huelgas, o suspensión de la producción por caída en la demanda.

$$\text{Tasa de falla: } \lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$\text{Tasa de reparación: } \mu = \frac{1}{MTTR}$$

Aumentar la disponibilidad de un material consiste en reducir el número de paros (fiabilidad) y reducir el tiempo empleado en resolverlos (mantenibilidad).



También se puede expresarse la disponibilidad como:

a) Disponibilidad propia

$$D_p = \frac{TF}{TF + TAP}$$

TF= Tiempo disponible para producir (Tiempo Real)

TAP= Tiempo de Parada Propia

b) Disponibilidad intrínseca o de explotación

$$TR = TF - TAPD_i = \frac{TR - TAI}{TR}$$

TR= Tiempo Requerido durante el cual se produce

TAI= Tiempo de Parada Inducido (Parada Imprevista)

EJEMPLO DE UTILIZACIÓN DE SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE LA MANTENIBILIDAD

A modo de práctica de utilización de un software en la resolución de cálculos de la mantenibilidad, se utilizó el Relex (existen otros programas similares) si bien este tiene algunas limitaciones, es práctico y de acceso libre en Internet, siendo una buena herramienta para familiarizarse con el uso de aplicaciones informáticas en mantenimiento. A continuación, cito parte de un trabajo práctico realizado por los alumnos de la materia de mantenimiento de la UTN-FRC "LARRUBIA- VALONI", en el año 2006.

Introducción

El análisis de previsión de mantenibilidad provee un método para determinar varios parámetros con respecto a la reparación y mantenimiento. Reduciendo los tiempos de reparación y mantenimiento y los de inactividad se incrementa la capacidad del sistema. Las predicciones de Mantenibilidad permiten analizar los tiempos de reparación e identificar las áreas de mejora.