

ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE MINAS

Capítulo 5: Estrategias corporativas de mantenimiento

Carlos Sierra Fernández

Ingeniero de minas

Profesor Ayudante Doctor

Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos

Emilio Andrea Calvo

Ingeniero industrial

Profesor Asociado

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética

ÍNDICE

5.1 Métodos de Organización del Trabajo y del Mantenimiento	4
5.2 Tipos de Mantenimiento Corporativo	6
5.2.1 Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad	10
5.2.1.1 Analisis de Modos de Fallo y Efectos	12
5.2.1.2 Árbol de Eventos	19
5.2.1.3 Árbol de Fallos	23
5.2.2 Mantenimiento Productivo Total	30
5.2.3 Regla de las 5 S	34

CAPÍTULO 5: ESTRATEGIAS CORPORATIVAS DE MANTENIMIENTO

“Fail to plan, plan to fail”

-Winston Churchill

Emilio Andrea Calvo

Carlos Sierra Fernández

5.1 MÉTODOS DE ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO Y DEL MANTENIMIENTO

Organización del trabajo

La organización del trabajo se ha basado, desde los tiempos de la industrialización masiva de finales del siglo XIX, en dos métodos fundamentales en lo referente al control y a la distribución y optimización de los recursos disponibles: taylorismo y fordismo, ambas provenientes del personaje que los puso en práctica por primera vez. Se recogen aquí algunas pinceladas sobre las mismas:

A) El taylorismo: Es un sistema socioeconómico establecido por F. Taylor (1856 –1915), que se dedicó al análisis sistemático de los tiempos y de las actividades que efectúan los trabajadores. Bajo el mismo, las actividades complejas se descomponían en actividades más simples de modo que pudiesen ser fácilmente analizadas al objeto de identificar los puntos de mejora. De un modo similar, permitía que las tareas que realizasen los operarios fueran tan sencillas que los tiempos de aprendizaje se redujesen. Por otra parte, la diligencia de los obreros más eficientes se premiaba, con lo que se incrementaba aún más la productividad.

La división del trabajo planteada por Taylor efectivamente reducía y organizaba científicamente el trabajo, pero encontró un rechazo creciente del trabajador que se consideraba “una máquina más” en el que sus opiniones y experiencias no eran tenidas en cuenta. Por ello los críticos aducen que no tiene presente el valor real que el capital humano puede aportar a la empresa. En este sentido indicar que empresas actuales como Google, donde la creatividad de los trabajadores (y usuarios) es clave, serían impensables bajo este sistema de organización. Se trata por tanto de una metodología en esencia elitista donde la creatividad queda para las mismas élites. En los años posteriores este sistema evolucionó hacia el fordismo.

B) El fordismo: Se trata de un sistema socioeconómico establecido a principios del siglo XX y del cual H. Ford¹ (1863-1974), creador del concepto de línea de producción en

¹ Existe una anécdota asociada con Ford de una conversación con el delegado sindical de las fábricas Ford del tipo: Le dice Ford al delegado sindical “*a ver cómo consigues ahora que los autómatas, actuales robot, te*

cadena, es su máximo representante. Está basado en la producción industrial en serie por medio de sistemas altamente estandarizados que esperan conseguir una importante reducción de costes.

Esta filosofía queda resumida en los puntos siguientes:

- Especialización del trabajo.
- Profundización del control de los tiempos y movimientos del obrero (vinculación tiempo/ejecución).
- Producción en serie.

Sus principales diferencias con el Taylorismo radican en que ya no solo se beneficia la élite, sino una incipiente clase obrera que demanda cada vez más sus productos. Ello es debido al incremento del consumo (expansión del mercado) generado por los bienes y servicios más baratos. Por otra parte este sistema se caracterizó por una extensa política de grandes acuerdos ente patronal y sindicatos.

Organización del mantenimiento

En lo que se refiere al mantenimiento existen dos procesos formales en los sistemas de organización de los servicios: alcance y forma.

El primero corresponde a la evaluación de los medios necesarios y a como estos se relacionan con el resto de los departamentos de la empresa. Ha de tenerse presente que el servicio de mantenimiento es normalmente un servicio interno de las industrias, que con independencia de como esté compuesto en lo relativo a medios propios o contratados, está interrelacionando enormemente con las mismas.

Cuando está formado por medios propios no existe discusión: es un servicio interno. Sin embargo, cuando está formado por medios externos a través de contratos: de servicios de personal, específicos sobre equipos de alta tecnología, sobre servicios completos, etc., puede surgir la duda. A pesar de ello la relación con la empresa a la que estos agentes externos prestan sus servicios es muy importante y tiene características de responsabilidad compartida, que se debe de considerar dentro de la organización, como si fuera un servicio propio, participando en las decisiones y diseños del propio servicio de mantenimiento.

paguen la cuota sindical” y le contesta el delegado “y a ver cómo consigue tu que los autómatas te compren los coches que fabricamos”.

El segundo guarda relación más que con cuáles son las necesidades del servicio, a cómo se presta éste a otros departamentos de la fábrica y cómo se cubren estas necesidades. Actualmente el cumplimiento de determinados estándares de fallos, tiempos de espera, y en general variables del funcionamiento del servicio, están contemplados en la normativa de calidad (ej. FQM, ISO, UNE o medioambientales), consideran en sus métodos de evaluación los procedimientos estandarizados del servicio de mantenimiento.

5.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO CORPORATIVO

Es importante para el estudio de un servicio y para la implantación de mejoras, saber qué es lo que se quiere como empresa. La generalidad de ganar dinero, con la vulgaridad de cuanto más rápido y más cantidad mejor, es un error empresarial que tiene como fin a corto plazo la desaparición de la empresa. De hecho, este criterio de rentabilidad máxima para el accionista es un criterio destructor de empresas que no se aplica en las firmas con un fuerte espíritu de supervivencia o de continuidad en el tiempo, o en aquellas que verdaderamente han asumido como objeto social dar un determinado servicio a la comunidad.

Por todo ello se ha ido evolucionado (como se ha visto en el tema 1), desde el *“reparar cuando algo se rompe”*, al *“fallos cero”*, que por motivos de imagen, se implantó en las fábricas de vehículos a finales del siglo XX.

El principio general empresarial se extiende al servicio de mantenimiento por lo que es importante disponer de algún método, o filosofía de planificación que se identifique con la empresa. Existen diferentes filosofías o estrategias corporativas, con origen normalmente en grandes empresas que iniciaron el método. Por ello suelen asociarse al nombre de alguna empresa que en sus orígenes inició un programa de mejora en base a esos conceptos y que posteriormente se generalizan en el mundo académico como criterios de optimización de recursos.

Con todo ello, las estrategias corporativas de mantenimiento actuales, deben ser entendidas como el conjunto de técnicas y directrices de organización más frecuente para incrementar la eficiencia del mantenimiento; o dicho de otro modo, como los modelos con los que el sistema de mantenimiento se enfrenta a las necesidades de las empresas.

Si bien existen diferentes modelos acordes al fin empresarial, todos comparten una estructura y diseño más o menos complejo y la implantación de técnicas de optimización en base a modelos y organizaciones de alto contenido técnico y elaborados procesos matemáticos. Dentro de estos modelos cabe destacar:

- Mantenimiento Basado en la Fiabilidad (Inglés: Reliability Control Maintenance, **RCM**)
- Mantenimiento Productivo Total (Inglés: Total Productive Maintenance, **TPM**)

En las estructuras de estos modelos de actuación o de mejora subyacen tres conceptos básicos, en lo que se refiere a su aplicación a los servicios de mantenimiento.

Un primer estado en base al concepto de “*espiral de mejora continua*” de Shewart: *planificar, hacer, verificar, actuar*, que data de principios del siglo XX y que podemos vulgarizar como: pensar o analizar, hacer o ejecutar lo pensado, ver que es lo que ocurre, y si está bien dejarlo como está hasta un nuevo ciclo y si está mal corregirlo.

Un segundo formalismo que tiene su base argumental sobre la idea de Pareto (principios del siglo XIX), en **asignar prioridades a las actuaciones** sobre la base de que los recursos son limitados.

Nota técnica. Teoría de Pareto

La organización del mantenimiento requiere la toma constante de decisiones basadas en conceptos tales como: coste que tiene el fallo del elemento, tiempos de parada, repuestos empleados, incidencia dentro de la fábrica/mina, etc. Este grupo de decisiones se enmarcan dentro de un campo para el que ayuda tener alguna regla y en este sentido se comenta la línea de pensamiento de Pareto.

Pareto, en base empírica², razonaba del modo siguiente:

“Las personas en su entorno (sociedad) se podían dividir entre los «pocos de mucho» y los «muchos de poco»”;

² Aplicaba el conocimiento a la actuación de las personas, pero el principio es extensible a las actuaciones de trabajo en todos los campos y de manera especial en el del mantenimiento donde puede llegar a ser verdaderamente importante priorizar las actuaciones. Este concepto se desarrolla más adelante en la teoría de colas aplicada al mantenimiento, que se ve en capítulos posteriores, donde puede haber o no preferencias a la hora de actuar frente a reparaciones coincidentes en el tiempo o por coste de reparación.

