

Julio 2002

TÍTULO

Compatibilidad electromagnética (CEM)

Parte 1-2: Generalidades

Metodología para la consecución de la seguridad funcional de equipos eléctricos y electrónicos desde el punto de vista de los fenómenos electromagnéticos

Electromagnetic compatibility (EMC). Part 1-2: General. Methodology for the achievement of the functional safety of electrical and electronic equipment with regard to electromagnetic phenomena.

Compatibilité électromagnétique (CEM). Partie 1-2: Généralités. Méthodologie pour la réalisation de la sécurité fonctionnelle des matériels électriques et électroniques du point de vue des phénomènes électromagnétiques.

CORRESPONDENCIA

Este informe es equivalente a la Especificación Técnica CEI/TS 61000-1-2:2001.

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

Este informe ha sido elaborado por el comité técnico AEN/CTN 208 *Compatibilidad Electromagnética* cuya Secretaría desempeña UNESA.

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN	4
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	5
2 NORMAS PARA CONSULTA	5
3 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	6
4 CONSIDERACIONES GENERALES.....	9
5 CONSECUCIÓN DE LA SEGURIDAD FUNCIONAL	10
5.1 Ciclo de vida de seguridad	10
5.2 Etapas para la consecución de la seguridad funcional	11
6 ENTORNO ELECTROMAGNÉTICO	14
7 REQUISITOS DE SEGURIDAD Y CRITERIOS DE FALLOS.....	15
8 ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD DE FUNCIONAMIENTO	16
8.1 Consideraciones generales relativas a la selección del método adecuado	16
8.2 Aplicación del análisis por árbol de fallos a las perturbaciones electromagnéticas.....	17
9 ENSAYOS CEM RELATIVOS A LA SEGURIDAD.....	18
9.1 Importancia y necesidad de los ensayos	18
9.2 Tipos y niveles de ensayos EM relativos a la seguridad	18
9.3 Funcionamiento del equipo durante los ensayos	19
9.4 Prestar atención a los sucesos indeseables (equipos/programas).....	19
9.5 Favorecer los efectos observables.....	19
9.6 Criterios de actuación.....	20
9.7 Validación y documentación de la planificación de los ensayos.....	20
10 INFORME.....	20
ANEXO A (Informativo) EJEMPLOS DE NIVELES DE ENSAYO DE INMUNIDAD CEM	22
ANEXO B (Informativo) EJEMPLOS DE ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD DE FUNCIONAMIENTO DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LOS FENÓMENOS ELECTROMAGNÉTICOS	25
ANEXO C (Informativo) CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO Y LA INSTALACIÓN	45
ANEXO D (Informativo) LISTA DE CONTROL TÍPICO DE MEDIDAS Y TÉCNICAS QUE PERMITEN CONSEGUIR LA SEGURIDAD FUNCIONAL DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LAS PERTURBACIONES CEM	48
ANEXO E (Informativo) TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD DE FUNCIONAMIENTO Y APLICACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA CEM.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	54

INTRODUCCIÓN

La Norma CEI 61000 fue publicada en forma de varias partes separadas, cuya estructura es la siguiente:

Parte 1: Generalidades

Consideraciones generales (introducción, principios fundamentales)

Definiciones, terminología

Parte 2: Entorno

Descripción del entorno

Clasificación del entorno

Niveles de compatibilidad

Parte 3: Límites

Límites de emisión

Límites de inmunidad (en la medida en que estos límites no están bajo la responsabilidad de los comités de producto)

Parte 4: Técnicas de ensayo y medida

Técnicas de medida

Técnicas de ensayo

Parte 5: Directivas de instalación y atenuación

Guías de instalación

Métodos y dispositivos de atenuación

Parte 6: Normas genéricas

Parte 9: Varios

Cada parte está a su vez subdividida en varias partes, publicadas bien como normas internacionales, especificaciones técnicas o informes técnicos, algunas de ellas habiendo sido publicadas como secciones. Otras se publicarán con el número de la parte, seguido de un guión y de un segundo número que identifique la subdivisión (ejemplo: 61000-3-11).

El funcionamiento del equipo eléctrico o electrónico no debería verse afectado por las influencias exteriores hasta el punto de entrañar un peligro inaceptable para los usuarios, otras personas, animales o bienes. Un estudio completo de seguridad debería tener en cuenta los diversos factores de naturaleza climática, mecánica, eléctrica, y prever incluso los casos de malos usos razonablemente previsibles. En la mayoría de los casos hay presentes perturbaciones electromagnéticas, y las debería tomar en cuenta el citado análisis.

El objeto de esta especificación técnica es dar indicaciones relativas a la consecución de la seguridad funcional de los equipos eléctricos y electrónicos expuesto a las perturbaciones electromagnéticas. Para fines de coherencia en el seno de CEI, esta especificación técnica utiliza, en lo posible, las normas básicas aplicables de CEI. Tiene especialmente en cuenta los trabajos del SC 65A relativos a los conceptos de seguridad (es decir, la Norma CEI 61508), los trabajos del TC 56 relativos a los métodos de evaluación (es decir, las Normas CEI 60300-3-1 y CEI 61025) y también los trabajos del TC 77, de sus subcomités y del CISPR, relativos a los entornos electromagnéticos. Para más detalles sobre estos temas se debería consultar las normas de estos comités.

Compatibilidad electromagnética (CEM)
Parte 1-2: Generalidades
Metodología para la consecución de la seguridad funcional de equipos eléctricos y electrónicos desde el punto de vista de los fenómenos electromagnéticos

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta especificación técnica indica una metodología para la consecución de la seguridad funcional desde el punto de vista de los fenómenos electromagnéticos (EM) en los equipos eléctricos y electrónicos: aparatos, sistemas e instalaciones, instalados y utilizados en condiciones operativas.

Especifica procedimientos para

- la determinación de los requisitos;
- las prescripciones;
- los aspectos relativos al diseño, incluida la instalación del equipo;
- los métodos analíticos de evaluación;
- las recomendaciones relativas a los ensayos;
- la documentación.

No trata sobre los riesgos directos de los campos electromagnéticos en los seres vivos, ni sobre la seguridad relativa a la descarga eléctrica en un aislante o de otros mecanismos por los que las personas puedan estar expuestas a riesgos eléctricos.

Esta especificación técnica se aplica a la influencia del entorno electromagnético, incluido los dispositivos próximos a los aparatos y sistemas pequeños o grandes, pero no a la influencia de las fuentes internas contenidas en los aparatos, que hay que tener en cuenta con respecto a su diseño

Se destina a los comités de productos, a los diseñadores, fabricantes e instaladores de equipos y de sistemas.

Expone los métodos de análisis de la seguridad y los ensayos asociados a las influencias electromagnéticas. Por lo que respecta a los métodos cuantitativos de evaluación, es decir la probabilidad de fallo, pueden aplicarse los métodos descritos en la serie CEI 61508.

2 NORMAS PARA CONSULTA

Las normas que a continuación se relacionan contienen disposiciones válidas para esta norma internacional. En el momento de la publicación estaban en vigor las ediciones indicadas. Toda norma está sujeta a revisión por lo que las partes que basen sus acuerdos en esta norma internacional deben estudiar la posibilidad de aplicar la edición más reciente de las normas indicadas a continuación. Los miembros de CEI y de ISO poseen el registro de las normas internacionales en vigor en cada momento.

CEI 60050(161):1990 – *Vocabulario Electrotécnico Internacional (VEI). Capítulo 161: Compatibilidad electromagnética.*

CEI 60050(191):1990 – *Vocabulario Electrotécnico Internacional (VEI). Capítulo 191: Confiabilidad y calidad de servicio.*

ISO/CEI Guía 51:1999 – *Aspectos ligados a la seguridad. Principios directrices para su inclusión en las normas.*

CEI 60300-3-1:1991 – *Gestión de la confiabilidad. Parte 3: Guía de aplicación. Sección 1: Técnicas de análisis de la seguridad de funcionamiento: Guía metodológica.*

CEI 61000-1-1:1992 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 1. Generalidades. Sección 1: Aplicación e interpretación de definiciones y términos básicos.*

CEI 61000-2 (todas las partes) – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 2: Entorno.*

CEI 61000-4 (todas las partes) – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida.*

CEI 61000-4-1:2000 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-1: Técnicas de ensayo y de medida. Visión en conjunto de la serie CEI 61000-4.*

NOTA – La Norma CEI 61000-4-1 da informaciones generales sobre todos los ensayos básicos de inmunidad.

CEI 61025:1990 – *Análisis por árbol de fallos (AAF).*

CEI 61508-1:1998 – *Seguridad funcional de los sistemas eléctricos/electrónicos/electrónicos programables relativos a la seguridad. Parte 1: Requisitos generales.*

CEI 61508-2:2000 – *Seguridad funcional de los sistemas eléctricos/electrónicos/electrónicos programables relativos a la seguridad. Parte 2: Requisitos para los sistemas eléctricos/electrónicos/electrónicos programables relativos a la seguridad.*

CEI 61508-3:1998 – *Seguridad funcional de los sistemas eléctricos/electrónicos/electrónicos programables relativos a la seguridad. Parte 3: Requisitos relativos a los programas.*

CEI 61508-4:1998 – *Seguridad funcional de los sistemas eléctricos/electrónicos/electrónicos programables relativos a la seguridad. Parte 4: Definiciones y abreviaturas.*

CEI 61508-5:1998 – *Seguridad funcional de los sistemas eléctricos/electrónicos/electrónicos programables relativos a la seguridad. Parte 5: Ejemplos de métodos para la determinación de niveles de integridad de seguridad.*

CEI 61508-6:2000 – *Seguridad funcional de los sistemas eléctricos/electrónicos/electrónicos programables relativos a la seguridad. Parte 6: Directrices para la aplicación de las Normas CEI 61508-2 y CEI 61508-3.*

CEI 61508-7:2000 – *Seguridad funcional de los sistemas eléctricos/electrónicos/electrónicos programables relativos a la seguridad. Parte 7: Vista en conjunto de técnicas y medidas.*

3 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Para los fines de esta especificación técnica, se aplican las definiciones dadas en las Normas CEI 60050(161) y CEI 60050(191), así como las siguientes.

3.1 perturbación electromagnética: Fenómeno electromagnético que pueda degradar el funcionamiento de un dispositivo, equipo o sistema, o de afectar desfavorablemente la materia viva o inerte.

NOTA – Una perturbación electromagnética puede ser un ruido electromagnético, una señal no deseada o una modificación del medio propio de propagación.

[VEI 161-01-05]

3.2 interferencia electromagnética (EMI): Degradación del funcionamiento de un equipo, canal de transmisión o sistema debida a una perturbación electromagnética.

[VEI 161-01-06]

NOTA – La perturbación y la interferencia son respectivamente la causa y el efecto.

3.3 compatibilidad electromagnética (CEM): Capacidad de un equipo o de un sistema para funcionar en su ambiente electromagnético de forma satisfactoria y sin que produzca perturbaciones electromagnéticas intolerables para todo lo que se encuentra en este ambiente.

[VEI 161-01-07]

3.4 nivel de compatibilidad (electromagnética): Nivel de perturbación electromagnética utilizado como nivel de referencia para asegurar la coordinación del establecimiento de los límites de emisión e inmunidad.

[VEI 161-03-10, modificada]

NOTA 1 – Convencionalmente, el nivel de compatibilidad se elige de modo tal que no haya más que una escasa probabilidad de ser rebasado por el nivel real de perturbación. No obstante, la compatibilidad electromagnética está asegurada solamente si los niveles de emisión y de inmunidad se controlan de modo que en cada lugar el nivel de perturbación resultante del conjunto de las emisiones sea menor que el nivel de inmunidad de cada dispositivo, equipo o sistema situado en ese mismo lugar.

NOTA 2 – El nivel de compatibilidad puede depender del fenómeno, del tiempo o del lugar.

3.5 ambiente electromagnético: Conjunto de fenómenos electromagnéticos que existente en un entorno dado.

[VEI 161-01-01]

3.6 seguridad de funcionamiento, fiabilidad y mantenibilidad: Conjunto de propiedades utilizadas para describir la disponibilidad y los factores que las condicionan: fiabilidad, mantenibilidad y logística de mantenimiento.

NOTA – La seguridad de funcionamiento es un concepto general, sin carácter cuantitativo.

[VEI 191-02-03]

3.7 degradación (de funcionamiento), pérdida de calidad funcional: Separación no deseada de las características de funcionamiento de un dispositivo, equipo o sistema respecto a sus características esperadas.

NOTA – Una degradación puede ser un fallo del funcionamiento temporal o permanente.

[VEI 161-01-19]

3.8 fallo: Cese de la aptitud de un elemento para realizar una función requerida.

[VEI 191-04-01]

3.9 avería: Estado de un elemento caracterizado por la inaptitud para realizar una función requerida, excluido la inaptitud debida al mantenimiento preventivo u otras acciones programadas, o a una falta de medios exteriores.

[VEI 191-05-01]

NOTA

- a) Un “fallo” es un suceso, al contrario a una “falta”, que es un estado.
- b) Después de un fallo, el elemento está en falta.
- c) Este concepto no se aplica a los elementos constituidos únicamente de un programa
- d) Una falta frecuentemente es la consecuencia de un fallo del elemento mismo, pero puede existir sin fallo previo.

3.10 daño: Daño físico o que alcanza a la salud de las personas, bienes, o al entorno.

[ISO/CEI Guía 51: 1999, definición 3.3]

3.11 fenómeno peligroso: Fuente potencial de daño

[ISO/CEI Guía 51: 1999, definición 3.5]

3.12 riesgo: Combinación de la frecuencia o probabilidad que puedan derivarse de la materialización de un peligro.

[ISO/CEI Guía 51: 1999, definición 3.2]

3.13 mal uso razonablemente previsible: Utilización de un producto, proceso o servicio en condiciones o con fines no previstos por el suministrador pero que pueden provenir de un comportamiento humano previsto.

[ISO/CEI Guía 51: 1999, definición 3.14]

3.14 seguridad funcional: Ausencia de riesgo de daño inaceptable debido al mal funcionamiento de un equipo o sistema, incluido el resultante de un mal uso razonablemente previsible.

3.15 integridad de la seguridad: Probabilidad de que un equipo eléctrico o electrónico ejecute de manera satisfactoria las funciones de seguridad requeridas en las condiciones especificadas y en un periodo de tiempo determinado

[CEI 61508-4: 1998, definición 3.5.2, modificada]

3.16 validación: Confirmación mediante el suministro de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos para una utilización o aplicación específica.

[ISO 9000: 2000, definición 3.8.5]

3.17 análisis por árbol de fallos (AAF): Método deductivo (descendente) para el análisis de la seguridad de funcionamiento de un sistema.

3.18 suceso básico: En el análisis por árbol de fallos, suceso de entrada única – al pie del árbol de fallos – que es susceptible de influenciar el funcionamiento del equipo o sistema considerado.

NOTA 1 – Un suceso básico puede ser un suceso independiente (véase la nota 2) o la salida de otro árbol de fallos.

NOTA 2 – En el contexto de esta especificación técnica, un suceso básico es una perturbación electromagnética.

3.19 suceso de copa: En el análisis por árbol de fallos, suceso de salida – en lo alto del árbol de fallos- que resulta del efecto de una situación externa, interna o de otro tipo.

NOTA – En el contexto de esta especificación técnica, el suceso de copa es una situación peligrosa que se debería evitar.

3.20 aparato (en el contexto de las normas CEM): Equipo único que tiene una o varias funciones directas destinadas a una utilización final.

3.21 sistema (en el contexto de las normas CEM): Combinación de aparatos y/o componentes activos que constituyen una unidad funcional única y destinados a ser instalados y explotados para asegurar una o varias tareas específicas.

NOTA – Los “sistemas relativos a la seguridad” son equipos especialmente “diseñados” que:

- implementan las funciones de seguridad requeridas para alcanzar un estado de seguridad de un equipo controlado o para mantener dicho estado;
- están previstos para alcanzar, por si mismos o con otros equipos de seguridad o medios externos de reducción de riesgos, el nivel de integridad de seguridad necesario con los requisitos de seguridad requeridos.