Se establecían así dos grandes grupos de proporciones de modo que la fracción minoritaria, (20 % de la población), poseía el 80 % de algo; mientras que la parte mayoritaria (80 % de la población), únicamente disponía del 20 % de la misma cosa. Esta regla se conoce en economía como la del “valious few and superfluous many” o regla del 80/20.

Una ampliación del concepto, de amplio uso en el control de almacenes de repuestos o de suministros, y en la toma de decisiones que implican costes, es la curva ABC que extiende a tres módulos la idea base de Pareto.

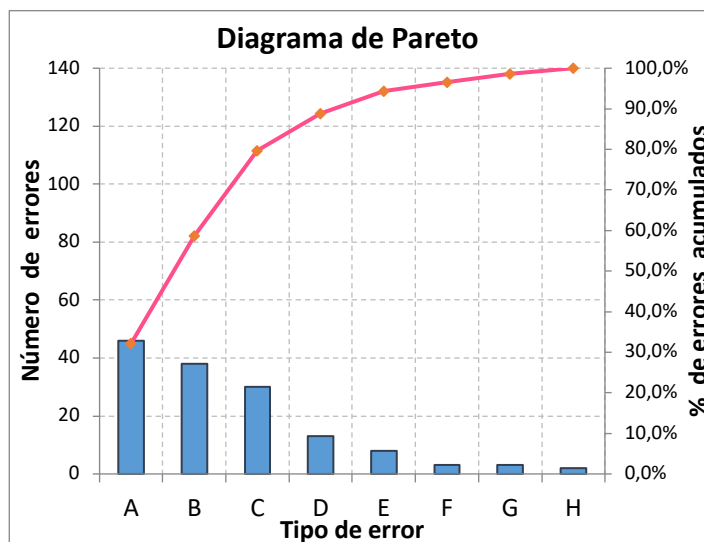
En la tabla siguiente se dan los valores del seguimiento de averías catalogadas por tipo A, B,..., H incluyendo las frecuencias acumuladas. Se han ordenado previamente de mayor a menor según el número de averías por tipo de fallo.

Se observa que la acumulación de los fallos tipo A, B y C representa el 79,7% del total de los fallos producidos y que la suma del resto de tipos es del 20,3%. Bajo el supuesto de que todas las averías exigen esfuerzos de reparación similares, parece lógico pensar que se deben dedicar un mayor número de medios y esfuerzos a reducir (controlar) estas incidencias de mayor repercusión.

Se adjunta un gráfico conceptual para la elaboración de los diagramas que facilitan la obtención de los límites en el entorno de 80%, 20%, o aquellos más adecuados para la gestión del mantenimiento indicados posteriormente.

Tabla de errores según tipo de fallo

Error tipo	Nº de errores	% s/Total	% Acum. Total
A	46	32,2%	32,2%
B	38	26,6%	58,7%
C	30	21,0%	79,7%
D	13	9,1%	88,8%
E	8	5,6%	94,4%
F	3	2,1%	96,5%
G	3	2,1%	98,6%
H	2	1,4%	100,0%
Total / %	143	100,0%	



Un ejemplo de valores y rangos aplicable a la gestión de acciones de mantenimiento, por su importancia, bien en los costes o bien en los tiempos de parada, se puede dar con el criterio siguiente:

Acciones tipo "A-80"; representan el 80% del valor total y que son un 20% del total.

Acciones tipo "B-15"; representan el 15% del valor total y que son un 40% del total.

Acciones tipo "C-5"; representan el 5% del valor total y que son un 40% del total.

La formalidad de obligarse a un análisis de prioridades ante un problema de recursos limitados, ejemplo de un servicio de mantenimiento, ayuda a la planificación y a no dar preferencias puntuales por decisiones no argumentadas, las presiones en el servicio de mantenimiento por fabricación, (bajo ningún concepto quieren parar los procesos de producción), dirección (necesitan cumplir con determinados objetivos), calidad (valoran sus objetivos de calidad y normativa sobre cualquier otro), etc., son continuas.

Los sistemas de priorización de actuaciones, de amplio uso en un entorno de medios limitados, y de aplicación a los servicios de mantenimiento que siempre son limitados³, se

³ La distribución de medios y recursos en un entorno empresarial (como modelo matemático no son infinitos en ninguna circunstancia, tienen cota superior) proceden de una distribución entre departamentos.

han adaptado en su formulación a modelos más definidos, sofisticados y particularizados. Sin embargo, aunque mantienen en su concepción la idea base de Pareto, han incluido coeficientes de ponderación por diversos criterios⁴: frecuencia, daño causado, coste en tiempo o económico, etc.

Y un tercero⁵, que consiste en **hacer participar** y sentirse integrado en el proceso industrial, a las personas que realmente están haciendo los trabajos, aquellos que hacen el día a día y conocen los detalles más ínfimos de los equipos y de cómo estos se comportan. Es decir, aquello a lo que nunca llega el diseñador (ingeniero) porque su vivencia está en otros niveles de la estructura.

Con base en estos tres principios tan sencillos, pero de difícil implementación, se desarrollan los métodos y teorías de organización y optimización, entre las que se encuentran las que introducimos a continuación.

5.2.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA FIABILIDAD

El Mantenimiento Basado en la Fiabilidad (Inglés: Reliability Centered Maintenance, RCM), puede definirse como un proceso estructurado que identifica los efectos de los fallos y define el camino para gestionar esos efectos. Se trata por tanto de una opción posible y viable para identificar, desde el punto de vista técnico y económico, las necesidades de mantenimiento.

dentro de una empresa, en la cual, históricamente, el sistema de mantenimiento no suele ser el más favorecido.

⁴ Dentro de los criterios, cuando no es tan evidente su estimación por métodos numéricos, se puede recurrir al método Delphi que consiste en preguntar a expertos sobre el tema (mantenimiento) cuál es su opinión. No se debe confundir con el sistema conceptual de las encuestas que son modelos formalmente demostrados y con fiabilidades controladas dentro de rangos (intervalos matemáticos). En el primer caso se busca una opinión ponderada y fundada en el conocimiento (experiencia) y en el segundo se busca un valor que representa que es lo que quiere (opina) la mayoría.

⁵ El orden no significa prioridad sino únicamente una numeración de la exposición de los criterios.

Su objetivo fundamental es mejorar la fiabilidad de la instalación (disminuir el tiempo de parada de la planta por averías imprevistas), de modo que aumente la disponibilidad y disminuyan los costes de mantenimiento.

Además permite:

- Mejorar la comprensión en lo que respecta al funcionamiento de los equipos.
- Analizar las diferentes posibilidades de fallo para un sistema desarrollando mecanismos o actuaciones que tratan de evitarlos, o separarlos en el tiempo (aumentar el tiempo medio entre averías).
- Determinar una serie de acciones que permitan garantizar una buena (alta) disponibilidad de la planta, equipo o instalación (explotación minera).

Al aplicar esta metodología se siguen las siguientes fases:

Definir

- Preparar para el análisis
- Fijar los elementos sobre los que se va a centrar el estudio
- Identificar las funciones que desempeñan los mismos.

Analizar

- Identificar los fallos funcionales: fallo completo, parcial, sobreactuación de un elemento, realización de funciones no deseadas.
- Categorizar los efectos del fallo: de seguridad, medioambientales, efectos sobre el equipamiento auxiliar, alarmas observables.
- Identificar las causas del fallo: no ver solo los síntomas del problema (lo obvio) sino ir a la raíz del mismo.

Actuar

- Definir medidas para evitar los fallos: establecer nuevas tareas de mantenimiento, modificaciones en las instalaciones, determinación del stock de repuestos necesario (como se verá en temas posteriores un stock amplio encarece el inmovilizado y un stock escaso produce tiempos de parada mayores hasta que se consigue el repuesto), etc.
- Si no es posible evitar un fallo, por lo menos estar preparado para cuando éste ocurra estableciendo protocolos de actuación. La normativa interna y protocolos

son necesarios para la obtención de la calificación ISO en sus diferentes denominaciones o cualificaciones: calidad, medio ambiente, etc. Entre estas actividades encontramos:

- Establecimiento de planes de formación.
- Rutinas de mejora.
- Ensayos y rutinas de actuación cuando se trata de mejoras de seguridad.
- Para finalizar las medidas preventivas deben:
 - Ponerse en marcha.
 - Verificar: controlar o medir resultados.
 - Analizar.
 - Actuar de nuevo: modificar aquellos que no funciona o que es mejorable.

5.2.1.1 ANALISIS DE MODOS DE FALLO Y EFECTOS

El Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) (Inglés: Failure Mode Effect Analysis, FMEA) se encuentra entre las herramientas fundamentales utilizadas por el RCM. Se trata de una técnica que ayuda en la identificación, análisis y establecimiento de medidas de actuación ante los posibles fallos que pueden aparecer en un producto, servicio o proceso.

En sus orígenes, fue desarrollada para el sector de la aviación, donde no se daban los resultados más deseados de seguridad. Posteriormente fue usada en el campo militar y más tarde se implantó en el sector industrial después de comprobar los excelentes resultados obtenidos en los campos anteriores.