[CEI 61508-4, definición 3.4.1 modificada]

3.22 instalación (en el contexto de las normas CEM): Combinación de aparatos, componentes y sistemas reunidos y/o montados (individualmente) en un área dada. Por razones físicas (como por ejemplo, las distancias importantes entre los diferentes elementos) en numerosos casos es imposible someter a ensayo una instalación como unidad.

4 CONSIDERACIONES GENERALES

Las perturbaciones electromagnéticas pueden influir en la seguridad funcional del equipo o del sistema.

El objeto, desde el punto de vista de CEM y de la seguridad funcional, es evaluar los eventuales efectos de las perturbaciones electromagnéticas sobre el riesgo total, y diseñar, fabricar e instalar el equipo o sistema de manera que no haya más que un riesgo tolerable a estos fenómenos.

Se debe advertir que el equipo o sistema puede comprender, además de los elementos (partes y componentes) necesarios para la consecución de sus funciones, elementos o subsistemas y funciones de seguridad especiales. Se tiene que prestar atención especial a la seguridad funcional de estos elementos [véanse las partes 1 a 7 de la Norma CEI 61508].

El funcionamiento correcto y seguro, en el contexto de esta especificación técnica, de un equipo o sistema eléctrico o electrónico depende de dos factores:

- el entorno electromagnético y los niveles de emisión de diversas fuentes;
- la inmunidad de los dispositivos influenciados.

Por lo que respecta a las emisiones electromagnéticas, los niveles de emisión máximos autorizados vienen especificados por los comités competentes¹⁾, y su exceso no se autoriza en condiciones normales. No obstante, este exceso puede producirse en condiciones anormales.

En cuanto a la inmunidad, se debería tener en cuenta los efectos de una variación del funcionamiento en función de la distribución estadística de productos de serie así como los efectos eventuales del envejecimiento.

Estos dos aspectos de CEM se deben tomar en cuenta en la especificación de los requisitos de seguridad, pudiendo ser necesarios también márgenes de seguridad adecuados.

Cuando un ensayo sobre la influencia de un fenómeno electromagnético en el comportamiento de un equipo se integra en una norma (o en un capítulo de una norma) de CEM, o en una norma (o en un capítulo de una norma) de seguridad, depende del criterio de aprobación:

1) TC 77 y CISPR principalmente.

- si se requiere que durante o después del ensayo el equipo continúe funcionando como estaba previsto, se debería incluir el ensayo en una norma (o en capítulo de una norma) que trate de la inmunidad CEM de un producto (familia de productos);
- si se requiere que durante o después del ensayo no se produzca ninguna situación peligrosa (las acciones se pueden degradar temporalmente o de manera permanente, pero no deben producir situación de peligro), el ensayo se debería integrar en una norma (o en un capítulo de una norma) de seguridad. Es obvio que para productos que aseguren funciones de seguridad, pueden seleccionarse niveles de inmunidad superiores a los de las normas genéricas para este entorno.

5 CONSECUCCIÓN DE LA SEGURIDAD FUNCIONAL

5.1 Ciclo de vida de seguridad

La consecución de la seguridad funcional requiere tomar en cuenta la CEM durante todo el ciclo de vida del equipo o sistema, desde el diseño hasta la retirada del servicio. Esta consideración se representa en la figura 1 para equipos individuales, y en la figura 2 para sistemas.

Las actividades de aseguramiento de la calidad se deben dirigir paralelamente durante todo el ciclo de vida.

Deben incluirse en esta consideración los aspectos siguientes:

- a) **Concepto:** es necesaria una comprensión general del equipo o sistema y de su entorno físico, social y legislativo para permitir ejecutar también de manera satisfactoria las otras actividades durante el ciclo de vida.
- b) **Análisis de los peligros y de los riesgos:** el tipo y la importancia de los peligros ligados al funcionamiento del equipo deben analizarse con detalle teniendo en cuenta el entorno electromagnético en que está previsto instalarlo. Debe hacerse una evaluación de los riesgos ligados a los peligros para determinar si los riesgos son aceptables y, en caso contrario, si se pueden reducir a un nivel aceptable. En principio debe darse prioridad a la reducción de los riesgos por medidas de diseño e instalación, seguido por la protección y finalmente por la provisión de instrucciones.
- c) **Especificaciones de seguridad:** la especificación de seguridad debería precisar las medidas y técnicas que deben utilizarse para procurar la seguridad funcional en presencia de perturbaciones electromagnéticas.
- d) **Diseño y desarrollo:** el diseño debe ser de manera que se consiga la seguridad funcional requerida. Durante esta fase, puede ser necesario utilizar técnicas como los métodos de evaluación de la seguridad de funcionamiento, la modelización y la realización de prototipos para obtener la seguridad de que los requisitos se cumplen verdaderamente. Debe prestarse atención especial a las funciones importantes para la seguridad.
- e) **Instalación:** el equipo o el sistema se instala utilizando los procedimientos y los componentes especificados durante la fase de diseño.
- f) **Validación:** el objeto de la validación es confirmar que la seguridad funcional prevista se preserva en todas las condiciones de funcionamiento especificadas.
- g) **Funcionamiento y mantenimiento:** el sistema o el equipo debe operar y se debe mantener de tal manera que sea preservada la seguridad funcional prevista.
- h) **Modificaciones:** las incidencias de las eventuales modificaciones propuestas sobre la seguridad funcional se deben evaluar.
- i) **Utilización del equipo/sistema:** se recomienda disponer de un sistema de vigilancia de seguridad que registre los fallos durante la utilización y tenga en cuenta los efectos de estos fallos sobre la seguridad. El sistema deberá conservar los registros para permitir el examen de los efectos electromagnéticos ligados a estos fallos.

- j) **Retirada del servicio:** finalmente, antes de la retirada del servicio del sistema o del equipo, debe efectuarse un análisis para evaluar el impacto de la retirada del servicio propuesto sobre la seguridad funcional de otros eventuales sistemas y equipos.

5.2 Etapas para la consecución de la seguridad funcional

Para conseguir la seguridad funcional, deben emprenderse las siguientes acciones específicas relativas a las influencias electromagnéticas.

- a) Definición de la estructura, diseño y funciones previstas del equipo o del sistema proyectado o existente.
- b) Descripción del entorno electromagnético correspondiente (véase el capítulo 6).
- c) Especificación de los requisitos de seguridad (véase el capítulo 7).
- d) Ejecución de un análisis de seguridad de funcionamiento para identificar los peligros (en términos de sucesos y de las partes correspondientes del equipo o sistema) que pueden entrañar riesgos para la seguridad debidos a las perturbaciones electromagnéticas (véase el capítulo 8).
- e) Ensayos de compatibilidad electromagnética para la seguridad (véase el capítulo 9).
- f) Modificación de las medidas de diseño o de instalación, si fuere necesario, para reducir los riesgos a valores aceptables.
- g) Puesta en funcionamiento de un proceso de validación para demostrar que el equipo o el sistema funciona conforme a los requisitos de seguridad especificados.
- h) Producción de instrucciones de funcionamiento y mantenimiento para conseguir la seguridad funcional en el tiempo

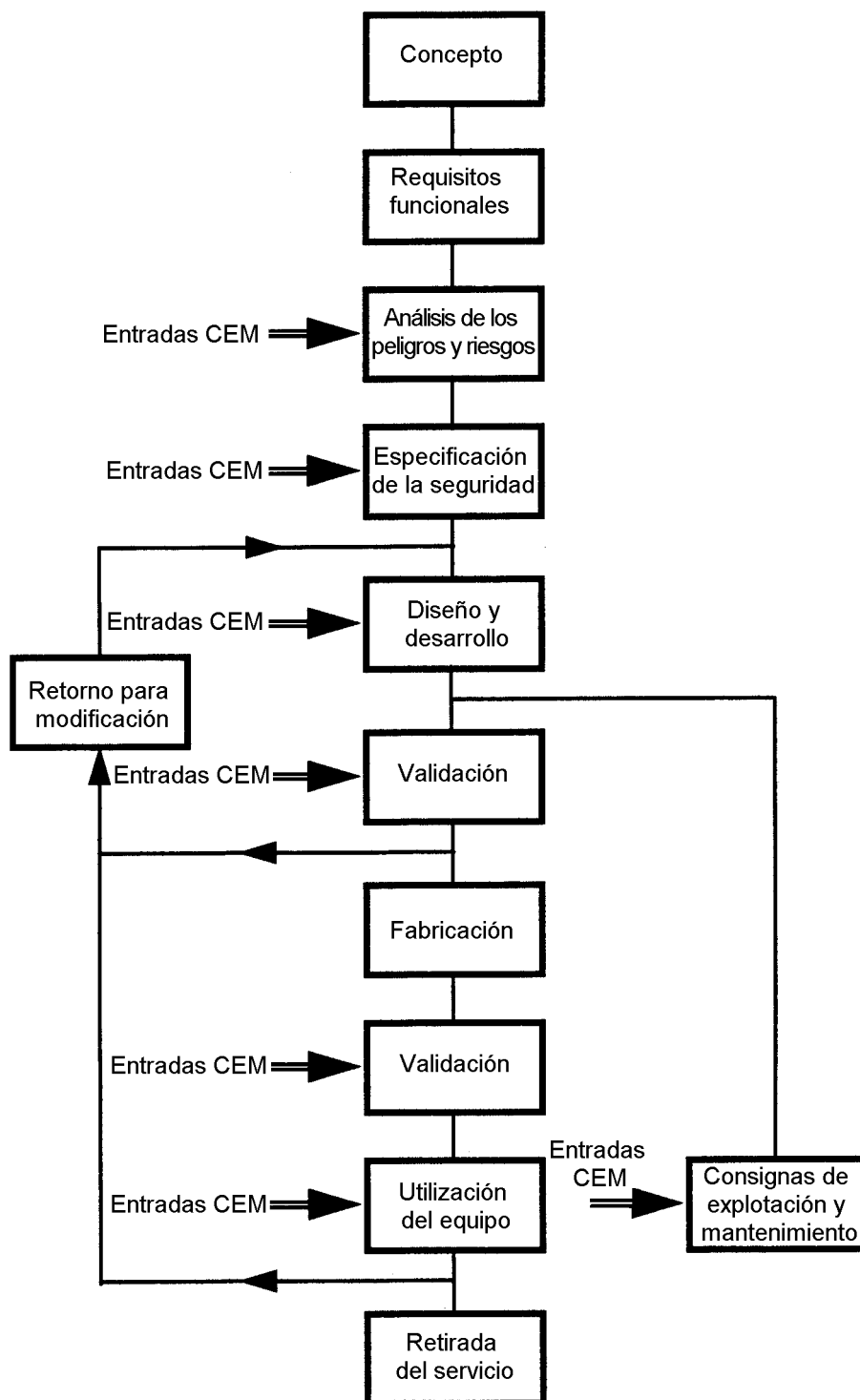


Fig. 1 – Ciclo de vida de seguridad de los equipos individuales

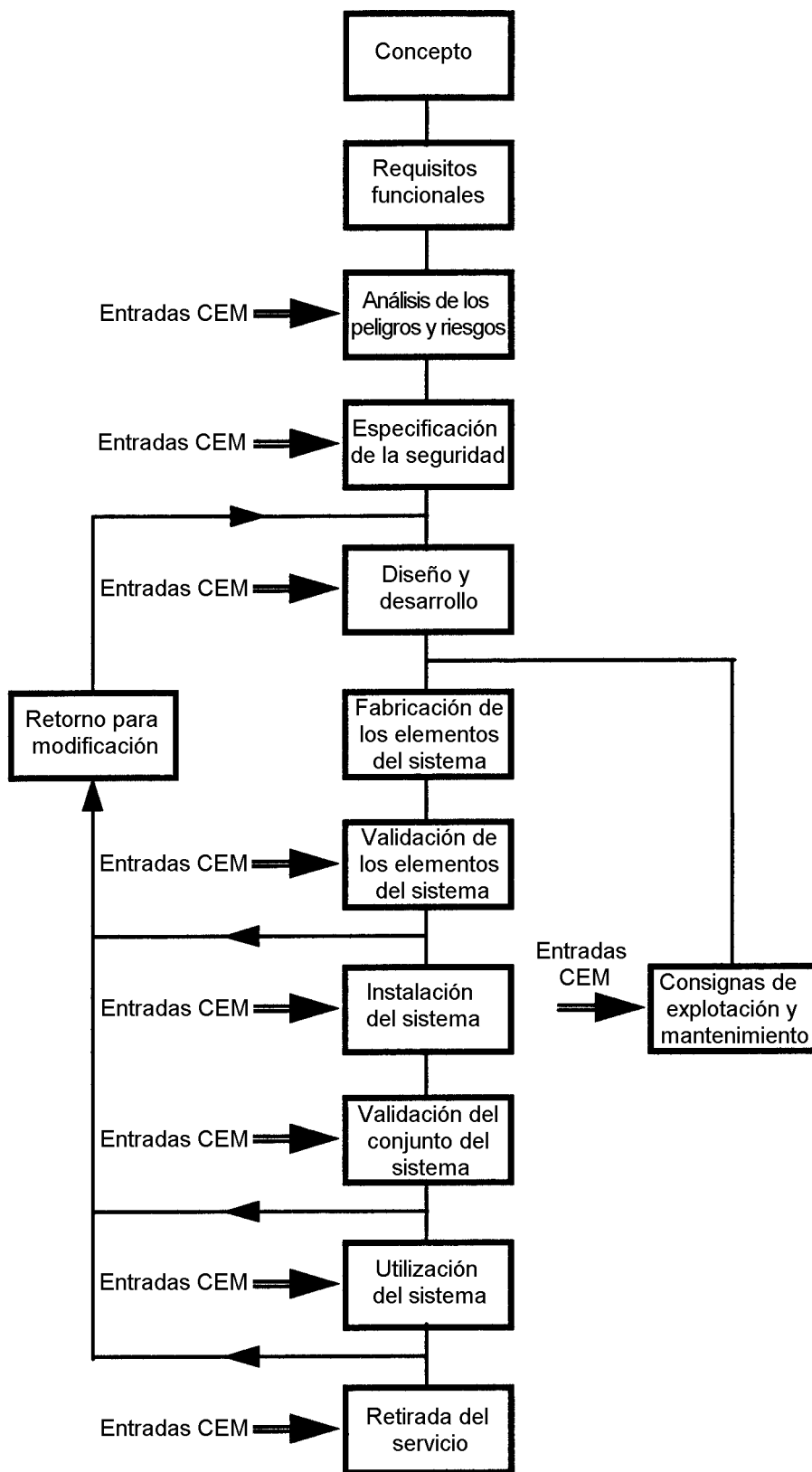


Fig. 2 – Ciclo de vida de la seguridad de sistemas

6 ENTORNO ELECTROMAGNÉTICO

La tabla 1 da una visión de conjunto de las principales perturbaciones electromagnéticas que deben tenerse en cuenta.

En las normas o informes técnicos de la serie CEI 61000-2 o de la serie CEI 61000-4 se encuentran informaciones generales sobre los niveles de las perturbaciones electromagnéticas en diversos entornos. La tabla A.1 del anexo A da una indicación de los niveles que teóricamente no se sobrepasarán en los entornos más corrientes.

Algunos fenómenos electromagnéticos que se producen raramente no son aún el objeto de normas CEI pero debería tenerlos en cuenta en casos concretos. Se trata, por ejemplo, de fenómenos conducidos o radiados en la gama de frecuencias de 3 kHz a 150 kHz.