Tiene las siguientes características formales:

a) Carácter anticipador y preventivo: Permite prever posibles fallos facilitando la actuación anticipada ante los mismos.

b) Sistematización: Su estructura organizada facilita detectar un elevado número de fallos que de otro modo pasarían desapercibidos.

c) Trabajo en equipo: Su puesta en marcha se efectúa teniendo en cuenta la experiencia de todas las partes implicadas.

El AMFE trata de realizar un análisis de los posibles modos en que puede fallar un producto o proceso y anticipar los efectos. De esta manera es posible el rediseño para que las consecuencias de los fallos sean mínimas.

Los objetivos de este análisis son:

- Identificar las posibles maneras en que pueda fallar algo.
- Determinar qué mecanismos conducen a ese fallo.
- Seleccionar el método para detectar el fallo.
- Acordar actuaciones de corrección.

En una AMFE se debe recoger, al menos, la información siguiente:

- Identificación del componente o equipo que se estudia.
- Función que desempeña.
- Modo de fallo.
- Efecto producido.
- Causas del fallo.
- Medidas preventivas o consejos ante el fallo.

El paso siguiente al AMFE, es dar una prioridad a aquellos fallos que tenga mayor riesgo. Para ello se tiene en cuenta la gravedad, la probabilidad de que ocurran, y la probabilidad de detectarlos, a través de una variable denominada número de prioridad de riesgo (NPR).

$$NPR = G \cdot A \cdot D$$

Donde:

- Gravedad (G).
- Probabilidad de que ocurra (A).
- Probabilidad de que se detecte (ensayos previos) (D).

Esta nueva variable permite concentrar los esfuerzos donde son más necesarios.

En estos métodos algunos factores dependen de la opinión de expertos en una primera fase. Si no se dispone de información histórica se puede usar la encuesta a expertos

(método Delphi⁶) y luego ir corrigiendo con los valores reales obtenidos. Se deben valorar los criterios de forma independiente, realizar los cálculos, obtener los resultados, analizar la situación y en base a este proceso y los resultados empíricos obtenidos, corregir si procede.

Con la información anterior se rellena la tabla 5.1 siguiente, para cada causa de posible fallo identificado anteriormente. Al rellenar la tabla debe tenerse presente que se trata de un método subjetivo y que existen multitud de soluciones son posibles.

Tabla 5.1 Parámetros considerados en el AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos)

DEFINE		ANALIZA			ACTUA	VALORES / RATIOS			
Operación / objeto	Función	Modo de fallo	Efecto	Causas	Modo de detección / recomendación	Índice gravedad (G)	Índice ocurrencia (A)	Probabilidad detectar (D)	NPR

Una vez realizada la tabla, la operación con mayor índice NPR, nos indica aquella actuación por donde se deba empezar a actuar.

Ejercicio 5.1 Ejemplo conceptual sobre aplicación del método. Efectuar un análisis de modos de fallo y efecto para una silla.

⁶ Este método se empleó en origen para problemas muy complejos de tipo social, pero el modelo y la sistemática se pasó al campo de la programación de equipos y de toma de decisiones. El personal que participa se suele dividir en expertos, afectados, colaboradores, etc. y se pondera la opinión de cada uno. Al final hay un solo valor como criterio de importancia.

Un ejemplo de este tipo de decisiones puede ser la decisión de implantar una mina, hay factores técnicos (normalmente conocidos y cuantificables), de gestión (relaciones con la administración), sociales (opinión pública), de inversión (disposición de capitales), de permisos y legales (relaciones y legalidad) y de riesgo (fuertes inversiones iniciales con final incierto).

En una mina, siempre hay un componente de riesgo debido a la definición no precisa de la masa mineral a explotar que se define con parámetros del tipo: a) recursos reconocidos, b) recursos estimados y c) recursos por demostrar. Para cada uno de los recursos anteriores y desde un punto de vista económico se dividen en: económicos cuando son explotables al precio actual y subeconómicos cuando lo son a un precio mayor al actual. Estos últimos a su vez se subdividen en marginales (explotables a 2 veces el precio actual), latentes (explotables a un rango de 2 a 10 veces el precio actual) y estériles (a explotables a más de 10 veces el precio actual).

Solución:

Se introducen los conceptos anteriores a través del ejemplo de una silla. Cabría entonces hacerse las preguntas siguientes:

- ¿Cuáles son los distintos usos que el comprador va a darle a nuestra silla?
- ¿En qué modo puede dejar de cumplir cada una de sus misiones?
- ¿Qué efecto tiene cada tipo de fallo?
- Posibles causas del mismo.
- Recomendaciones de actuación.

El análisis de funciones, fallos y efectos, incluido las propuestas derivadas del análisis, se da en la tabla siguiente:

Función	Modo de fallo	Efecto	Causa	Consejo
Sentarse Alzarse Decorativa Apoyar objetos (...) (ser ergonómica, balancearse)	Material no resistente	Caída	Material no bueno	Muestreo Análisis de materiales Inspección final mejorar plantillas de referencias para construcción
	Fallo de patas	Insatisfacción cliente	Fallo de ejecución	
	Fallo de respaldo	Rotura de ropa por enganches	Material no bueno	
	Una pata más corta	Enfermedades musculoesqueléticas	Fallo mal medido, cortado	
	Soldadura		Fallo de ejecución	
	Encolado		Fallo de ejecución	
	Barniz	Rechazo cliente	Mal diseño	
	Aspecto: Fea			

Ejercicio 5.2 Efectuar un análisis de modos de fallo y efecto para un cajero automático.

DEFINE		ANALIZA			ACTUA
OBJ	FUNCION	MODO DE FALLO	EFFECTOS	CAUSAS	RECOMENDACIONES
Cajero	Funcionamiento general (iniciar y operar)	No hay actividad por falta de suministro eléctrico	Maquina no operativa: Cliente insatisfecho	Ajeno a empresa: Suministradora energética	Sistemas SAI para garantizar el suministro ininterrumpido
		No hay actividad por falta de conexión a la red	Maquina no operativa: Cliente insatisfecho	Ajeno a empresa: Suministradora Telecom	Sistemas satélite paralelos
		No hay actividad por ataque cibernético	Pérdida de dinero de la compañía	Ciberseguridad inadecuada	Mejora sistema: Nuevos técnicos
	Suministrar efectivo	No concordancia de la cantidad suministrada y solicitada	Pérdidas de dinero de la sucursal	Billetes muy estropeados y antiguos.	Gestión previa por los trabajadores del banco: Cursos formación
		No suministra/No funciona	Maquina no operativa: Cliente insatisfecho	Sistema eléctrico defectuoso	Implementación sistema de revisión periódica
		Sistema mecánico	Maquina no operativa	Sistema mecánico defectuoso	Implementación sistema de revisión periódica
		Velocidad de procesado	Demora en suministro: Cliente insatisfecho, colas y esperas en el banco, influencia en la actitud de los trabajadores del banco	Sistema electrónico y software defectuoso	Mejora sistema electrónico y algoritmos: Revisión sistema
		No hay cash (fallo existencias)	No hay suministro, maquina no operativa, perdida de dinero y comisiones	Operario bancario descuidado o sin tiempo para comprobar la maquina	Diseña sistemas automáticos de alarmas de efectivo disponible.
		Vandalismo, ej. Piezas arrancadas, pintadas superficies no limpiables, etc.	Maquina no operativa e imagen general del banco: mala captación de futuros clientes	Fallo en la elección de los materiales y los test de uso/calidad. Fallo en sistema de seguridad.	Departamento de calidad para gestión y test de todos los nuevos materiales.
	Identificación de clientes	Sistema identificador del cajero (banda magnética, proximidad, otros)	Pérdidas de dinero y compensación económica de los clientes. Imagen de la empresa afectada: Ahorros de los consumidores no están a salvo.	Fallo en sensores electrónicos del cajero.	Cambio de los sensores en toda la serie
		Sistema identificador de las tarjetas de clientes (bandas, proximidad, etc.)		Fallo en resistencia de la tarjeta: fallo calidad materiales, etc.	Departamento de calidad para gestión y test nuevas tarjetas.
		Sistemas de seguridad y comprobación secundaria insuficiente		Fallo algoritmos de software seguridad	Revisar algoritmos. I+D+i nuevos métodos.

DEFINE		ANALIZA			ACTUA
OBJ	FUNCION	MODO DE FALLO	EFFECTOS	CAUSAS	RECOMENDACIONES
		Fallo sistema de comprobación PIN (ej. Fallo en el teclado)	Maquina no operativa: Cliente insatisfecho	Fallo sistemas mecánicos, hardware, calidad.	Implementación sistema de revisión periódica
	Funciones informativas	Fallo de red	Maquina no operativa: Cliente insatisfecho	Ajeno a empresa: Suministradora Telecom	Sistemas satélite paralelos
		Fallo de conexión del cajero	Maquina no operativa: Cliente insatisfecho	Conectividad inadecuada de la sucursal	Revisión de conexionado UTP y fibra.
	Funciones comerciales	Fallo conexión a la red	Maquina no operativa: Pérdida de clientes	Ajeno a empresa: Suministradora Telecom	Sistemas satélite paralelos
		Incongruencias de precios con el cliente	Pérdida de tiempo y esfuerzo de los trabajadores para compensar clientes	Software implementado inadecuado	Implementar Checklist para nuevas ofertas.
	Ingresos de efectivo	No concordancia de la cantidad suministrada y operada	Compensaciones económicas de los clientes, pérdida de tiempo y funcionalidad de los trabajadores	Sistema mecánico defectuoso	Implementación sistema de revisión periódica
		Fallos mecánicos	Compensaciones económicas de los clientes, pérdida de tiempo y funcionalidad de los trabajadores	Sistema mecánico defectuoso	Implementación sistema de revisión periódica

Ejercicio 5.3 Efectuar un análisis modal de fallo-efecto para una ambulancia considerando el efecto de que llega tarde (rebas el tiempo determinado como estándar para recoger un paciente) a la atención médica.

Solución: En la tabla siguiente se da el estudio conceptual de los posibles modos de fallo incluyendo causas y recomendaciones como resultado del ejercicio.

Función	Modo de fallo potencial	Efecto	Causas	Recomendaciones
a tiempo al naciente	Tráfico	Retraso	Clima Accidente	AEMET / DGT Planificación de rutas alternativas

Función	Modo de fallo potencial	Efecto	Causas	Recomendaciones
	Ambulancia fuera de servicio (mto., avería...)		Falta de planificación Falta de mto. Falta de recursos	Mto. Preventivo
	Falta de comunicación (no llega el aviso)		Mala comunicación	Dos vías: Radio y Teléfono
	Perderse por la ciudad		Desconocimiento del callejero	GPS, Contratar personal de la zona

Se analiza, como ejercicio didáctico, mediante el sistema de ponderación y valoración de acciones (dar peso, valor numérico, a los factores que intervienen). Únicamente se considera el concepto de llegar en un tiempo determinado con límite máximo marcado, o lo que es lo mismo, atender una llamada de emergencia, y no se consideran otros efectos como atender medicamente al paciente, hacer de UVI móvil, en definitiva, ser la unidad adecuada para la llamada recibida.

Modo de fallo	Gravedad	Probabilidad de ocurrencia	Prob. de detectarlo	NPR
Tráfico	5	5	1	25
Avería	10	2	6	120
Comunicación	10	2	4	80
Perderse	10	3	5	75

Como resultado se obtiene que la opción de una posible avería, con un NPR=120 es la incidencia a la que se debe dedicar la mayor atención.

Ejercicio 5.4 Efectuar un análisis de modos de fallo y efecto para las sartas⁷ de perforación (brocas de perforación en denominación vulgarizada).

⁷ Una "sarta de perforación" está formada por la secuencia: adaptadores de culata, manguitos, varillas de extensión y bocas. Estas últimas son la que tienen el elemento realmente cortante o percutor que fragmenta la roca y que está formado por diamantes sintéticos o carburos de silicio entre otros

Solución:

Función	Modo de fallo	Causa	Efecto
Realizar perforaciones de diámetro y profundidad dada	Rotura	Fallo material Mal uso Macizo rocoso	Parada máquina Inseguridad operarios Pérdida de cabeza de perforación
	Desgaste	Material imprevisto Mala limpieza Afilado defectuoso Mala selección material	Menor rendimiento Sobrecalentamiento Menor avance
	Fallo enganche	Sección inadecuada Broca inadecuada Mala ejecución de la maniobra de enganche	Desvío perforación Desenganche sarta (broca) Desenganche de la boca Desenganche de una sección
	Desvió de perforación	Elección inadecuada de ϕ Longitud excesiva	Pérdida del barreno

5.2.1.2 ÁRBOL DE EVENTOS

El **árbol de eventos o de sucesos (Inglés: Event Tree Analysis, ETA)**, es una técnica inductiva (hacia adelante, de abajo hacia arriba) que permite estudiar todos los posibles eventos resultantes de un evento inicial indeseado que encadena tras de sí una serie de fallos hipotéticos. Este sistema se emplea sobre todo en el modelado de fallos en los que se han establecido varios sistemas de protección encadenados (alarmas, reacción del personal, barreras y resto de medidas preventivas existentes). El procedimiento ayuda a detectar las debilidades de un sistema así como las probabilidades de que un fallo complejo suceda. En la actualidad es de uso común en el análisis de riesgos, la mejora de sistemas de protección, investigación de accidentes, etc.

El sistema se basa en una lógica binaria en la cual el suceso pasa o no pasa (o un fallo ha sucedido o no). Así, partiendo del suceso iniciador (fallo de un componente, variación de parámetros normales de operación de un proceso, etc.), establece sistemáticamente una

compuestos. La sarta se acopla al martillo, elemento que dota al conjunto de un movimiento de roto-percusión.

bifurcación para cada evento: el camino superior recoge, normalmente, el éxito o la ocurrencia del suceso condicionante y el inferior el suceso contrario, fallo o no ocurrencia del mismo.

Ejercicio 5.5 Estudiar el daño por fuego del motor de un camión que cuenta con dos sistemas de protección: corte de combustible y sistema de extinción.

Solución:

Suceso iniciador	Suceso 1: Control automático combustible	Suceso 2: Activación extintores	Estado final	Probabilidad (debe ser)
Fuego	Éxito	Éxito	Daño mínimo	Normal
		Fracaso	Daño menor	Normal/Baja
		Éxito	Daño moderado	Baja
	Fracaso	Fracaso	Daño severo	Muy baja

En estos diagramas cada actuación o decisión tiene la opción de que ocurra o de que no ocurra, como sucesos aleatorios, probabilísticos, e independientes⁸. Así, aplicando el álgebra de Boole, la probabilidad de A intersección B o “probabilidad de las acciones que pertenecen a la intersección del set A (conjunto A) y del set B” (figura 5.2.1 siguiente), viene dada por la ecuación general siguiente:

$$P(A) \cap P(B) = P(A) \cdot P(B) \quad (5.5)$$

Lo que se corresponde con el área sombreada (rayada) y matemáticamente queda expresado por la intersección de ambos conjuntos. Para sucesos independientes, que pueden compartir una parte común, pero que el hecho de que ocurra no depende del otro

⁸ El concepto de independencia es de vital importancia para la justificación de la ecuación que se utiliza y que se relaciona con la referencia del ejercicio (5.5)

sino de la probabilidad de sí mismo, ver teoría de Bayes en capítulos anteriores, la ocurrencia de ambos sucesos es la fórmula indicada (5.5)

Igualmente, para que ocurra el suceso correspondiente al conjunto de los sucesos $A+B$ definido según el álgebra de Boole por la ecuación siguiente:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A) \cap P(B)$$

Y por ser sucesos independientes se verifica la condición de la ecuación indicada anteriormente (5.5),

$$P(A) \cap P(B) = P(A) \cdot P(B),$$

Luego podemos escribir que la probabilidad conjunta del suceso $A+B$ correspondiente a la ecuación formal $P(A \cup B)$ viene dada por la ecuación:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A) \cap P(B) = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B) \quad (5.5.1)$$

Esta ecuación corresponde a la figura 5.1.

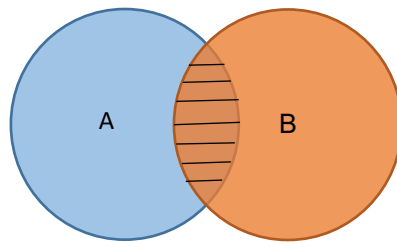


Figura 5.1 Probabilidad de la intersección de dos eventos.

Dicho de otro modo, bajo estas premisas la probabilidad final de un fallo en cadena, correspondiente a la probabilidad de la intersección como concepto matemático, es el producto de probabilidades para sucesos independientes y se formula como:

$$P(A) \cap P(B) \cap P(C) \dots \cap P(Z) = P(A) \cdot P(B) \cdot P(C) \cdot \dots \cdot P(Z) \quad (5.5.2)$$

Cuando se trabaja con probabilidades de ocurrencia bajas o muy bajas, del orden de 5% o menores, es posible despreciar el factor $P(A) \cdot P(B)$ en la ecuación 5.5.1 de $\{P(A) \cup P(B)\}$ ya que es un valor de al menos un rango inferior. Como ejemplo si se tienen los valores $P(A)=0,02$ y $P(B)=0,01$, el valor de:

$$P(A) + P(B) = 0,02 + 0,01 = 0,03; \text{ y el de } P(A) \cdot P(B) = 0,0002; \text{ luego}$$

$$P(A) \cup P(B) = 0,02 + 0,01 + 0,0002 = 0,0302 \approx 0,03$$

Ejercicio 5.6 Estudiar, mediante un árbol de eventos, la probabilidad de que la fuga de hidrocarburos en un depósito de combustibles acabe desencadenando una explosión.

Se considera que el suceso, fuga de combustible, se ha producido y se trata de identificar el árbol de eventos para que ocurra un fuego o una explosión.

La solución se da en la tabla-gráfico siguiente, donde se indican, a efectos de sistemática de cálculo, las probabilidades de los sucesos independientes que intervienen en la confección del árbol de fallos.