Es conveniente insistir sobre el hecho de que los niveles de las perturbaciones electromagnéticas indicadas en las diversas normas, informes o especificaciones técnicas, se deben tomar en consideración con mucha prudencia por lo que respecta a sus incidencias sobre la seguridad. Se ha de observar en especial lo siguiente:

- a) Los niveles de las perturbaciones varían según una distribución estadística, y los niveles dados como ejemplo en la tabla A.1 se pueden sobrepasar sensiblemente en circunstancias especiales. No obstante, estas circunstancias sólo pueden presentarse raramente o en lugares especiales (véase la Norma CEI 61000-1-1).
- b) Los niveles de ensayo y criterios de aptitud a la función normalizados están generalmente unidos a los requisitos funcionales y no a la seguridad. Tiene que tenerse en cuenta un margen de seguridad adecuado.
- c) Las características de inmunidad del equipo pueden degradarse con el envejecimiento.
- d) Puede ser necesario restringir la utilización de algunos tipos de equipo (teléfonos móviles, por ejemplo) en algunos entornos particulares para evitar situaciones peligrosas.

NOTA – Un nivel de perturbación de referencia frecuentemente encontrado es el nivel de compatibilidad, seleccionado de manera que exista una baja probabilidad de que sea sobrepasado por el nivel de emisión real. Frecuentemente se supone que el nivel de compatibilidad cubre el 95% de los casos y se puede sobrepasar en el 5% de los casos. Por esta razón, no son los niveles de compatibilidad sino los valores indicados en las normas de inmunidad de la serie CEI 61000-4 los que han sido utilizados en la tabla A.1 como niveles de perturbación típicos.

En algunas circunstancias, por ejemplo, en un sistema o instalación, puede igualmente ser necesario restringir los niveles de emisión por debajo de los niveles normales o impedir la utilización de ciertos equipos cerca de equipos próximos implicados en la seguridad.

Tabla 1
Vista de conjunto de los fenómenos de perturbación

Fenómenos conducidos de baja frecuencia	Armónicos, interarmónicos Tensiones de señalización Fluctuaciones de tensión Huecos de tensión e interrupciones Desequilibrio de tensión Variaciones de la frecuencia de red Tensiones inducidas de baja frecuencia Tensión continua en las redes alternas
Fenómenos de campos radiados de baja frecuencia	Campos magnéticos ^a Campos eléctricos
Fenómenos conducidos de alta frecuencia	Tensiones o corrientes permanentes por acoplamiento directo o inducidas Transitorios unidireccionales ^b Transitorios oscilatorios ^b
Fenómenos de campos radiados de alta frecuencia	Campos magnéticos Campos eléctricos Campos electromagnéticos – ondas continuas – transitorios ^c
Fenómenos de descargas electrostáticas (DES)	
Impulso electromagnético de gran altitud (IEM-GA)^d	
<p>^a Continuos o transitorios.</p> <p>^b Simples o repetitivos (ráfagas).</p> <p>^c Simples o repetitivos.</p> <p>^d A tener en cuenta bajo condiciones especiales.</p> <p>NOTA – No existe ciertamente ningún límite señalado entre los campos de baja y alta frecuencia sino una transición progresiva entre 9 kHz y 150 kHz. Para las aplicaciones formales, el límite se fija en 9 kHz (objeto y campo de aplicación del CISPR).</p>	

7 REQUISITOS DE SEGURIDAD Y CRITERIOS DE FALLOS

Para conseguir la seguridad funcional de los equipos o sistemas eléctricos y electrónicos en presencia de perturbaciones electromagnéticas, deben tenerse en cuenta los aspectos de funcionamiento siguientes:

- a) En primer lugar, la seguridad funcional del equipo o sistema no debe ser afectada indebidamente por el entorno electromagnético del lugar en que el equipo se utiliza. Esto exige que el nivel de inmunidad del equipo o del sistema sea suficiente para que los fallos eventuales debidos a las perturbaciones electromagnéticas se produzcan con una cadencia que, combinada con otras causas o fallos, entrañe un riesgo globalmente aceptable.
- b) En segundo lugar, las perturbaciones electromagnéticas eventuales producidas en el interior de un sistema o instalación no deben afectar indebidamente la seguridad funcional de las otras partes del sistema o instalación. Esto requiere emisiones electromagnéticas “internas” suficientemente bajas en este sistema o instalación (las influencias electromagnéticas internas en un equipo se deben resolver en el diseño).

c) Con relación a los criterios utilizados para determinar el resultado de los ensayos de inmunidad (denominados “criterios de fallos”) generalmente se especifican clases de degradación, tomando en cuenta los efectos de las perturbaciones sobre el equipo o sistema, como por ejemplo en los ensayos de inmunidad CEM de la serie CEI 61000-4.

- 1) aptitud a la función normal en los límites especificados por el fabricante;
- 2) pérdida de función o degradación del funcionamiento temporal que cesa cuando cesan las perturbaciones. El equipo recupera su capacidad normal después del ensayo, sin intervención del operador o remite al estado inicial del sistema. La pérdida o degradación del funcionamiento puede persistir eventualmente durante algún tiempo;
- 3) pérdida de función o degradación del funcionamiento temporal, cuya corrección exige una intervención del operador o la remisión al estado inicial del sistema;
- 4) pérdida de función o degradación del funcionamiento no recuperable, debido a daños en el equipo o programa, o la pérdida de datos.

La aparición de cada una de estas situaciones, con excepción de la 1) puede tener una incidencia en la seguridad, y por tanto un riesgo ligado, que debe imperativamente ser analizado caso por caso.

Debe observarse que puede haber una diferencia entre el fallo del equipo y el fallo del sistema: debe considerarse también un fallo del equipo a la vista del diseño del sistema (por ejemplo, en caso de redundancia, los canales paralelos no deben ser afectados de la misma manera por una perturbación electromagnética).

Debe observarse también que, en el contexto de la seguridad funcional, a veces es aceptable que un dispositivo expuesto a perturbaciones electromagnéticas falle de tal manera que cualquier peligro sea evitado (comportamiento de seguridad intrínseca).

8 ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD DE FUNCIONAMIENTO

Se puede requerir un análisis de la seguridad de funcionamiento para identificar las partes del equipo o sistema que entrañan un riesgo para la seguridad debido a las perturbaciones electromagnéticas.

8.1 Consideraciones generales relativas a la selección del método adecuado

Existen varios métodos de estudio de la seguridad de funcionamiento (véase el anexo E). En general, se basan en dos principios:

- metodología deductiva (metodología descendente):
- metodología inductiva (metodología ascendente).

Se caracterizan como sigue:

- a) metodología deductiva (véase el apartado 5.3 de la Norma CEI 60300-3-1)

El fundamento del procedimiento deductivo consiste en partir del nivel de interés o de preocupación más alto – lo que se denomina “suceso de copa” – y descender sucesivamente a niveles más bajos para identificar los que presentan un funcionamiento del sistema indeseable.

Un método deductivo es un método orientado de sucesos: permite identificar, para cada uno de los sucesos de copa específicos, los niveles del sistema y componentes responsables.

b) metodología inductiva (véase el apartado 5.4 de la Norma CEI 60300-3-1)

El fundamento del método inductivo es identificar los modos de falta a nivel del componente. Para cada modo de falta, se deduce el correspondiente efecto sobre el funcionamiento para el nivel del sistema inmediato superior. Las interacciones sucesivas entrañan la identificación eventual de efectos de fallo en todos los niveles funcionales. Esta aproximación “ascendente” permite la identificación de todos los modos de faltas únicos.

Con relación al efecto de las perturbaciones electromagnéticas sobre la seguridad funcional, es a menudo conveniente aplicar el método deductivo (descendente), a saber:

- en primer lugar, definir los sucesos indeseables: fallos de funcionamiento o funcionamientos indeseables;
- en segundo lugar, proceder al análisis de los fallos.

Un método inductivo (ascendente) tiene en cuenta todos los modos de falta, incluido los modos no relativos a las perturbaciones electromagnéticas y es por tanto inútilmente extenso y complicado para los sistemas complejos.

Para los fines de esta especificación técnica, el análisis por árbol de fallos (AAF) se utiliza para dar un ejemplo de la aplicación de un método deductivo. El AAF se considera como un método muy adecuado en un análisis CEM.

NOTA – Naturalmente pueden aplicarse otros métodos, particularmente en el marco de un estudio global tomando en cuenta todos los aspectos que tienen una incidencia.

8.2 Aplicación del análisis por árbol de fallos a las perturbaciones electromagnéticas

El procedimiento de ejecución de un análisis por árbol de fallos se describe con detalle en la Norma CEI 61025. Implica las etapas siguientes (que forman parte del ciclo de vida global de seguridad descrito en el capítulo 5).

a) Definir el equipo o sistema estudiado:

- su estructura física y reglas de diseño;
- la configuración del programa (si es posible con la misma estructura que el equipo);
- las funciones previstas.

b) Especificar el entorno electromagnético al que es expuesto el equipo estudiado:

- los emplazamientos en que el equipo está instalado;
- las perturbaciones electromagnéticas que influyen;
- los niveles de perturbación más rigurosos;
- los niveles de ensayo de inmunidad normalmente aplicados para fines funcionales.

c) Especificar todos los sucesos de seguridad indeseables:

- ausencia de funcionamiento;
- funcionamientos indeseables;
- funcionamientos incorrectos;

Estos sucesos de seguridad serán considerados como los sucesos de copa del árbol de fallos

d) Efectuar el análisis por árbol de fallos:

Se efectúa un análisis por árbol de fallos para cada situación peligrosa y engloba a la vez el equipo y el programa.

Cada situación peligrosa representa un suceso de copa del árbol de fallos. Entonces es necesario analizar cuál de los sucesos de nivel inferior puede dar lugar a un suceso de copa.

Las perturbaciones electromagnéticas se consideran en el árbol de fallos como los sucesos básicos.

Las partes del equipo o sistema en que se requieren niveles de ensayo de inmunidad reforzados para realizar la seguridad funcional también se identifican.

e) Si fuera necesario, efectuar las modificaciones en el diseño y en la instalación para corregir los sucesos indeseables y repetir el análisis.

9 ENSAYOS CEM RELATIVOS A LA SEGURIDAD

9.1 Importancia y necesidad de los ensayos

Los equipos eléctricos o electrónicos para los que los análisis descritos en esta especificación técnica indican un riesgo electromagnético potencial para la seguridad se deben someter a ensayos adecuados, para garantizar que su diseño garantice la seguridad funcional requerida. Este punto es especialmente importante para los elementos y funciones unidos a la seguridad del equipo.

Los ensayos de inmunidad CEM de un equipo o sistema se especifican generalmente en la norma CEM de productos aplicable. Si esta norma no existe, puede aplicarse una norma genérica de inmunidad CEM. Estos requisitos funcionales de ensayos CEM en general se basan en la demostración de la inmunidad "normal" de los dispositivos. Debido a que las perturbaciones electromagnéticas son estáticas por naturaleza, estos ensayos pueden que no cubran todas las situaciones posibles: los diferentes entornos, todos los tipos de perturbaciones, los niveles máximos, etc., a los que puede exponerse el equipo. Esto es particularmente cierto con las normas genéricas que, en principio, definen un número limitado de ensayos para realizar un óptimo técnico-económico. En consecuencia, pueden ser necesarios ensayos de inmunidad CEM más rigurosos desde el punto de vista de la seguridad.

Es importante para los comités de productos y los fabricantes definir la extensión y la rigurosidad de los ensayos de inmunidad CEM complementarios, relacionados con la seguridad, proporcionalmente a los riesgos y a las consecuencias del fallo del equipo. Este punto puede ser importante desde el punto de vista de las implicaciones legales.

No obstante, la experiencia adquirida en la explotación de determinados tipos de equipos y su capacidad para conseguir la seguridad funcional a pesar de las perturbaciones electromagnéticas importantes en el entorno de utilización, puede tomarse en cuenta para la elaboración de un plan de ensayo CEM de seguridad funcional.

9.2 Tipos y niveles de ensayos EM relativos a la seguridad

Los ensayos CEM de seguridad requieren algunas consideraciones particulares:

9.2.1 Tipos de ensayos de inmunidad. En general, los ensayos CEM funcionales que se encuentran en una norma de productos o genérica no tienen en cuenta todas las perturbaciones electromagnéticas posibles (relacionadas en la tabla 1). Se concibe que una perturbación indeseable, pero de nivel más alto, puede tener incidencias sobre la seguridad.

Por lo que respecta a la seguridad, es necesario determinar si pueden producirse perturbaciones que pueden haber sido ignoradas en las normas de productos o genéricas. Si es así, su impacto se debe tener en cuenta.

9.2.2 Niveles de ensayo. Los niveles de ensayos funcionales especificados en las normas CEM de productos o genéricas, corresponden a niveles “normales” de perturbaciones en el entorno. Para fines de seguridad, los comités de productos o los fabricantes deben especificar los niveles de ensayo basados en los niveles máximos susceptibles de producirse en todos los entornos en que el equipo esté destinado a ser instalado. También es necesario tener en cuenta la distribución estadística de los niveles de perturbaciones, así como las consecuencias posibles de los fallos en términos de perjuicios o daños corporales.

Será necesario aumentar los niveles de ensayos de CEM funcionales con un “factor de seguridad”. No es posible dar una recomendación general para este factor de seguridad que depende de numerosas condiciones. Se deben especificar caso por caso, y puede ser diferente para cada tipo de perturbación electromagnética. En determinadas circunstancias, será necesario especificar este factor de seguridad de manera que conduzca a un nivel de ensayo superior al requerido por los imperativos de funcionamiento.

En los equipos o sistemas que contienen partes importantes para la seguridad, pueden tomarse en cuenta dos series de ensayo:

- una serie para las partes del sistema sin impacto sobre la seguridad;
- una serie para las partes del sistema importante para la seguridad, con requisitos de inmunidad más rigurosos.

NOTA – El anexo A contiene, para información, un resumen de los requisitos de ensayo de inmunidad funcional contenidos en las normas de inmunidad CEM genéricas.

9.3 Funcionamiento del equipo durante los ensayos

Cuando un sistema constituido por varios dispositivos se debe someter a ensayo, es importante que los ensayos se efectúen con el mayor nivel de integración.

Debido a la complejidad de un fallo de funcionamiento del programa por una perturbación electromagnética, se recomienda que la totalidad del sistema en lo posible se someta a un ensayo en funcionamiento.

Si esto no es factible debido a impedimentos por el tamaño o por otras razones, los subsistemas se pueden someter a ensayo separadamente. Se debería añadir, cuando sea posible, “simuladores funcionales” para representar las partes ausentes del sistema, y los eventuales fallos de funcionamiento constatados durante este ensayo parcial se deben analizar para determinar su impacto sobre las actuaciones del conjunto del sistema.

Si los ensayos se efectúan en condiciones distintas de la instalación propiamente dicha, los montajes de ensayo necesitarán ser lo más representativos posible, en particular en términos de implantación, de recorrido del cableado y modos de utilización.

9.4 Prestar atención a los sucesos indeseables (equipos/programas)

En la preparación del plan de ensayo, se debe prestar atención a los sucesos indeseables (programas y equipos) determinados por los procedimientos recomendados en el capítulo 8.

9.5 Favorecer los efectos observables

Puede ser útil forzar al equipo sometido a ensayo a un mal funcionamiento para determinar si, y como, crea daños para la seguridad cuando se somete a extremos del entorno electromagnético. Se puede proceder de diferentes maneras, como por ejemplo:

- niveles de ensayo mayores;
- reducción de la inmunidad a las perturbaciones;

- aceleración de la cadencia de repetición de las perturbaciones (especialmente importante para las perturbaciones de baja probabilidad de ocurrencia, como por ejemplo descargas electrostáticas (DES), transitorios eléctricos rápidos en ráfagas (TER/R), etc.).

Puede ser necesario en algunas circunstancias determinar el nivel de inmunidad preciso para determinar el valor de un eventual margen de seguridad. En este caso, puede efectuarse un ensayo durante el cual se aumenta el nivel de perturbación observando las actuaciones del equipo o del sistema hasta que se constate un fallo en el funcionamiento.

El ensayo en condiciones de fallo, es decir, un ensayo en que se introduce un fallo voluntariamente en el equipo, no precisa normas relativas a CEM. No obstante, este ensayo puede ser útil en una norma relativa a la seguridad, para controlar el comportamiento del equipo después de una eventual degradación de sus partes o de sus componentes.