Árbol de eventos / Arbol de fallos: Fuga de hidrocarburo líquido en la proximidad del tanque (*)

Fuga de hidrocarburo líquido próximo al tanque	Ignición inmediata	Dispositivo contra-incendios	Llamas contra el depósito	Ignición retardada	Condiciones para generar la explosión (1)	Prob. Estimada	Consecuencias
1	Si 0,2	Si 0,5				0,10	Fuego de la piscina
			Si 0,1			0,01	Evaporación del líquido, expansión de vapores explosivos
		No 0,5	No 0,9			0,09	Fuego de la piscina
					Si 0,20	0,20	Explosión de nube de vapor no confinado
	No 0,8			Si 0,5			
					No 0,20	0,20	Llamarada
				No 0,5		0,40	Dispersión
						1,00	Suma de probabilidades

(1) Explosión de nube de vapor no confinada

Nota: Las probabilidades son estimadas como ejercicio operativo, la suma debe ser siempre la unidad

(*) Los tanques de combustible deben tener, por exigencia legal, un recinto tipo piscina que lo rodea, para recoger las posibles fugas de combustible.

Nota: téngase presente que se ha asignado una probabilidad de 1 al evento inicial (fuga del hidrocarburo), es decir, se da por hecho que ya se ha producido la fuga. En caso de que se deseara estudiar las probabilidades finales teniendo en cuenta la probabilidad de este suceso inicial debería multiplicarse cada una de las probabilidades calculadas por la probabilidad de ocurrencia del suceso inicial de fuga de combustible. La operativa obliga a generar una rama con la probabilidad, complementaria a 1, para el supuesto de no fuga de tal forma que el resultado de la suma de todas las probabilidades sea 1 al final del árbol de eventos.

5.2.1.3 ÁRBOL DE FALLOS

El árbol de fallos es una técnica que permite identificar de un modo visual la combinación de sucesos que debe ocurrir para que se dé un determinado fallo principal. La técnica del árbol de fallos viene empleándose desde principios de los años 60, siendo su primera aplicación en la verificación de los sistemas de control de los misiles. Posteriormente su uso se extendió hasta las industrias nuclear y química. En la actualidad son muy empleados en el estudio de fiabilidad de programas informáticos y de equipos electrónicos.

Los sucesos se relacionan entre sí por medio de un diagrama de árbol en el cual aparecen representados los sucesos, los cuales se relacionan por medio de puertas lógicas. Los sucesos se clasifican en los siguientes tipos:

Suceso superior (Inglés: TOP event): Es el suceso complejo para el cual se está haciendo el estudio. Se ubica en la parte alta del diagrama. Se representa, normalmente, mediante un rectángulo.

Sucesos intermedios: Aparecen en el proceso de descomposición del evento principal y pueden descomponerse a su vez en otros más simples. Se representan, normalmente, mediante rectángulos.

Sucesos básicos: Son los sucesos finales de la descomposición, es decir, aquellos por debajo de los cuales ya no tiene sentido continuar estudiando. Se representan, normalmente, mediante círculos.

En este sentido se indica que existe también el concepto de **suceso no desarrollado**, entendido éste como aquél que no se desarrolla más debido a la poca importancia que este hecho tendría o porque la información que de él se tiene es muy escasa.

Se emplean además las siguientes puertas lógicas:

AND, indica un **(Y) lógico**: como se ha visto en el álgebra de Boole, para que ocurra la salida es necesario que tengan lugar de **modo conjunto las dos entradas** lógicas.

OR, que se utiliza para indicar un **(O) lógico**: para que ocurra el suceso es necesario que ocurra **al menos una de las entradas** lógicas.

Aplicando los conceptos del álgebra de Boole, la probabilidad de A unión B o “de los objetos que pertenecen al set A (conjunto A) o al set B”, queda representada por el área total en la figura 5.2 correspondiente a los dos círculos, siguiente:

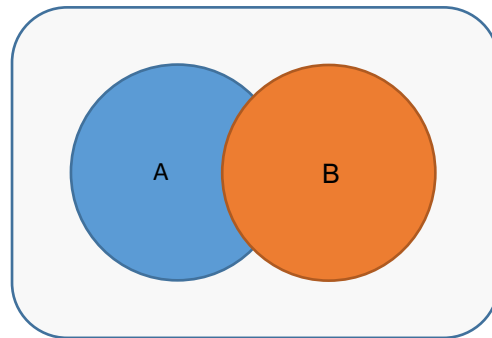


Figura 5.2 Probabilidad de la unión de dos eventos.

Lo que matemáticamente se expresa como:

$$P(A) \cup P(B) = P(A) + P(B) - P(A) \cap P(B)$$

En la literatura de diagramas es corriente ver escrito la expresión anterior, de matemática formal, en la forma siguiente:

$$P(A) \cup P(B) = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B)$$

Lo cual es formalmente correcta bajo la consideración de sucesos independientes, o lo que es lo mismo, la probabilidad de que ocurra el suceso condicionado $P(A|B)=P(A)$ y la $P(B|A)=P(B)$.

Y en general se considera que al ser las probabilidades de ocurrencia muy pequeñas, dado que se trata de accidentes, averías y en general efectos no deseados de baja o muy baja probabilidad, el factor $P(A) \cdot P(B)$ es de orden muy inferior a los factores $P(A)$ o $P(B)$ y se puede despreciar para calcular la suma.

Los esquemas con los cuales se simbolizan este tipo de puertas quedan recogidos en la figura 5.3.

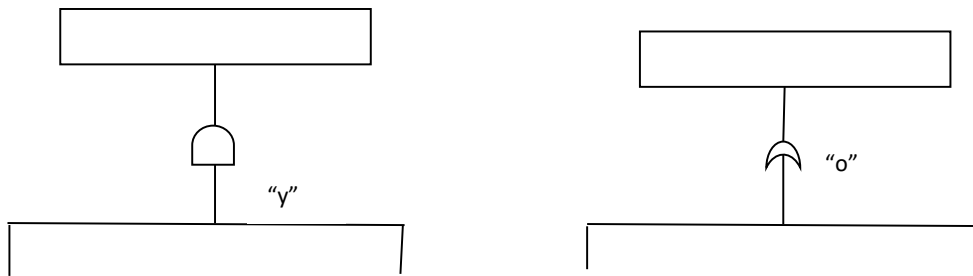


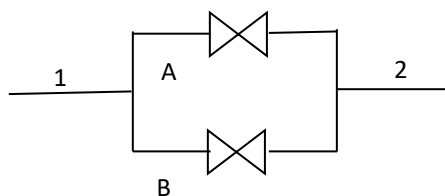
Figura 5.3. De izquierda a derecha, puerta lógica Y, y puerta lógica O.

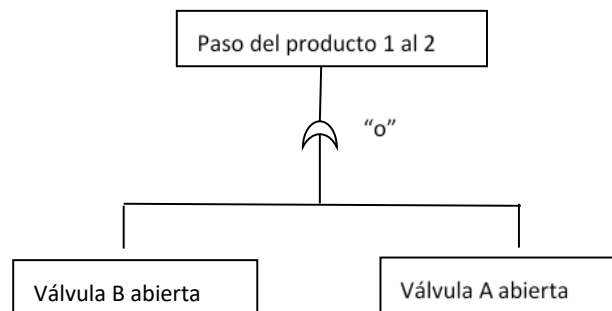
Entre las principales ventajas de estos diagramas se encuentran que permiten:

- Establecer la secuencia lógica que lleva al fallo.
- Identificar los elementos críticos (un solo componente puede causar varios tipos de fallo).
- Representar mejor la información al hacerlo de modo gráfico.
- Fijar el inicio del árbol tanto en causas muy complejas (ordenador no funciona), como en causas más simples (fallo batería).
- Poner muy bien de manifiesto el modo en el cual los elementos interaccionan entre sí.
- Incluir todo tipo de causas de fallo, entre ellas las humanas.

Ejercicio 5.7 Se transporta una pulpa procedente de la planta de tratamiento por medio de un sistema de tuberías desde el punto 1 al 2. Construir un árbol de fallos para un sistema en el que existen dos válvulas (A y B) en paralelo tal como se indica en la figura.

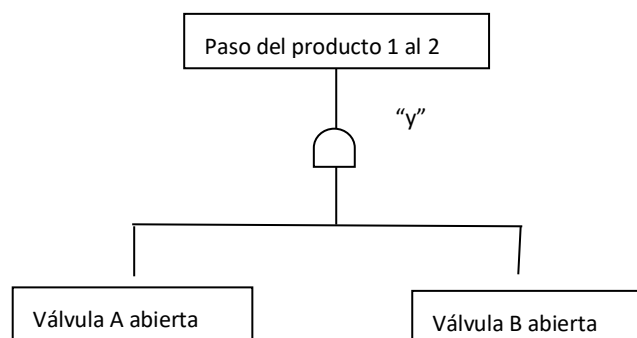
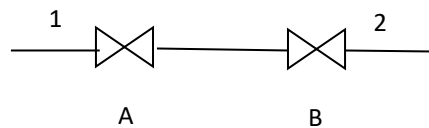
Solución:





Ejercicio 5.8 Se transporta una pulpa procedente de la planta de tratamiento por medio de un sistema de tuberías del punto 1 al 2. Generar un árbol de fallos para el caso del paso de la pulpa a través de dos válvulas (A y B) tal como se indica en la figura siguiente.

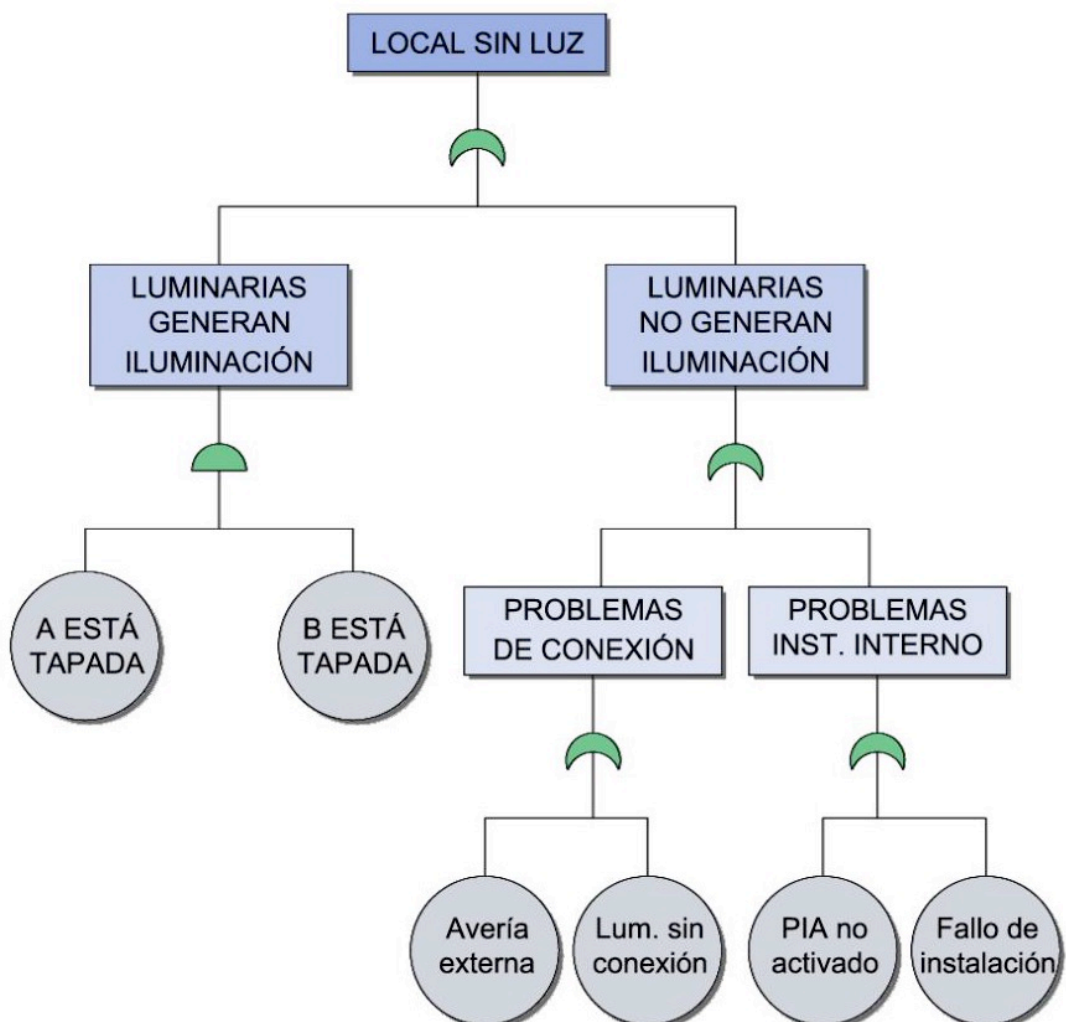
Solución:



Ejercicio 5.9 Desarrollar el árbol de fallos para una local en el que hay dos luminarias y se estudian las causas por las que se puede quedar a oscuras. Los motivos posibles para el fallo se dan en la tabla siguiente:

Posibles motivos para el fallo del sistema
Fusible bajado
No hay conexión de red
Avería externa
Luminaria A tapada
Luminaria B tapada

Solución:



Ejercicio 5.10 Desarrolla el árbol de fallos para la ausencia de iluminación de la Escuela Politécnica en caso de que sea necesaria una evacuación.

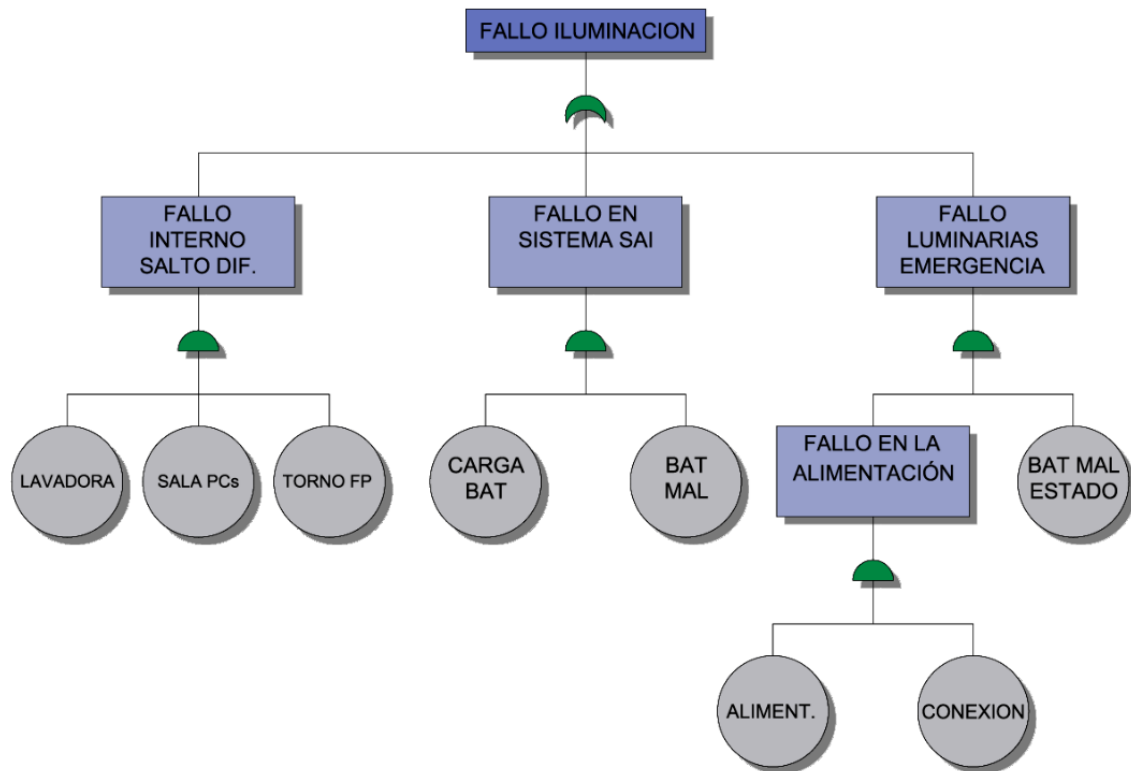
Motivos de fallos:

1. Fallo en uno de los circuitos internos por una derivación haciendo saltar el diferencial del circuito general de sensibilidad de 30 mA de acuerdo a la norma. Los equipos que pueden disparar el diferencial en este centro son una lavadora usada para la limpieza de las batas de laboratorio, los ordenadores de la sala de informática y el torno del taller de mecanizado.

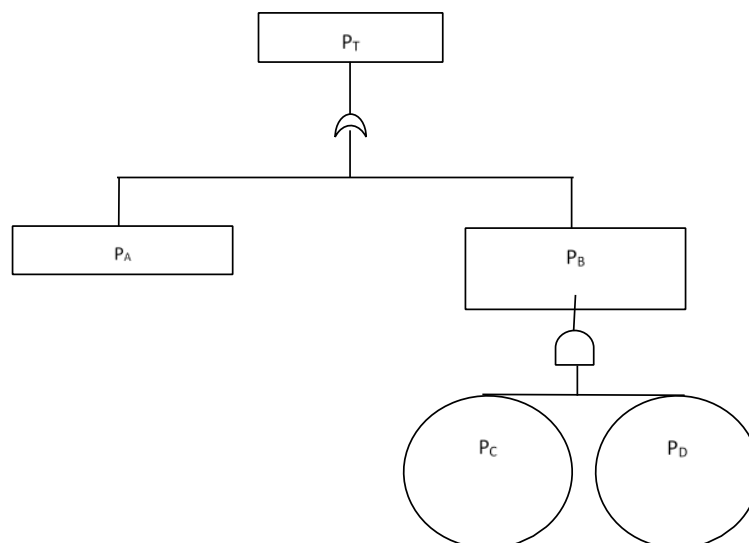
2. Fallo en el sistema SAI, que puede ser debido a problemas en el sistema de recarga de las baterías o las propias baterías.

3. Fallo en el sistema de alumbrado de emergencia. Tal y como se indica en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, se denomina alumbrado de emergencia a aquél que debe entrar en funcionamiento automáticamente cuando se produzca el fallo del alumbrado general o cuando la tensión de éste baje a menos del 70% de su valor nominal. Estas luminarias suelen fallar por caducidad de las baterías o por falta de alimentación (fallos en equipo alimentador o sus conexiones).

Solución:



Ejercicio 5.11 En el diagrama de la figura siguiente calcular la probabilidad del suceso principal.