9.6 Criterios de actuación

Los fallos de funcionamiento que implican riesgos para la seguridad deben evaluarse cuidadosamente, como por ejemplo:

- ausencia de funcionamiento cuando el funcionamiento sea requerido;
- funcionamiento indeseable cuando sea requerida la ausencia de funcionamiento;
- desviaciones con relación al funcionamiento normal.

Se debería dar una llamada de atención especial:

- al comportamiento de los elementos importantes para la seguridad (que pueden someterse a ensayo separadamente);
- a los modos de "seguridad intrínseca".

9.7 Validación y documentación de la planificación de los ensayos

Los ensayos CEM de seguridad deben efectuarse de acuerdo con las especificaciones establecidas por el comité de productos, el diseñador, el fabricante y el instalador del equipo.

Debe elaborarse un plan de ensayo para validar las características del equipo en los entornos de explotación previstos. Los ensayos deben ser ensayos de homologación de tipo, o ensayos de muestreo efectuados de acuerdo con la recomendación del comité de productos, o del diseñador (un ensayo del 100% es desaconsejable en algunos casos porque un ensayo con un nivel alto de riesgo puede deteriorar un número demasiado grande de dispositivos). Los resultados de los ensayos se deben documentar y conservar.

En caso de modificación del equipo durante o después de los ensayos, el programa de ensayos CEM correspondiente se debe repetir después de la ejecución y documentación de las eventuales modificaciones consideradas necesarias.

10 INFORME

Se requiere un informe de la influencia de los fenómenos electromagnéticos sobre la seguridad funcional de un equipo eléctrico/electrónico, que debe comprender las informaciones indicadas en los puntos siguientes.

NOTA – Las condiciones relativas a los fenómenos electromagnéticos pueden integrarse en un informe de seguridad completo que tiene en cuenta otros fenómenos pertinentes (aislamiento, riesgos mecánicos, etc.).

a) Especificación del equipo considerado

Fabricante, tipo, número de serie, etc.

b) Objeto y funciones del equipo

c) Descripción del equipo

(En la medida en que pueda ser útil desde el punto de vista de las influencias electromagnéticas.)

d) Lugares donde el equipo se instale y especificación del o de los entornos electromagnéticos

Identificar los fenómenos perturbadores relacionados en la tabla 1 considerados importantes sobre el lugar previsto, incluyendo los valores máximos y la frecuencia de ocurrencia.

Tener en cuenta los fenómenos no cubiertos por las normas existentes, es decir, los campos básicos de media frecuencia entre la frecuencia de red y 150 kHz.

e) Especificación de los requisitos de seguridad

Los requisitos de seguridad se deberían especificar también para el análisis de seguridad, según el punto f), y para los ensayos de seguridad, según el punto g).

f) Análisis de seguridad

1) Especificación del método de análisis (es decir, AAF, etc.)

2) Memoria del proceso de análisis de seguridad, es decir:

- en el caso de un AAF: árbol de fallo para cada suceso;
- otros métodos: tablas correspondientes.

3) Memoria de los resultados del análisis de seguridad:

- fenómenos electromagnéticos críticos;
- elementos críticos del equipo;
- condiciones de instalación críticos;
- elementos críticos para el mantenimiento (desde el punto de vista del envejecimiento).

g) Ensayo de seguridad

1) Especificación de los niveles de ensayo electromagnéticos necesarios para la consecución de la seguridad funcional requerida.

2) Especificación de otros tipos de ensayos, como por ejemplo los ensayos mecánicos, necesarios para asegurar la estabilidad de la seguridad en el tiempo (desde el punto de vista del apantallamiento, por ejemplo).

3) Informe de los ensayos de seguridad.

h) Conclusiones.

ANEXO A (Informativo)**EJEMPLOS DE NIVELES DE ENSAYO DE INMUNIDAD CEM**

En este anexo se da información para no expertos en CEM.

Tal como se indica en los capítulos 6 y 9, las normas CEM de productos o los capítulos relativos a la CEM de las normas generales de productos especifican niveles de ensayo de inmunidad adecuados a los requisitos funcionales del equipo.

Desde el punto de vista de los requisitos de seguridad, se debería aumentar estos niveles de ensayo de inmunidad “funcionales” con un margen de seguridad adecuado.

La tabla A.1 da como información general un resumen de los ensayos de inmunidad “funcionales” y niveles de ensayo especificados en las normas genéricas de CEM.

- Las dos columnas de la izquierda contienen una relación de las normas de ensayos de inmunidad correspondientes a las diversas perturbaciones electromagnéticas que se han tomado en cuenta. Se debería observar que no están incluidos en esta relación todos los fenómenos de perturbación. Por razones de seguridad, también se pueden tomar en cuenta otros ensayos críticos.
- La tabla indica a continuación, para dos entornos “clásicos”, entornos residenciales e industriales, los niveles típicos indicados por las normas de las series CEI 61000-2 o CEI 61000-4.
- La tabla muestra seguidamente los niveles de ensayo de inmunidad correspondientes.

Es importante observar que las normas genéricas de CEM son normas de aplicación general cuando no existe ninguna norma CEM de productos específica. Estas normas especifican ensayos y niveles de ensayo suficientes para asegurar un nivel de inmunidad aceptable, y se pueden considerar como referencia general. No obstante, no toman en cuenta casos extremos y pueden no ser adecuadas para asegurar la seguridad funcional.

Tabla A.1
Niveles de perturbaciones electromagnéticas típicas
Niveles de ensayos de inmunidad dados por las normas genéricas de inmunidad CEM

Esta tabla es un resumen simplificado dado solamente para información. Para los niveles y condiciones de ensayos reales, el usuario se refiere a las últimas versiones de las normas genéricas.

Normas básicas	Fenómenos y accesos	Unidades	Entornos residencial, comercial e industria ligera			Entornos industriales		
			Niveles de perturbación típicas	Niveles de ensayo de la norma genérica CEI 61000-6-1	Criterios de aptitud ^a	Niveles de perturbación típicas	Niveles de ensayo de la norma genérica CEI 61000-6-2	Criterios de aptitud
CEI 61000-4-13	Armónicos: THD	% U_n	8	Sin ensayo	–	10	Sin ensayo	
	5°	% U_n	6	Sin ensayo	–	8	Sin ensayo	
CEI 61000-4-11	Huecos de tensión c.a.	$\Delta\% U_n$	10 a 95	30 60	B/C	10 a 95	30 60	B/C
		periodos	0,5 a 150	0,5 5		0,5 a 300	0,5 50	
CEI 61000-4-11	Interrupciones de tensión c.a. >95%	periodos	2 500	250	C	2 500	250	C
CEI 61000-4-14	Fluctuaciones de tensión c.a.	$\Delta U_n\%$	+10, -10	Sin ensayo	–	+10, -15	Sin ensayo	–
CEI 61000-4-8	Campos magnéticos a la frecuencia de la red	A/m	0,5 a 5	3	A	10 a 30	30	A
CEI 61000-4-6	Perturbaciones AF conducidas 0,15 MHz a 80 MHz ^b	V mod						
	– potencia c.a. mc		1 a 10	3	A	1 a 10	10	A
	– potencia c.c. mc		1 a 10	3	A	1 a 10	10	A
	– control/señal mc		1 a 10	3	A	1 a 10	10	A
	– tierra funcional		–	3	A	–	10	A
CEI 61000-4-3	Campos RF ≤ 80 MHz a 1 000 MHz	V/m mod	3 a 5	3	A	10	10	A
Modificación CEI 61000-4-3	Campos RF telef. digital ^c 0,9 (1,8) GHz	V/m mod	3 a 10	3 ^c	A	–	Sin ensayo	–

CEI 61000-4-5	Ondas de choque 1,2/50 (8/20)	kV	1 a 2 0,5 a 1	± 2 ± 1	B B	2 a 4 0,5 a 2	± 2 ± 1	B B
	- potencia c.a. fase → tierra							
	- potencia c.c. fase → tierra							
CEI 61000-4-4	Transitorios rápidos ^d	kV	1 a 2 - 0,5 a 1 -	± 1 $\pm 0,5$ $\pm 0,5$ $\pm 0,5$	B B B B	2 a 4 2 a 4 1 a 2	± 2 ± 2 $\pm 1^e$ ± 1	B B B B
	- potencia c.a.							
	- potencia c.c.							
CEI 61000-4-12	Transitorios oscilatorios	kV	1 a 4	Sin ensayo Sin ensayo	- -	1 a 4 0,5 a 2	Sin ensayo Sin ensayo	- -
	- 0,1 MHz (potencia c.a.)							
CEI 61000-4-2	DES en el aire	kV	4 a 8 ^f	$\pm 8^f$ $\pm 4^f$	B B	4 a 8 ^f	$\pm 8^f$ $\pm 4^f$	B B
	en contacto							
THD = Distorsión armónica total		RF = Radiofrecuencia		mc = modo común				
5° = 5° armónico (ejemplo)		DES = Descarga electrostática		md = modo diferencial				
NOTA 1 – Los “niveles de perturbación típicos” indican los valores superiores de los fenómenos que se producen en condiciones ambientales normales. Pueden sobrepasarse notablemente en algunas circunstancias especiales. Los niveles de ensayo especificados en las normas genéricas se han seleccionado para cumplir con los requisitos funcionales de la mayor parte de los capítulos en condiciones normales. Los niveles de ensayo de seguridad tienen que incrementarse en un factor de seguridad adecuado – véase el capítulo 9.								
NOTA 2 – Algunos fenómenos electromagnéticos cuyo control no está previsto por las normas genéricas pueden, no obstante, tener un efecto sobre la seguridad funcional, y se deben tener en cuenta por el comité de productos responsable (por ejemplo, campos en la gama de frecuencia de 3 kHz a 150 kHz).								
^a Criterios de aptitud								
A: El aparato debe continuar funcionando como estaba previsto durante y después del ensayo.								
B: El aparato debe continuar funcionando como estaba previsto después del ensayo. Durante el ensayo, se autoriza una cierta degradación del funcionamiento, según especifique el fabricante.								
C: Se autoriza una pérdida de función temporal durante y después del ensayo, a condición de que la función sea auto-recuperable o se pueda restablecer mediante una intervención sobre los controles.								
^b Niveles de ensayo especificados = valor eficaz de la portadora no modulada; mod ≡ 1 kHz, 80%.								
^c UE solamente.								
^d Ensayo con pinza capacitiva.								
^e Líneas implicadas directamente en el control del proceso.								
^f Tensión de carga.								

ANEXO B (Informativo)

**EJEMPLOS DE ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD DE FUNCIONAMIENTO
DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LOS FENÓMENOS ELECTROMAGNÉTICOS**

Este anexo presenta dos ejemplos prácticos basados en el método de análisis por árbol de fallos (AAF) para la aplicación de los principios descritos en los capítulos 8 y 9 de esta especificación técnica.

- B.1 Equipo único: Controlador electrónico para quemador de gas;
- B.2 Sistema complejo de varios equipos (en estudio).

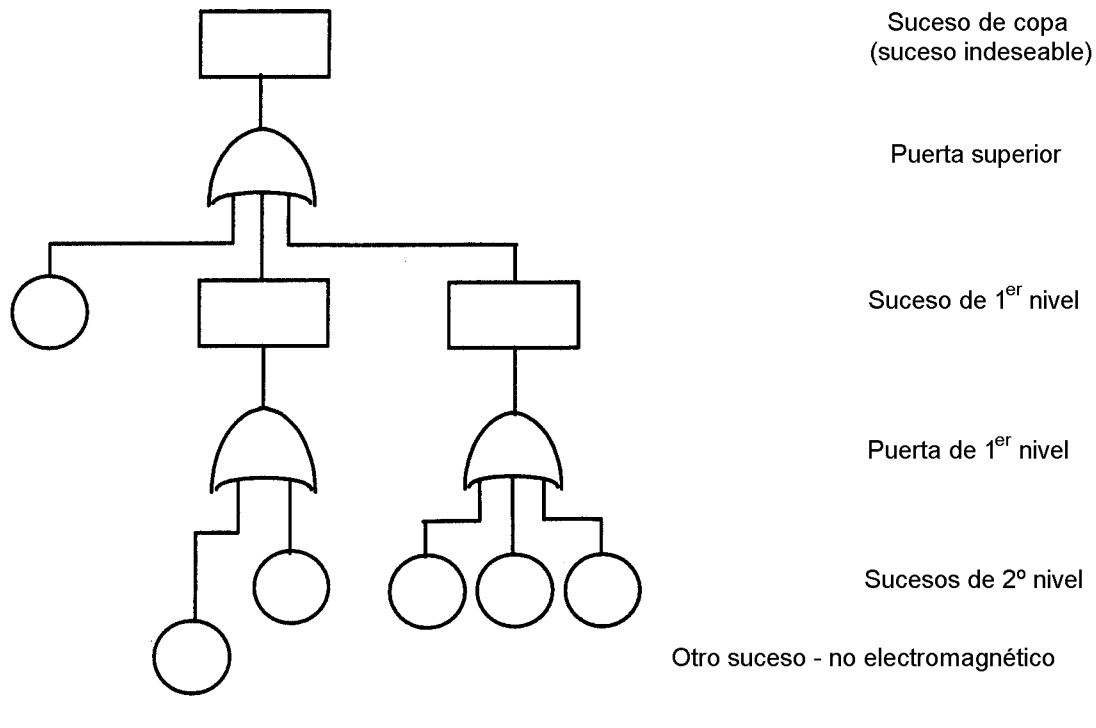
De acuerdo con el apartado 8.2, se toman en cuenta las etapas siguientes:

- a) objeto y funciones esperadas del equipo considerado;
- b) estructura física (material) del equipo;
- c) configuración lógica (si es posible con la misma estructura que el equipo)
- d) entorno electromagnético y niveles de ensayos funcionales;
- e) objeto del análisis de daños y riesgos (sucesos de copa);
- f) análisis por árbol de fallos:
 - 1) fabricación del árbol de fallos;
 - 2) evaluación del árbol de fallos desde el punto de vista de la seguridad;
- g) recomendaciones para el diseño del equipo;
- h) conclusiones relativas al plan de ensayos de seguridad:
 - 1) cuales son los ensayos pertinentes;
 - 2) cuales los niveles de ensayo.

Extractos de la Norma CEI 61025 – Análisis por árbol de fallos (AAF)

Extracto de los apartados 6.4 y 7.4.2:

La elaboración del árbol de fallos comienza por la definición del suceso de copa. Este suceso de copa es el suceso de salida de la puerta en la cima del árbol, mientras que los sucesos de entrada correspondientes se relacionan con las causas y condiciones posibles de aparición del suceso de copa. Cada suceso de entrada puede ser un suceso de salida de una puerta que se encuentra en un nivel inferior. De este modo, el análisis progresa hacia la base del árbol de fallos, pasando del mecanismo al modo, hasta el momento en que se alcanzan los límites de resolución del árbol.



Leyenda:



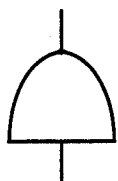
Bloque de descripción del suceso



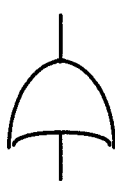
Suceso básico

Informaciones requeridas:

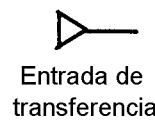
- código del suceso
- nombre o descripción del suceso
- nivel
- probabilidad de ocurrencia (en su caso)



Puerta Y



Puerta O



Entrada de transferencia



Salida de transferencia

para causa común

Fig. B.1 – Símbolos para la construcción de un árbol de fallos

B.1 Ejemplo B.1: Controlador electrónico para el quemador de gas

B.1.1 Objeto y funciones esperadas del equipo

El controlador electrónico del quemador de gas se destina para controlar un quemador de gas. Un quemador de gas se considera como un equipo crítico para la seguridad que debe cumplir con las normas de productos correspondientes. El controlador garantiza dos funciones principales.

a) controlar las funciones del equipo:

es decir, dar el agua caliente de calefacción central o el agua caliente sanitaria con regulación de la temperatura,

b) protección:

es decir, detección hasta dos fallos independientes susceptibles de entrañar una situación peligrosa. Si se detecta este fallo, debe cerrarse una válvula de gas. Esto implica un control secuencial antes de cada arranque y un control continuo durante el funcionamiento. Los parámetros dependen de las propiedades del equipo. En general, debe detectarse un fallo crítico primario en un plazo máximo de 3 s, mientras que un fallo secundario (es decir para controlar la primera protección) debe detectarse en un plazo máximo de 24 h.