Solución:

$$P_T = P_A + P_B - P_A \cdot P_B \sim P_A + P_C \cdot P_D$$

El producto $P_A \cdot P_B$ se desprecia normalmente, al ser las probabilidades de fallo muy pequeñas y P_B corresponde a la función lógica Y (AND) y se sustituye por el producto tal como se ha indicado anteriormente. Ver justificación argumental en el ejercicio anterior, referencia 5.5 y explicaciones siguientes.

5.2.2 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

Basado en la productividad, el Mantenimiento Productivo Total (MPT) (Inglés: Total Productive Maintenance, TPM). De sus siglas en inglés se deduce que es “Total” porque: busca la eficiencia total del proceso, teniendo en cuenta el ciclo total del proceso productivo e involucrando a todos los individuos de la empresa; es “Productive”, porque busca maximizar la productividad; y es “Maintenance”, porque como es obvio se ocupa de este aspecto. Esta filosofía fue desarrollada por los japoneses en 1951 y fue aplicada por primera vez por la compañía Nippondenso en 1960.

En esencia pretende la eliminación de las pérdidas asociadas a paradas, disminución de la calidad y problemas de costes en los procesos de producción industrial. Para esto el TPM busca alcanzar tres ceros:

- Cero averías.
- Cero defectos.
- Cero accidentes (considerando a las personas y al medio ambiente).

El objetivo de cero, cero, cero, es inalcanzable ya que requiere recursos infinitos, pero es muestra de tendencia. Así es común hoy día encontrar procesos con el indicativo de calidad de 5 ppm en el número de fallos.

Por otra parte pretende evitar desperdicios y con ello bajar los costes de producción. De este modo, los sistemas productivos, que durante años han concentrado sus esfuerzos en el aumento de la capacidad de producción están actualmente evolucionando hacia la mejora

de su eficiencia (producción necesaria en cada momento con el menor empleo de recursos), los cuales serán utilizados, sin despilfarro ni mal uso (“lean manufacturing”).

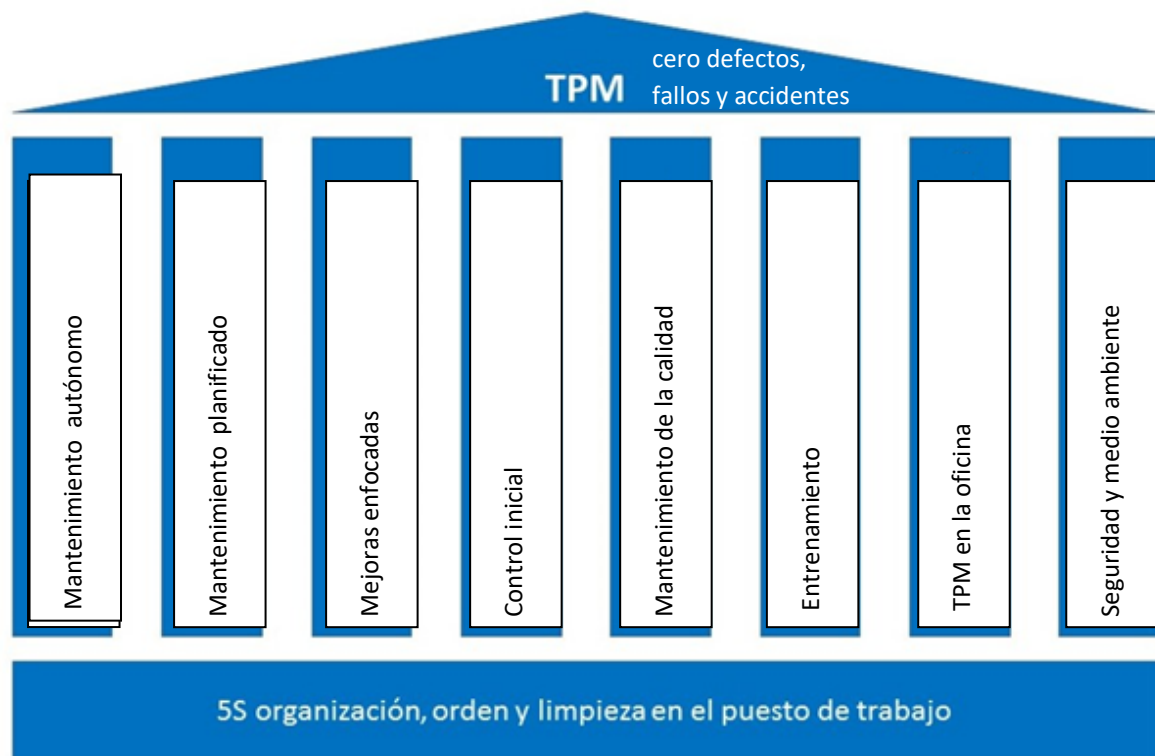


Figura 5.4 Pilares del Mantenimiento Productivo Total.

Estimando un esquema de esta política de mantenimiento en forma de panteón (figura 5.4), las metas del TPM formarían la cúpula: cero defectos, cero fallos, cero accidentes. Los pilares (8 conceptos) están formados por las diferentes actividades que deben de realizarse para alcanzar las citadas metas. Estas acciones son (el orden no significa preferencia):

1. Mantenimiento autónomo: Bajo este pilar, el mantenimiento se integra dentro de la producción, con lo que parte del mantenimiento del equipo (inspección, lubricación, cambio de piezas, limpieza, etc.) corresponderá al mismo operario y no a la división específica de la empresa. El viejo paradigma de “Yo opero y tú reparas”, da paso al “Yo soy responsable de mi equipo”. Se trata de mejorar la comunicación existente entre el operario y el equipo de mantenimiento. Con ello se espera que el operario sienta el equipo como propio, se convierta en un experto en su mantenimiento y esté más vinculado con el mismo. Los trabajadores deben recibir formación y

entrenamiento para tener los conocimientos necesarios para dominar el equipo que están operando. Las máquinas, por su parte, deben haber sido diseñadas para que su mantenimiento sea lo más sencillo posible.

2. Mantenimiento planificado: Se trata de establecer un sistema de mantenimiento preventivo y predictivo para todo el equipamiento. Se debe generar documentación clara y precisa (guías de mantenimiento, normas operativas, etc.) al objeto de dotar al personal de una herramienta más para prevenir y reaccionar ante imprevistos. Las guías recogerán: la operación y configuraciones correctas, mecanismos de limpieza, lubricación y retroalimentación, indicaciones para la reparación de defectos menores, así como indicaciones sobre las piezas de repuesto. La realización de esta planificación recaerá sobre todo en el personal especializado en mantenimiento.

3. Mejoras enfocadas: Se trata de conocer el fondo, y no solo la expresión más superficial de los problemas. Para ello se establece una metodología de mejora continua. Este exhaustivo conocimiento de los problemas permite identificar su origen, definir metas realistas y establecer tiempos adecuados de actuación. Además, es importante la recopilación del conocimiento adquirido durante la ejecución de las acciones de mejora.

4. Control inicial: Se pretende aplicar lo aprendido en las máquinas y procesos a los nuevos equipos. La idea es que el equipo de mantenimiento dé su opinión ante la adquisición de nueva maquinaria. Este asesoramiento puede realizarse para el reemplazo de maquinaria preexistente o ante la creación de nuevas líneas de producción. Este pilar pretende asegurar que los equipos de producción a emplear sean: fáciles de mantener y de operar, fiables, seguros, de fácil limpieza y baratos desde el punto de vista del mantenimiento.

5. Mantenimiento de la calidad: Por medio de este proceso se trata de controlar las condiciones en que se encuentran los equipos a fin de disminuir la variabilidad en la calidad del producto vendido. Está básicamente dirigido a las condiciones y normas de calidad que se deben implementar para obtener cero defectos. Puede actuar sobre diferentes parámetros: materiales, equipos, métodos de producción, etc.

Se centra fundamentalmente en la condición material del equipamiento, la precisión con que operan los equipos, los métodos de producción y los parámetros del proceso.

Para implementarlo se debe:

- **Cuidar** el equipo para tratar de evitar que se generen defectos de calidad, o disminuya su incidencia.
- **Prevenir** posibles defectos de calidad certificando que los equipos cumplen las condiciones para el objetivo “cero defectos” de los estándares de calidad.
- **Monitorizar** las condiciones de trabajo de los equipos mediante la medida de parámetros o variables para poder prevenir eventuales anomalías adelantándose a las mismas (mantenimiento predictivo).
- **Identificar** los elementos críticos en la calidad final del producto final, mantener especialmente controlados los mismos y actuar cuando los indicadores así lo sugieran.

6. Entrenamiento: Hacer una correcta formación de los empleados que esté relacionada con los procesos en los que trabajan. El objetivo principal en este pilar es aumentar tanto las competencias transversales de los trabajadores: trabajo en equipo, capacidad de comunicación, etc., como su formación técnica específica: resolución de problemas y las habilidades relacionadas con los equipos. Algunas ventajas que se asignan a este pilar son llegar a poseer personal más competente, motivado, eficiente y preparado para las necesidades futuras de la empresa.