B.1.2 Estructura material del equipo (hardware)

Véanse las figuras B.2 y B.3.

a) Las medidas generales de seguridad están ligadas a los procesos (riesgos para la seguridad):

- vigilancia de la llama (captador óptico) para evitar el escape de gas no quemado;
- termostato de límite alto, para evitar una elevación excesiva de la temperatura;
- detección de la presión del aire, para evitar la combustión tóxica.

b) Las medidas de seguridad específicas están ligadas al controlador del quemador propiamente dicho:

- protecciones primarias: control de la alimentación, del controlador de secuencias, de los ROM/RAM y de los captadores;
- protecciones secundarias: control de la alimentación secundaria, del controlador de secuencias, de los ROM/RAM secundarios y del amplificador de la llama.

B.1.3 Configuración lógica (software)

Para simplificar este ejemplo, sólo se tienen en cuenta las funciones importantes para la seguridad relacionadas a continuación (sin describirse con detalle).

Existen dos grupos de funciones de seguridad:

a) los controles iniciados a continuación de una demanda de calor; los controles secuenciales:

- presión del aire;
- llama falsa;
- emanación de gas;
- encendido.

b) los autocontroles de diagnóstico efectuados continuamente durante el funcionamiento del controlador y del quemador (véase el apartado B.1.5).

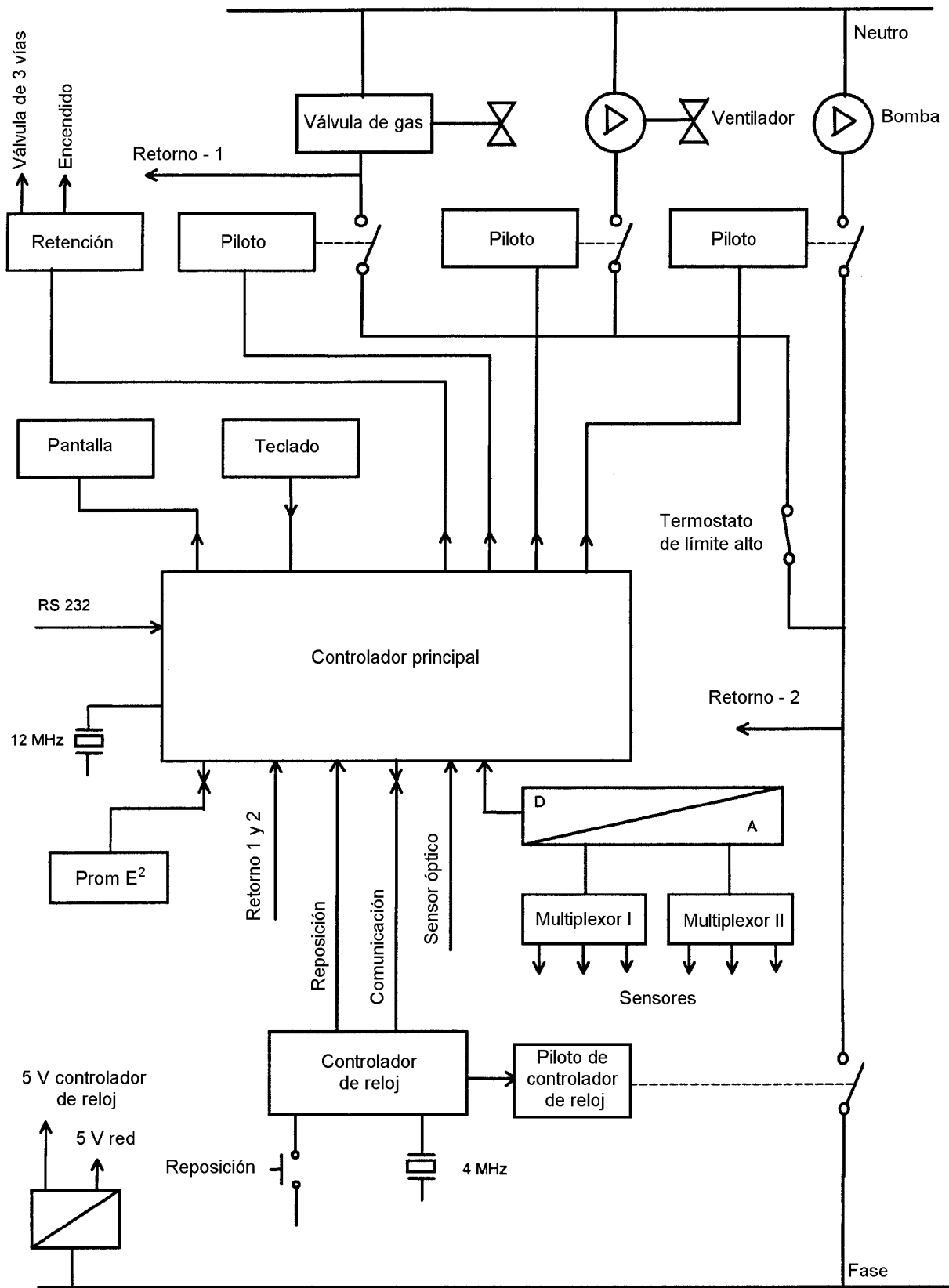


Fig. B.2 – Controlador para quemador de gas: estructura material

Quemador

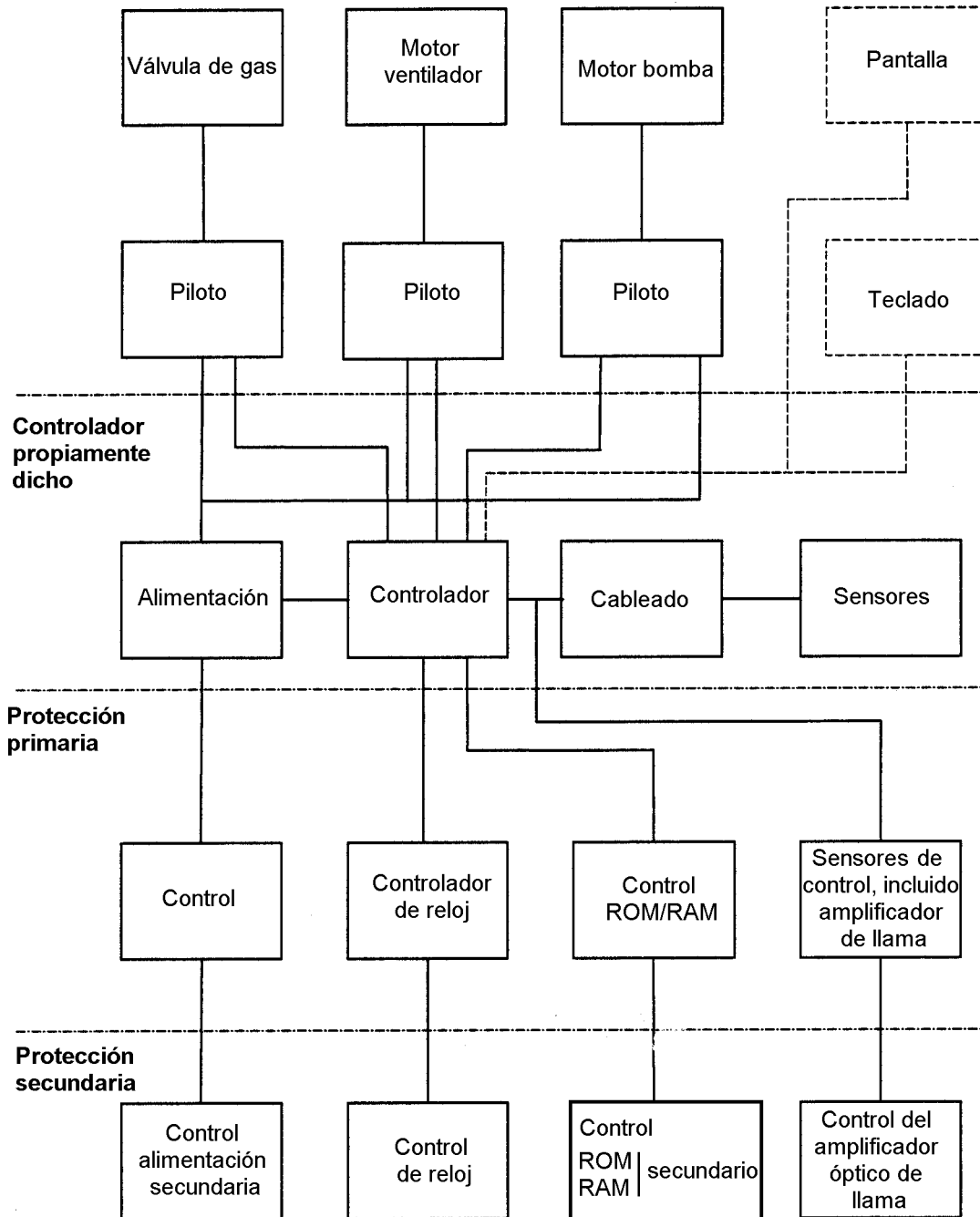


Fig. B.3 – Controlador para quemador de gas: diagrama de bloques

B.1.4 Entorno electromagnético y niveles de ensayo funcional

El quemador considerado se destina a ser instalado en un entorno residencial. Los ensayos de inmunidad CEM y de seguridad funcional correspondientes se especifican por ejemplo en la tabla B.1. Para un entorno industrial, se tienen en cuenta niveles de ensayo de inmunidad y de seguridad superiores.

Debe observarse que todos los fenómenos electromagnéticos relacionados en la tabla 1 no se consideran pertinentes para este tipo de equipo.

B.1.5 Objeto del análisis de peligros y riesgos

El objeto del análisis de peligros y riesgos es, para los riesgos de seguridad indeseables (sucesos de copa), determinar:

- qué fenómenos electromagnéticos pueden provocar estos riesgos (sucesos básicos),
- y en que sitios del dispositivo, para tomar las medidas de corrección adecuadas.

Los sucesos siguientes – sucesos de copa – no deben producirse con un quemador de gas:

- gas no quemado:
causa: sin encendido y detección defectuosa de la llama;
- temperatura demasiado alta:
causa: sensor de control de temperatura defectuoso o ausencia de agua (circulación);
- combustión tóxica:
causa: aire insuficiente (ventilador defectuoso o velocidad incorrecta).

B.1.6 Análisis por árbol de fallos (AAF)

Para los fines de este ejemplo, sólo se desarrolla a continuación el caso del “gas no quemado”. En la práctica, se debería elaborar AAF similares para otros casos: “temperatura demasiado alta” y “combustión tóxica”.

B.1.6.1 Construcción del árbol de fallos. El árbol de fallos ha sido elaborado de acuerdo con la Norma CEI 61025 (en la tabla de introducción de este anexo, se resumen las características importantes).

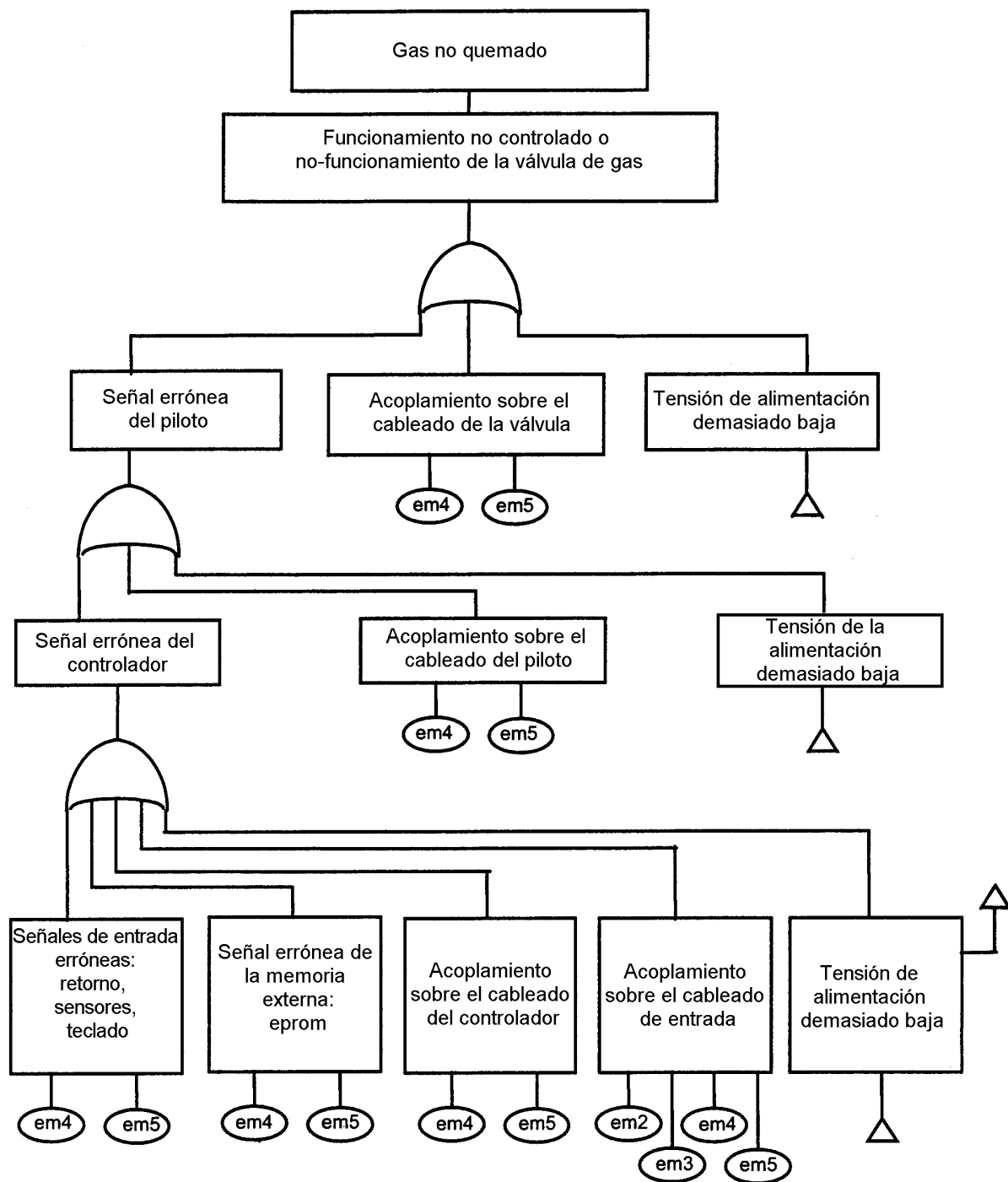
El árbol de fallos para “gas no quemado” se representa en la figura B.4. En los siguientes puntos se debería observar que

- el árbol de fallos sólo tiene en cuenta las influencias electromagnéticas. Los demás efectos susceptibles de tener incidencia sobre la seguridad del controlador, como un fallo de un componente, un error de manipulación del operador, etc. no se deben incluir en este árbol de fallos para que este sea limitado estrictamente a los efectos electromagnéticos;
- los sucesos e influencias electromagnéticas no ligados directamente al suceso de copa no están incluidos en el árbol de fallos:

por ejemplo, en el caso del “gas no quemado”, se podría pensar que un fallo del ventilador podría afectar este suceso. De hecho, un fallo del ventilador se detecta por una “combustión tóxica”;
- la “tensión de alimentación” se tiene que considerar en este caso como una “causa común” y tratada una vez solamente en el nivel más bajo (con un símbolo de salida de transferencia).

El circuito de alimentación puede ser muy complicado y se debería analizar como un subsistema separado en un árbol de fallos separado.