7. TPM para oficinas: Consiste en extender la filosofía de mantenimiento a los órganos administrativos de la empresa (documentos, órdenes, etc.). Se pretende lograr que las mejoras lleguen a la alta dirección, a la gerencia de los departamentos administrativos y a las actividades de soporte y no solo a la planta de producción. Estos departamentos deben ser vistos como lugares entre cuyas tareas principales se encuentra la recolección, procesamiento y distribución de información relacionada con el mantenimiento. Estas medidas buscan lograr un equilibrio entre las actividades primarias de la cadena de producción y las actividades administrativas.

8. Seguridad y medioambiente: Con la implementación de medidas de este tipo se pretende un ambiente de trabajo confortable en el que los operarios trabajen de la

forma más segura posible minimizando los riesgos a que están expuestos. La contaminación del ambiente, no solo del puesto de trabajo, sino también de las inmediaciones de la factoría o mina, puede ser producto de la aplicación de tecnologías obsoletas o del mal funcionamiento de algún equipo.

Si la filosofía TPM ha sido implementada correctamente, al final se debería haber apreciado:

- Un aumento de la capacidad productiva.
- La disminución de costes de mano de obra.
- Reducción de los defectos.
- Incremento del beneficio.
- Mayor satisfacción del personal.

5.2.3 REGLA DE LAS 5 S

Las 5 S es la denominación de un método de gestión, de origen japonés, que en los años 1960 implantó la firma Toyota. La designación corresponde a la primera letra, en japonés, de cada una de las cinco fases que sirven para definir el método: *seiri*, *seiton*, *seiso*, *seiketsu* y *shitsuke*. Su misión principal es la de incrementar la eficiencia y la productividad en el lugar de trabajo. Ha sido empleada con frecuencia en la industria automovilística y se ha ido extendiendo hacia las tareas más organizativas.

Pretende reducir los costes por pérdidas de tiempo y energía, mejorar la calidad de los productos, aumentar la seguridad industrial, mejorar las condiciones de trabajo, y elevar la implicación del personal en el proceso. Estos principios se pueden encontrarse de modo implícito en muchas normas ISO.

Términos de las 5-S

1. Seiri: Descartar (Inglés: Sorting)

Este precepto consiste en mantener en el lugar de trabajo solamente los ítems que son necesarios descartando todo aquello innecesario y desconectado de la actividad laboral.

Un modo de implementar esta filosofía consiste en reconocer el lugar de trabajo marcando con etiquetas rojas los ítems que parecen ser innecesarios o que están fuera de lugar. Después de un tiempo prudencial si el ítem no fue empleado para nada se lo descarta.

Con esta filosofía se pretende:

- Facilitar el movimiento del personal sobre un lugar claro y ordenado
- Que todo el personal conozca la ubicación de los ítems entre ellos los documentos de trabajo.
- Incrementar la productividad.
- Mejorar la seguridad.

2. **Seiton: Ordenar** (Inglés: Straightening Out)

Se trata de mantener todo en un lugar asignado, de modo que sea rápido localizarlo para su uso e igualmente se pueda devolver a su sitio con facilidad.

Un modo de implementar esta política es mediante la señalización de los lugares en que debe ubicarse cada cosa (siempre el mismo para mejorar el control visual) y más modernamente categorización por medio de códigos de barras de los ítems.

Con esta filosofía se pretende:

- Poder hacer frente a operaciones urgentes.
- Disponer de la cantidad necesaria de cada ítem.
- Facilitar el almacenamiento y la extracción del almacén disminuyendo los desplazamientos innecesarios.

3. **Seisō: Limpiar** (Inglés: Shining)

Mantener el puesto de trabajo limpio, realizar todas las tareas de limpieza cuando sea necesario⁹. Esta filosofía ha sido resumida a veces como: “Todo el mundo es un conserje”.

⁹ Es una obligación en la legislación española. Así, en el Estatuto de los Trabajadores aparece la obligación del operario de mantener limpio y ordenado el puesto de trabajo y la maquinaria bajo su responsabilidad y uso. La legislación de Seguridad e Higiene lo recoge en términos parecidos.

Para cumplir con esta regla se suele establecer la sistematización de las labores de limpieza con el nombramiento de personas responsables, así como la realización de inspecciones frecuentes. Se debe actuar fundamentalmente sobre las fuentes de la suciedad y realizar campañas de concienciación entre el personal.

Con ello se intenta:

- Poner de relevancia los defectos en la instalación antes de que se agraven.
- Reducir las averías de la instalación.
- Mejorar el ambiente laboral.
- Incrementar la productividad.
- Aumentar la calidad.
- Mejorar la imagen de la empresa.

4. **Seiketsu: Estandarizar** (Inglés: Standardizing)

Desarrollar normativas que permitan que las 3 S anteriores se respeten. Estas normativas deben ser capaces de ayudar a detectar y hacer frente a situaciones irregulares, no previstas o fuera de protocolo. Deben ser, además sencillas y fáciles de implementar.

Con esta filosofía se intenta:

- Realizar pruebas y llevar a cabo actividades de forma regular con participación de todo el personal.
- Explicar y exigir la necesidad y obligatoriedad de la utilización de los equipos de protección individual (EPI).
- Indicar y conocer el proceder en caso de emergencia.
- Disminuir el absentismo.
- Disponer del lugar de trabajo más seguro.
- Mejorar el ambiente laboral.
- Hacer crecer la reputación de la empresa.

5. **Shitsuke: Entrenamiento y autodisciplina** (Inglés: Sustaining the practice)

Trata de instituir una disciplina de modo que las normas anteriores queden establecidas como hábitos dentro de la práctica regular de la empresa. Se busca también

un proceso de mejora continua tal que si en algún momento aparecen nuevas máquinas, requerimientos de producto o métodos de trabajo, todas las demás 4 Ss sean revisadas.

Con esta regla se pretende:

- Que se efectúen verificaciones acerca de si se cumple el reglamento.
- Aclarar y que se domine por parte de los trabajadores el reglamento del lugar de trabajo.
- Asegurarse de que las reglas creadas sean de fácil entendimiento por todo el mundo.
- Formar al personal en las actualizaciones de los reglamentos.

Ejercicio propuesto 5.12 Indique brevemente qué acciones específicas debería adoptar para adaptar la metodología (filosofía) de las 5 S a su actividad como estudiante.

BIBLIOGRAFÍA

Libros y revistas

- Anderson, R. T. (1976). Reliability design handbook (No. RAC-RDH-376). Reliability Analysis Center Griffiss AFB NY.
- Dirección General de Protección Civil y Emergencias (1994) Guía Técnica metodologías para el análisis de riesgos: Visión general. Ministerio del Interior. España.
- Ebeling, C. E. (2004). An introduction to reliability and maintainability engineering. Tata McGraw-Hill Education.
- Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2002). The management and control of quality (Vol. 5, pp. 115-128). Cincinnati, OH: South-Western.
- Gryna, F. M., & Juran, J. M. (1999). Quality and costs. New York: McGraw-Hill.
- Haasl, D. F., Roberts, N. H., Vesely, W. E., & Goldberg, F. F. (1981). Fault tree handbook (No. NUREG-0492). Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC (USA). Office of Nuclear Regulatory Research.
- Hirano, H. (1996). 5S for operators: 5 pillars of the visual workplace. SteinerBooks.
- Hirano, H. (1996). 5S for operators: 5 pillars of the visual workplace. SteinerBooks.
- JA1012, S. A. E. (2002). A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. The Engineering Society for Advancing Mobility Land, Sea, Air, and Space, Warrendale, PA.
- Ireson, W. G., Coombs, C. F., & Moss, R. Y. (1996). Handbook of reliability engineering and management. McGraw-Hill Professional.
- Kelly, A. (1994). Maintenance. England. Butterworth Heinemann.
- Trejo E. (2002, Marzo). Análisis Causa Raíz y solución de problemas.
- Michalsky, W. J. (1998). Top Tools for Manufacturers (Portland, OR.
- Moubray, J. (1997). Reliability-centered maintenance. Industrial Press Inc.
- Nowlan, F. S., & Heap, H. F. (1978). Reliability-centered maintenance. United Air Lines Inc San Francisco Ca.
- Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. R. (2003). RCM--Gateway to world class maintenance. Butterworth-Heinemann.

Páginas web

"Árbol de fallos" Wikipedia: The Free Encyclopedia. Wikimedia Foundation, Inc. 22 July 2004. Web. 30 Aug. 2016.

"Distribución exponencial" Wikipedia: The Free Encyclopedia. Wikimedia Foundation, Inc. 22 July 2004. Web. 30 Aug. 2016.

"Fordismo" Wikipedia: The Free Encyclopedia. Wikimedia Foundation, Inc. 22 July 2004. Web. 30 Aug. 2016.

"Mantenimiento Productivo Total" Wikipedia: The Free Encyclopedia. Wikimedia Foundation, Inc. 22 July 2004. Web. 30 Aug. 2016.

"Regla 5Cs" Wikipedia: The Free Encyclopedia. Wikimedia Foundation, Inc. 22 July 2004. Web. 30 Aug. 2016.

"Reliability Centered Maintenance" Wikipedia: The Free Encyclopedia. Wikimedia Foundation, Inc. 22 July 2004. Web. 30 Aug. 2016.

"Taylorismo" Wikipedia: The Free Encyclopedia. Wikimedia Foundation, Inc. 22 July 2004. Web. 30 Aug. 2016.