El “control de la alimentación” (véase la figura B.3) se puede utilizar tanto para la tensión de red como para la tensión 5 V = alimentación de los circuitos electrónicos por lo que es necesario un sólo control de la alimentación.



em = Fenómenos electromagnéticos = sucesos básicos, véase la tabla B3
 em1 = BF - conducida
 em2 = BF - radiada
 em3 = AF - conducida
 em4 = AF - radiada
 em5 = DES

Del árbol secundario de fallos

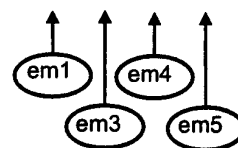


Fig. B.4 – Controlador para quemador de gas: AAF para el suceso de copa gas no quemado

Tabla B.1
Ejemplo de fenómenos electromagnéticos y niveles de ensayo para un equipo único

Suceso perturbador básico	Ensayos de inmunidad Niveles de ensayo funcional típicos	Ensayos de seguridad Niveles de ensayo funcional típicos
Armónicos en la red	No aplicable	No aplicable
Señales en la red	No aplicable	No aplicable
Huecos de tensión (criterios B) Interrupciones de tensión (criterios C)	50% > 20 ms 100% > 20 ms	50% > 20 ms 100% > 20 ms
Campo magnético a la frecuencia de red	No aplicable	No aplicable
Onda de choque 1,2/50 μ s alimentación de red y líneas de control desequilibradas: entre fases, entre fase y tierra	0,5 kV _p 1 kV _p	1 kV _p 2 kV _p
Transitorios oscilatorios	No aplicable	No aplicable
Transitorios rápidos en ráfagas en la alimentación de la red en las líneas de control	1 kV _p 0,5 kV _p	2 kV _p 1 kV _p
Perturbaciones conducidas inducidas por radiofrecuencias de 150 kHz a 80 MHz	3 V _{emf} + 6 dB a las frecuencias CB e ISM	10 V _{emf} + 6 dB a las frecuencias CB e ISM
Campo de radiofrecuencia radiado 80 MHz a 1 000 MHz	3 V/m, + 6 dB a las frecuencias CB e ISM	10 V/m, + 6 dB a las frecuencias CB e ISM
Teléfonos móviles 900 MHz y 1,89 GHz, $d > 0,5$ m	6 V/m	20 V/m
DES al contacto en el aire	4 kV 4 kV	6 kV 8 kV
<p>NOTA 1 – Valores establecidos en la norma de CENELEC EN 50165.</p> <p>NOTA 2 – Los “niveles de ensayos de inmunidad” implican que en estos niveles el equipo sometido a ensayo (ESE) debe continuar cumpliendo con sus requisitos de buen funcionamiento [capítulo 7, punto a)].</p> <p>Los “niveles de ensayos de seguridad” implican que en estos niveles el equipo sometido a ensayo puede ser influenciado pero no hay obligación de cumplir con sus requisitos de buen funcionamiento. No obstante, tiene que continuar asegurando su seguridad después de los ensayos [capítulo 7, punto b) o c)].</p> <p>NOTA 3 – Para las demás implicaciones de seguridad y para los entornos más rigurosos, pueden ser necesarios niveles de ensayos más altos (como por ejemplo entornos industriales, teléfonos móviles situados a menos de 0,5 m).</p>		

B.1.6.2 Evaluación del árbol de fallos desde el punto de vista de la seguridad. El árbol de fallos muestra de manera general qué fenómenos electromagnéticos – los sucesos básicos – tienen influencia sobre las diversas partes del dispositivo. Estos fenómenos electromagnéticos pueden tener, en función de su nivel, un efecto más o menos grande sobre este dispositivo susceptible de dar lugar a las diferentes clases de degradación especificadas en el capítulo 7 (sin efecto significativo, efecto auto-recuperable, efecto recuperado por el operador sin daño, daño). No obstante, no todos estos efectos pueden necesariamente tener un impacto crítico sobre la seguridad.

Sobre la base del diseño del equipo (medidas de protección, por ejemplo) y de la experiencia (resultados obtenidos con equipos similares), el ingeniero en CEM puede evaluar qué fenómenos electromagnéticos – en el nivel más alto de perturbaciones en el entorno – pueden tener o tendrán un impacto crítico sobre la seguridad.

Esta evaluación se hace para el caso del “gas no quemado” en la tabla B.2. En esta se expone que

- los huecos e interrupciones de tensión en la red, todos los fenómenos conducidos y radiados en alta frecuencia y las DES pueden tener una influencia crítica en términos de seguridad;
- los campos magnéticos a la frecuencia de red y los armónicos de la tensión de red son poco susceptibles de tener una influencia crítica pero es conveniente quizás no despreciarlos del todo;
- los fenómenos radiados de alta frecuencia pueden afectar a todos los elementos del controlador.

La tabla permite identificar que partes deben ser

- diseñadas con cuidado desde el punto de vista de la seguridad;
- examinadas cuidadosamente en caso de fallos en ensayos de seguridad.

Se debería observar que la tabla B.2 expone que algunos fenómenos pueden ser críticos para la seguridad pero no han sido tomados en cuenta en la norma de producto correspondiente. No obstante, se debería ensayar.

Tabla B.2
Evaluación de la influencia de las perturbaciones electromagnéticas en el funcionamiento seguro del controlador para quemador de gas en lo que corresponde al gas no quemado

Fenómenos electromagnéticos		BF - conducidos		BF – radiados	AF - conducidos				AF - radiados		DES
		Arm.	Huecos, Interrupciones	Campo mag.	Sobr.	Tr. osc.	Tr. raf	OC	OC	Tél. móvil	
1	Alimentación incluida la red	?	X	–	X	X	X	X	X	X	X
2	Memoria controlador	–	–	–	–	–	–	–	X	X	X
3	Accesorios Sensores Teclado	–	–	–	–	–	–	–	X	X	X
4	Cableado interno	–	–	?	–	–	–	–	X	X	X
5	Cableado externo	–	–	?	X	?	X	X	X	X	X

ESE = Equipo sometido a ensayo BF = Baja frecuencia AF = Alta frecuencia DES = Descarga electrostática
 Arm = Armónicos Interr. = Interrupciones Mag. = Magnético Sobr = Sobretensiones
 Tr.osc. = Transitorios oscilatorios Tr. raf = Transitorios en ráfagas OC = Ondas continuas
 Tél. móvil = Teléfono móvil

NOTA – X indica una influencia crítica probable;
 ? indica una influencia crítica improbable;
 – indica que una influencia crítica se puede despreciar.

B.1.7 Recomendaciones para el diseño del controlador para el quemador de gas

La norma de productos para quemadores de gas exige un “criterio de dos fallos”: no se debería crear ninguna situación peligrosa por un fallo único o dos fallos independientes.

En la figura B.2 se da un ejemplo de esta filosofía. Si se produce un fallo únicamente en el circuito de control de la alimentación, se trata de un fallo llamado durmiente que no entraña una situación peligrosa. Cuando el circuito de alimentación falla y da una tensión demasiado baja, el controlador principal no funciona correctamente y produce señales aleatorias hacia las salidas, que pueden causar una apertura de la válvula de gas. Dos fallos independientes de este tipo no deberían entrañar una situación peligrosa.

Por ello, el diseño necesita las tres capas mostradas en la figura B.3:

- la capa de control;
- la capa de protección primaria, capaz de detectar los fallos en la capa de control y de cerrar la llave del gas independientemente, y
- la capa de protección secundaria, capaz de detectar un (segundo) fallo en la capa de protección primaria y cerrar la válvula del gas independientemente. (En los sistemas de microprocesador, las capas de protección pueden combinarse: el procesador de control y el procesador de protección pueden protegerse mutuamente, véase el ejemplo de la figura B.2: controlador principal y el de secuencias, que es un segundo microprocesador).

Esta explicación muestra claramente que es conveniente evitar errores de causa común debidos a los fenómenos electromagnéticos. Los circuitos de control, de protección primaria y de protección secundaria no deberían sufrir fallos simultáneos. Por ello, el diseño necesita de circuitos contruidos con tecnologías diferentes y distintos niveles de inmunidad.

Por otra parte es importante saber que si, los ensayos han demostrado una susceptibilidad crítica, las medidas correctoras se deberían considerar con cuidado. Un condensador suplementario destinado a suprimir una tensión transitoria que entraña la abertura intempestiva de la válvula de gas puede venir defectuoso y crear por ello un fallo durmiente.

Finalmente, se debería saber que la inmunidad electromagnética de un controlador para quemador de gas puede cambiar cuando se integra este módulo en un equipo o instalación de gas. La implantación del cableado así como las propiedades de la envolvente pueden tener una gran influencia. Es necesario un ensayo de inmunidad de la aplicación.

B.1.8 Conclusiones relativas al plan de ensayo de seguridad

A continuación del análisis anterior, puede elaborarse el plan de ensayo de seguridad. Tiene que incluir las informaciones siguientes:

- a) perturbaciones electromagnéticas a tener en cuenta
 - así como eventualmente las perturbaciones que no están especificadas en la norma de productos correspondiente desde el estricto punto de vista de la inmunidad funcional – en nuestro ejemplo de un controlador para quemador de gas: armónicos y transitorios oscilatorios;
- b) los niveles de ensayos de seguridad
 - ya sean de la norma de producto correspondiente, si ésta prescribe los niveles de ensayos específicos para la seguridad;
 - o bien los niveles de ensayos funcionales reforzados por un margen de seguridad adecuado;
 - o posiblemente los requisitos nacionales específicos;
- c) los sucesos de seguridad indeseables
 - en que la no-ocurrencia tiene que ser controlada

En este ejemplo de un controlador para quemador de gas, los niveles de ensayo de seguridad requeridos se especifican en la tabla B.1.

Normalmente se deberían aplicar los ensayos de montaje y los procedimientos especificados en las normas básicas de la serie CEI 61000-4 pero pueden tenerse en cuenta procedimientos más rigurosos. Se recomienda no someter a ensayo el controlador solo, sino el conjunto del sistema incluido el quemador y el cableado entre el quemador y el controlador que es susceptible de ser influido por la radiación de alta frecuencia.

B.2 Ejemplo B.2: mando-control de una subestación de alta tensión

El análisis por árbol de fallos (AAF) se aplica también para el análisis de seguridad de los grandes sistemas, como por ejemplo, en el campo eléctrico, los equipos de mando-control de centrales eléctricas o de subestaciones de alta tensión. Estos sistemas están constituidos por un gran número de dispositivos individuales, y un AAF completo da lugar a un trabajo largo y a veces complicado. El objeto de este ejemplo no es, en el contexto de esta especificación técnica, incluso si se limita a la CEM, efectuar un análisis completo de seguridad. Este anexo se limita a indicar el camino que puede seguirse para los grandes sistemas. Tratará del sistema de mando-control de una subestación AT/MT y de un ejemplo de equipamiento de protección contra los cortocircuitos en una línea AT.

B.2.1 Objeto y funciones esperadas del equipo

En la figura B.5 se da un esquema de una subestación AT/MT.

El equipo de mando-control tiene numerosas funciones que desempeñar, que se pueden resumir y reagrupar de la manera siguiente:

- protección de líneas y transformadores (cortocircuitos, calentamiento, características de los aceites, etc.);
- mandos de cierre/apertura de los interruptores automáticos (operaciones automáticas o manuales);
- mandos de cierre/apertura de los interruptores de aislamiento (operaciones automáticas o manuales);
- bloqueo;
- proceso EN/FUERA – línea;
- medición y contaje;
- indicación;
- alarmas;
- telecomunicación (con el centro de control de la red y otras estaciones).

B.2.2 Estructura material de los equipos

La figura B.5 muestra la estructura general de un sistema de mando-control de una subestación. Presenta una estructura de 3 capas:

- en los campos de alta y media tensión, los “dispositivos de campo”: transformadores de tensión o de corriente, filtros de corriente portadora, captadores, etc.;
- para cada salida: línea, transformador, bus de barras, una “unidad de control en campo”. Se trata de un armario o de otro tipo de recinto en el que se montan los equipos instalados en campo: relés de protección, mando y medida local, comunicación con la unidad central, etc.;
- en el edificio de control: la unidad central que permite el telecontrol de los equipos instalados en campo, funciones de centrales de proceso y de telecomunicación con un despacho central de distribución o con otras subestaciones.

La figura B.6 muestra esta estructura de tres capas para la función de protección contra los cortocircuitos.

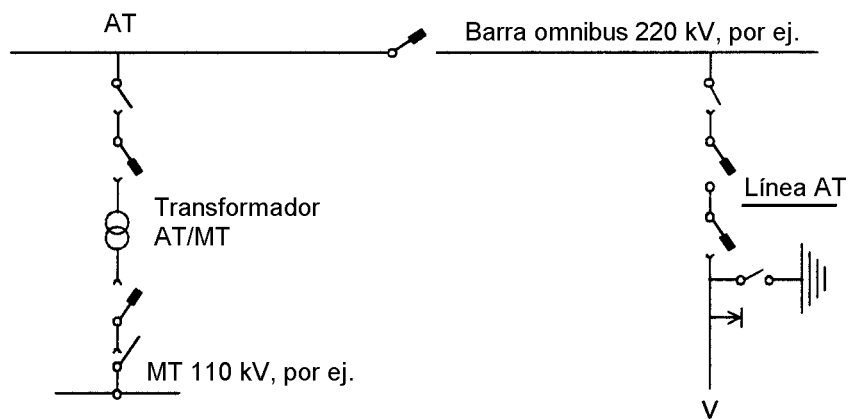
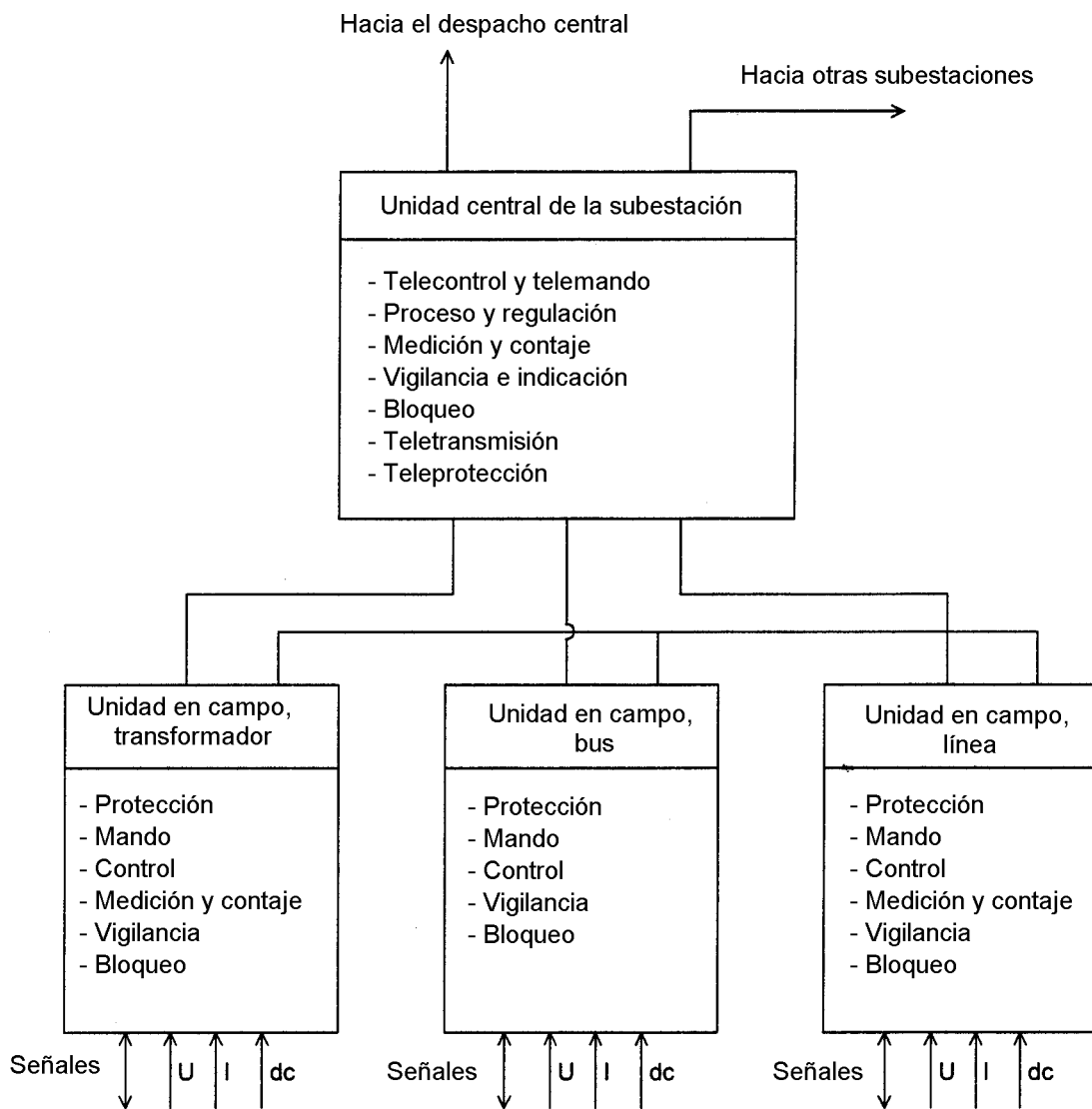


Fig. B.5 – Estructura general del mando-control de una subestación de alta tensión

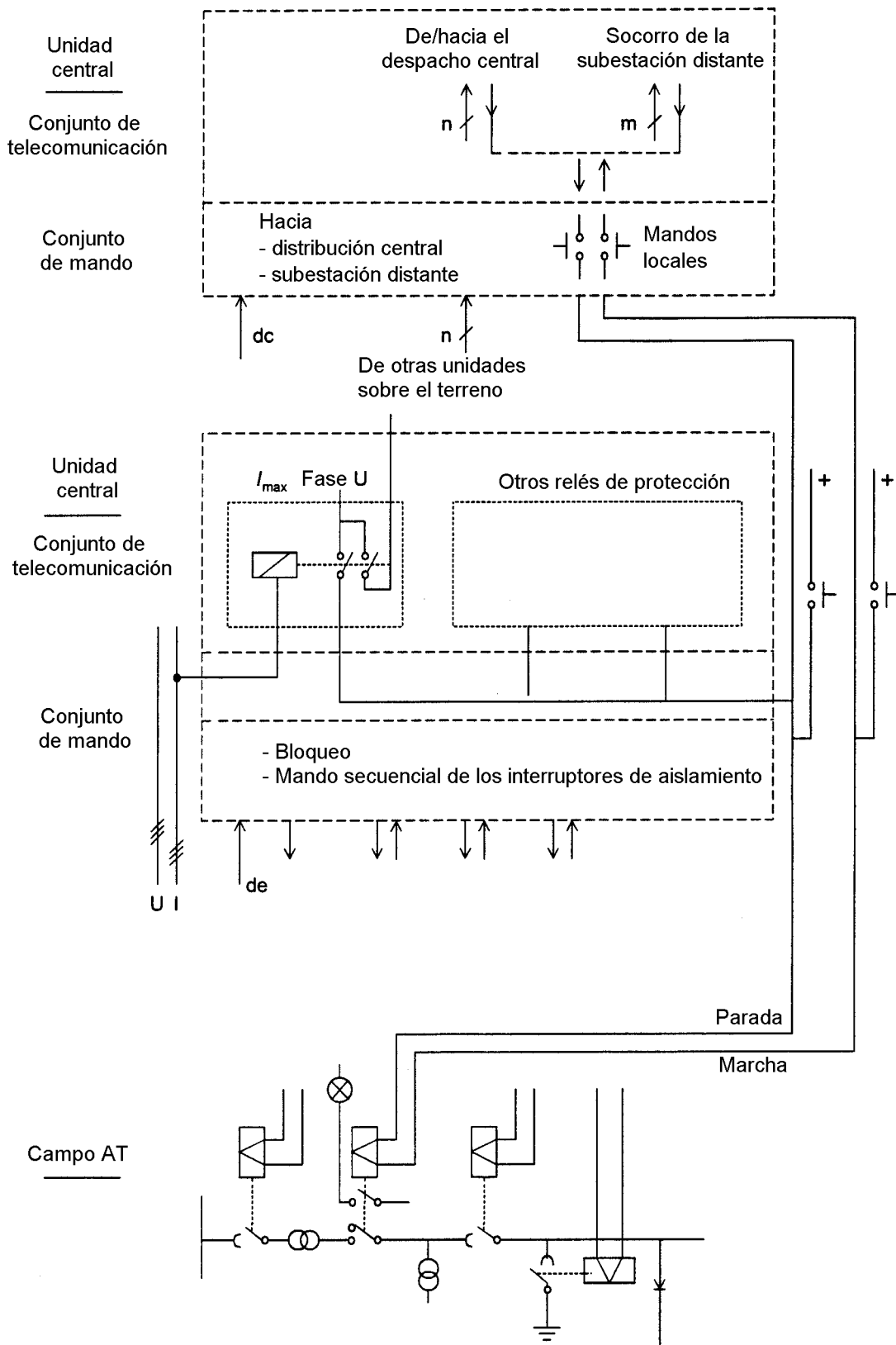


Fig. B.6 – Esquema de la protección contra los cortocircuitos

En las subestaciones clásicas – antiguas, una gran parte del equipo está constituido por elementos eléctricos/mecánicos: relés, instrumentación, etc. Otra parte es electrónica. El cableado está constituido por cables de cobre apantallados.

En las subestaciones modernas, el equipo es casi enteramente electrónico, sólo los relés intermediarios de entrada/salida son mecánicos. El cableado está constituido por enlaces de fibra óptica menos sensibles.

Por lo que respecta a las funciones de protección consideradas en este ejemplo, los dispositivos de protección situados en las unidades en campo necesitan un sistema de socorro: puede tratarse de un segundo juego de dispositivos de protección o de un sistema de socorro en la unidad central. En este ejemplo, se presenta una tercera solución para la protección de las líneas: el sistema de socorro se asegura por los relés de protección en el otro extremo de la línea en la otra subestación y la orden de desconexión se transmite a través del enlace de telecomunicación.

B.2.3 Configuración lógica (software)

Los fallos lógicos se manifiestan desde el punto de vista de la seguridad, por el mal funcionamiento de los dispositivos de materiales (hardware) y no es necesario abordarlos aquí con detalle.

B.2.4 Entorno electrónico y niveles de ensayo funcionales

En principio, todos los fenómenos electromagnéticos relacionados en la tabla 1, o la mayor parte de ellos, se deberían analizar en términos de implicaciones para la seguridad. Los niveles de ensayos funcionales para cada equipo se dan en las normas de productos correspondientes: automatización y equipos de control de las subestaciones véase la Norma [CEI 60870], relés de protección [serie CEI 60255-22, por ejemplo]. No obstante, no recomiendan todavía niveles de ensayo de seguridad, que se especifican por el organismo encargado del proyecto.

Los expertos en CEM para subestaciones eléctricas hacen una distinción entre tres categorías de perturbaciones:

- perturbaciones permanentes;
- perturbaciones de corta duración de alta ocurrencia;
- perturbaciones de corta duración de baja ocurrencia.

Las perturbaciones permanentes y, en gran medida, las perturbaciones de corta duración de ocurrencia alta son fáciles de evaluar y es fácil asegurar medidas de protección. No obstante, las perturbaciones de baja ocurrencia pueden ser difíciles de evaluar, en particular su valor máximo, y pueden ser más peligrosas en términos de integridad de la seguridad.

En la tabla B.3 se da, para información general, una vista de conjunto de las perturbaciones electromagnéticas que se producen en una estación AT/MT.

Tabla B.3
Vista de conjunto de las perturbaciones electromagnéticas en las subestaciones AT/MT (véase la Norma CEI 61000-6-5)

Perturbaciones permanentes	Perturbaciones de corta duración de ocurrencia alta	Perturbaciones de corta duración de baja ocurrencia
<p>Variaciones y fluctuaciones de la tensión de alimentación</p> <p>– alimentaciones de corriente alterna y continua</p> <p>Armónicos, interarmónicos</p> <p>Perturbaciones conducidas en la gama de corriente continua a 150 kHz</p> <p>Campo magnético a la frecuencia de red</p> <p>Campos de radiofrecuencia radiados en la gama de 0,15 MHz a 3 MHz^a</p> <p>Campos de radiofrecuencia radiados emitidos por los radioteléfonos portátiles</p>	<p>Huecos de tensión de alimentación ($t \leq 0,02$ s)</p> <p>– alimentaciones de corriente alterna y continua</p> <p>Transitorios rápidos en ráfagas</p> <p>Ondas de sobretensiones oscilatorias transitorias amortiguadas de 0,01 MHz a 1 MHz</p> <p>Descargas electrostáticas</p>	<p>Huecos de tensión de alimentación ($t > 0,02$ s)</p> <p>– alimentaciones de corriente alterna y continua</p> <p>Interrupciones de la tensión de la alimentación ($\Delta U = 100\%$)</p> <p>– alimentaciones de corriente alterna y continua</p> <p>Sobretensiones transitorias</p> <p>Campos magnéticos de sobretensiones transitorias</p>
<p>^a La tabla sólo tiene en cuenta un fenómeno sobre el conjunto de la gama de frecuencias, pero se aplican dos métodos diferentes para los ensayos: un ensayo con una tensión conducida entre 0,15 MHz y (26) 80 MHz, un campo radiado entre (26) 80 MHz y 3 000 MHz.</p>		

B.2.5 Objeto del análisis de peligros y riesgos

El objeto del análisis de peligros y riesgos consiste, para los riesgos de seguridad indeseables (sucesos de copa), en determinar, a fin de tomar las medidas de corrección adecuadas:

- qué fenómenos electromagnéticos pueden provocar estos riesgos (sucesos básicos); y
- en qué lugares del sistema ocurren.

Desde el punto de vista de la integridad de la seguridad, los sucesos siguientes – sucesos de copa – no se deberían producir en una subestación AT/MT:

- fallo de la apertura de interruptores por control manual
(cuya causa puede ser un fallo del mecanismo de apertura o del circuito de control)
- fallos de apertura de los interruptores por funcionamiento de los relés de protección
(causa adicional: fallo de los relés de protección y de los circuitos asociados).

Los relés de protección pueden ser:

- para una línea: relés de protección contra los cortocircuitos ($I_{m\acute{a}x}$), eventualmente el relé de protección contra las sobrecargas (temperatura $> \vartheta^{\circ}$);
- para un transformador: relés de protección contra los cortocircuitos ($I_{m\acute{a}x}$), relés de protección contra las sobrecargas (temperatura $> \vartheta^{\circ}$), características de los aceites;
- fallo de apertura de los interruptores de aislamiento y fallo del cierre de los dispositivos de puesta a tierra (causa suplementaria: mal funcionamiento de los circuitos de bloqueo).

Este informe tratará, a título de ejemplo, la desconexión de una línea de AT en caso de cortocircuito en una línea de AT.

B.2.6 Análisis por árbol de fallos (AAF)

B.2.6.1 Construcción del árbol de fallos. Un árbol de fallos se puede elaborar de acuerdo con la Norma CEI 61025 para sistemas complicados, pero se pueden abordar algunas características especiales como en este ejemplo.

- a) El sistema representado en la figura B.6 implica una estructura de tres capas y, en principio, se debería estudiar cada capa:
- AAF en el ámbito de equipos individuales (como en el ejemplo B.1);
 - AAF en el ámbito de grupos de equipos en un recinto común (como los armarios de las unidades en campo o la sala de control centralizada);
 - AAF en el ámbito de un sistema completo de dispositivos repartidos en un área extensa.

Por lo que respecta al AAF de un grupo de equipos implantados en un recinto común, se puede observar que este recinto puede tener un efecto de amortiguación sobre el nivel de las perturbaciones externas, por efecto de los apantallamientos o la utilización de filtros. Por otra parte, se pueden inducir perturbaciones de tensión en el cableado interno. No obstante, estos fenómenos no entrañan nuevos tipos de perturbaciones funcionales y se pueden tener en cuenta mediante un diseño adecuado y niveles de ensayo para equipos individuales.

- b) Este ejemplo trata de la desconexión de una línea AT por el funcionamiento de un relé de protección contra cortocircuitos en $I_{m\acute{a}x}$. El esquema material de la figura B.7 muestra que el circuito de salida del relé está estrechamente unido al circuito de control manual. Los dos circuitos deberían estar representados en el esquema del AAF.

- c) Como se explica en el apartado B.6, el sistema de socorro para los relés de I_{max} se asegura por los relés de I_{max} en el otro extremo de la línea por el enlace de telecomunicación.

El árbol de fallos para desconexión de la línea en caso de cortocircuito se representa por la figura B.7. Como de costumbre:

- el árbol de fallos sólo tiene cuenta las influencias electromagnéticas;
- no se toman en cuenta otros sucesos;
- la tensión de la alimentación se considera como una “causa común” y se trata como un subsistema separado en los AAF de equipos individuales.

B.2.6.2 Evaluación del árbol de fallos desde el punto de vista de la seguridad. Como se indicó anteriormente, se supone que cada equipo individual ha sido analizado ya desde el punto de vista de la seguridad. Es conveniente ahora determinar qué riesgo se añade por el reagrupamiento de estos equipos en un sistema. Como se indicó anteriormente también (véase el apartado B.1.6.2) todas las influencias electromagnéticas no tienen necesariamente un impacto crítico para la seguridad y corresponde al ingeniero de CEM hacer la evaluación, sobre la base del diseño del equipo y de su experiencia, que debería tener en cuenta.

El suceso de copa correspondiente a este ejemplo es el fallo de funcionamiento de la protección de una línea AT en caso de cortocircuito. Se entiende por fallo de funcionamiento la ausencia de apertura de los interruptores en los extremos de la línea. La evaluación de la seguridad de este suceso de copa se resume en la tabla B.4:

- a) Han sido añadidos tres elementos para completar el sistema:

- el montaje de equipos individuales en uno o varios recintos comunes: armarios, cajas;
- estos recintos aseguran un apantallamiento más o menos eficaz contra los campos externos y, si los circuitos de entrada/salida están provistos de filtros apropiados, se conseguirá un debilitamiento más o menos importante de las perturbaciones conducidas;
- el cableado entre los equipos individuales; el cableado interno dentro de los recintos comunes o el cableado externo entre estos equipos;
- el equipo de telecomunicación entre la subestación y el despacho central de distribución o las otras subestaciones. Este equipo se puede, no obstante, considerar como un equipo individual independiente, analizado separadamente para tomar en cuenta la comunicación en los dos sentidos:

subestación considerada	→	otras subestaciones
otras subestaciones	→	subestación considerada

- b) Los fenómenos electromagnéticos a tener en cuenta en el contexto de un sistema son esencialmente los campos electromagnéticos en el conjunto de la gama de frecuencias:

- campos permanentes: campos de baja frecuencia y de baja potencia procedentes de las líneas de transportes de energía, equipos o transformadores AT (campos magnéticos de la frecuencia de la red), o campos de alta frecuencia, como los radiados por teléfonos móviles,
- campos de alta frecuencia transitorios tales como los provocados por los efectos del rayo o por operaciones de conmutación.

Las descargas electrostáticas pueden ser tomadas en cuenta eventualmente desde el punto de vista de su efecto en los recintos comunes. Este efecto no es susceptible de ser crítico si los equipos individuales están correctamente protegidos contra este efecto.

Los fenómenos electromagnéticos conducidos deberán haber sido tomados en cuenta en el marco del análisis de los equipos individuales

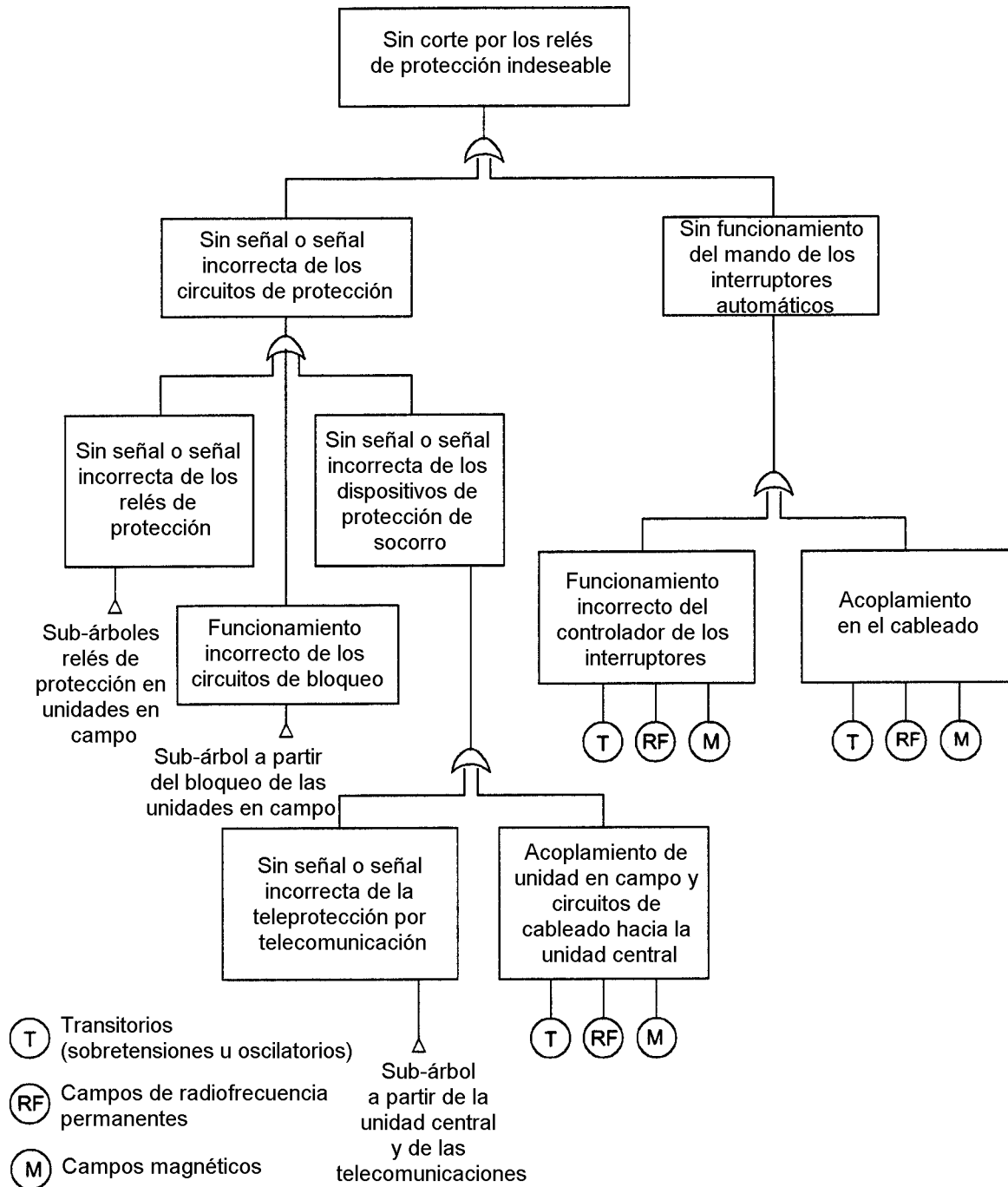


Fig. B.7 – AAF para protección contra los cortocircuitos

Tabla B.4
Evaluación de la influencia de las perturbaciones electromagnéticas en el exterior de los equipos individuales sobre el funcionamiento sin peligro de la protección contra los cortocircuitos de una línea AT

Parte del sistema	Fenómenos EM					
	BF/AF conducidas	BF radiadas	AF radiadas			DES
		Campo magnético	Permanente	Teléfono móvil	Transitorios	Recinto
Cableado interno en recinto	No pertinente	?	?	X	?	X
Cableado externo		X	X	X	X	-
NOTA 1 – Se supone que cada uno de los componentes del sistema ha sido analizado separadamente y asegura un nivel de seguridad adecuado. NOTA 2 – X indica una influencia crítica posible; ? indica una influencia crítica improbable; – indica ausencia de influencia.						

B.2.7 Recomendaciones para la instalación del sistema de mando/control de una subestación

Como en los capítulos precedentes, se supone que los equipos individuales están diseñados y sometidos a ensayos para un cierto nivel de integridad de la seguridad. La misma hipótesis se asume también para los armarios o cajas.

Con respecto a la instalación del sistema completo, son importantes las siguientes indicaciones:

- a) Todos los cableados tienen que estar protegidos cuidadosamente, es decir:
 - en el caso de un cableado de cobre, por la utilización de cables coaxiales o apantallados;
 - o, mejor y más moderno, en particular para las conexiones largas, por la utilización de enlaces de fibra óptica.
- b) Los armarios o cajas tienen que proporcionar un factor de protección alto contra los campos a la frecuencia de la red o a alta frecuencia.
- c) Por lo que respecta a las DES, las características de protección normales son probablemente suficientes.

Un punto importante a tener en cuenta es que los relés de protección primaria contra los cortocircuitos necesitan un dispositivo de socorro. En principio, el dispositivo de socorro debería utilizar una técnica distinta que la del dispositivo primario. En este ejemplo, se aplica otro principio: se utiliza, por el enlace de telecomunicación, el relé de protección contra los cortocircuitos en el otro extremo de la línea de AT. Esto exige una alta fiabilidad del enlace de telecomunicación, y particularmente en los dos sentidos.

B.2.8 Conclusiones correspondientes al plan de ensayo de seguridad

En principio, el plan de ensayo de seguridad de un gran sistema tal como el sistema de mando/control presentado en este ejemplo debería requerir un procedimiento en tres etapas:

- a) La primera etapa consiste en someter a ensayos los equipos individuales según sus normas de productos
 - con niveles de ensayo de seguridad, si tales niveles son especificados;
 - con un nivel de ensayo funcional reforzado, si no está prescrito ningún nivel de ensayo de seguridad.

- b) La segunda etapa consiste en someter a ensayos los equipos reagrupando los equipos individuales: armarios o cajas, siempre según los requisitos de las normas de productos. Esto debería ser normalmente aplicable.
- c) Una tercera etapa consistiría en someter a ensayo al conjunto del sistema, pero esto puede ser a menudo difícil o incluso imposible si los equipos del sistema están repartidos en un área extensa, como en el caso de una subestación al aire libre.

En este último caso, el procedimiento de ensayo se limita a las dos primeras etapas y los trabajos de ensayo suplementarios pueden ser poco importantes. La documentación de seguridad puede contener explicaciones sobre las medidas que han sido tenidas en cuenta concernientes al cableado, el apantallamiento y la puesta a tierra del conjunto del sistema.

ANEXO C (Informativo)

CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO Y LA INSTALACIÓN

C.1 Principios generales

Cualquier equipo eléctrico/electrónico se instala en un entorno electromagnético dado donde las perturbaciones de baja o alta frecuencia, conducidas o radiadas, no exceden, en principio, los valores normales especificados por las normas correspondientes (es decir las series CEI 61000-2 y CEI 61000-3 o las normas del CISPR). El equipo se diseña o instala de tal manera que cumpla con los requisitos funcionales especificados (véase el capítulo 8). No obstante, puede suceder que los niveles de perturbación excedan estos valores normales y, para evitar que el equipo pueda llegar a un estado en que se comporte de manera peligrosa, son necesarias medidas de protección adecuadas.

Es preciso también tener cuidado, cuando sea posible, de que la emisión de perturbaciones por un equipo se limite a valores que no entrañen riesgos para la seguridad de otros equipos.

Es igualmente importante saber que las medidas para la instalación son a menudo una manera eficaz de llevar a la inmunidad y a la seguridad requeridas

El objeto de este anexo es dar una vista de conjunto informativa de los medios de protección.

C.2 Medios técnicos para la prevención de la penetración y propagación de las perturbaciones: reducción de riesgos

Los medios técnicos que se pueden utilizar y los aspectos de diseño que se tienen en cuenta son los siguientes:

- apantallamiento,
- filtrado,
- protección contra las sobretensiones (protección contra transitorios),
- cableado adecuado,
- puesta a tierra y enlaces equipotenciales,
- diseño de las tarjetas de circuito impreso para obtener una buena inmunidad,
- circuitos redundantes (con diferentes tecnologías),
- utilización de técnicas digitales.

Varias normas o informes técnicos de la CEI (por ejemplo, la serie CEI 61000-5) aportan informaciones detalladas sobre la manera de aplicar los medios de protección, que también pueden ser objeto de recomendaciones en las normas de productos específicos.

C.3 Apantallamiento

El apantallamiento se realiza por barreras metálicas utilizadas para evitar la propagación de un campo electromagnético de un lugar a otro. Puede utilizarse también para evacuar la energía transportada por otros tipos de perturbaciones. Por ello, el apantallamiento puede utilizarse bien para contener un campo electromagnético originado por una fuente dada situada en el interior del área blindada, o para impedir la actuación de campos electromagnéticos externos en un lugar donde se encuentren circuitos sensibles a las perturbaciones electromagnéticas.

No obstante, el apantallamiento puede ser parcialmente o totalmente ineficaz si los cables de entrada y salida del sistema no están correctamente apantallados o equipados de filtros de penetración. La eficacia del apantallamiento también puede estar afectada si contiene numerosas aberturas o si su continuidad eléctrica es insuficiente.

C.4 Filtrado

El filtrado se utiliza para reducir las eventuales perturbaciones conducidas a un nivel aceptable. El filtro, compuesto de un circuito diseñado especialmente, se sitúa en el enlace donde las perturbaciones tienden a pasar, y puede actuar sobre las perturbaciones entrantes o salientes.

Los filtros están situados en dos clases de líneas:

- filtros en líneas de alimentación;
- filtros en líneas de señales.

Se diseñan en función de la corriente o del tipo de señal transportada por la línea y de las perturbaciones que se supriman.

C.5 Puesta a tierra y enlaces equipotenciales

El objeto de la puesta a tierra es mantener el potencial de las estructuras metálicas (apantallamientos, recintos, chasis) a un valor constante. Esto es posible en uno o varios puntos. En el capítulo 5 de la Norma CEI 61000-5-2 recomienda una red de puesta a tierra mallada con varios electrodos de puesta a tierra.

El objeto de los enlaces equipotenciales es conseguir una homogeneidad eléctrica en las estructuras metálicas para reducir las diferencias de potencial. La impedancia de los trenzados de unión debería ser baja en una amplia escala de frecuencias, y los trenzados deberían ser lo más cortos posible. Si son susceptibles a la corrosión, deberían ser fáciles de desmontar y de sustituir (véase la Norma CEI 61000-5-2, capítulo 6).

C.6 Cableado adecuado

Una técnica de cableado adecuada debería evitar:

- la inducción de tensiones o corrientes perturbadoras por campos externos;
- la diafonía entre conductores.

El esquema del cableado se debería diseñar con cuidado. El efecto de las perturbaciones electromagnéticas puede reducirse por la utilización de las técnicas siguientes:

- apantallamiento de los cables;
- utilización de cables coaxiales de doble apantallamiento;
- utilización de cables de pares retorcidos;
- separación de cables que transportan señales de niveles y/o de tipos diferentes;
- utilización del efecto reductor de las estructuras metálicas;
- utilización de enlaces de fibra óptica (método moderno, muy eficaz).

C.7 Diseño de tarjetas de circuito impreso para obtener una buena inmunidad

La implantación de pistas y de componentes en un circuito impreso juega un papel importante en el dominio de los problemas de CEM, tanto en las áreas de emisión como en las de inmunidad. Una implantación del circuito correcta se compone de una red bien mallada de circuitos de puesta a tierra y de alimentación. Un método aún mejor consiste en utilizar una tarjeta de circuito impreso multicapas con una capa conectada a tierra y otra a la alimentación.

Es necesario que los condensadores de desacople se monten lo más cerca posible de los diferentes componentes así como de los puntos críticos de una red mallada.

Los circuitos analógicos de bajo nivel deberían estar separados de los circuitos digitales, que son a su vez separados en función de su velocidad de funcionamiento. Se evita así cualquier diafonía interna.

Las perturbaciones electromagnéticas conducidas y/o radiadas producidas por los componentes o subconjuntos de la tarjeta de circuito impreso son controladas así para evitar cualquier perturbación intra-sistema.

C.8 Circuitos redundantes

Los elementos o circuitos importantes en términos de seguridad se pueden duplicar y conectar en paralelo para asegurar el funcionamiento del equipo en caso de fallos. Cada uno de los circuitos paralelos se debería diseñar con una tecnología diferente para evitar un fallo simultáneo de los dos circuitos.

La arquitectura global del sistema se debe tener en cuenta también. El criterio de redundancia de debe aplicar tanto al equipo como al programa. Se debería comparar la respuesta de cada canal funcional, para permitir la detección de diferencias en la respuesta, lo que hace reaccionar el sistema y orientarlo hacia un modo de funcionamiento sin peligro.

C.9 Técnicas digitales

Por lo que respecta a los circuitos digitales, las técnicas del programa pueden utilizarse para conseguir el funcionamiento sin peligro:

- codificación digital de las informaciones;
- algoritmos de detección de errores;
- algoritmos de corrección.

Los circuitos de corrección de errores funcionan de tal manera que, en presencia de una perturbación transitoria, el sistema pueda retomar un funcionamiento normal después de que los errores sean detectados y corregidos. Esto se debería hacer sin riesgo para los usuarios del sistema.

La seguridad de un sistema también puede ser mejorada por un diseño cuidadoso del programa y el diseño de su estructura. En particular, esta última debería ser capaz de tener cuenta de la ocurrencia de errores causados por la acción de perturbaciones electromagnéticas (salto inesperado del programa o cambio de instrucciones de funcionamiento, de códigos de dirección, etc.).

C.10 Mantenimiento

Por regla general, el diseñador da instrucciones para un buen mantenimiento de la CEM (emisión e inmunidad) de un sistema en el Manual General de Mantenimiento, y debe asegurar que los trabajos de mantenimiento puedan efectuarse con toda seguridad.

El mantenimiento exige a veces que algunos componentes instalados que sirven para asegurar la CEM se quiten o desmonten. Las personas que efectúan los trabajos de mantenimiento deberían ser informadas de los riesgos unidos a los eventuales fallos de funcionamiento susceptibles que puedan resultar por una disminución del nivel de inmunidad CEM. Aunque las indicaciones pueden estar contenidas en el manual, deberían ponerse instrucciones o rótulos en el equipo en cuestión o cerca de él.

El retorno del sistema a un funcionamiento normal, ya sea manual o automáticamente, sólo debe hacerse en ausencia de cualquier riesgo previsible.

ANEXO D (Informativo)**LISTA DE CONTROL TÍPICO DE MEDIDAS Y TÉCNICAS QUE PERMITEN CONSEGUIR LA SEGURIDAD FUNCIONAL DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LAS PERTURBACIONES CEM**

La lista de control siguiente se da para facilitar la aplicación de esta especificación técnica.

D.1 Requisitos de seguridad relativos a las influencias electromagnéticas

- Especificar los sucesos de seguridad indeseables:
 - sin funcionamiento cuando se requiere el funcionamiento;
 - en funcionamiento cuando no se requiere el funcionamiento;
 - mal funcionamiento.

D.2 Informaciones generales necesarias

- Referencia a las normas (o bibliografía) para determinar los niveles de perturbación electromagnética a prever en el entorno deseado.
- Mediciones del entorno electromagnético en el lugar de utilización si fuera necesario.

D.3 Diseño y desarrollo (véase el anexo C)

- Diseño de una estructura que reduzca la probabilidad de fallos peligrosos debidos a las perturbaciones electromagnéticas (como por ejemplo características de seguridad intrínseca, utilización de canales redundantes paralelos que emplean tecnologías diferentes).
- Ausencia de utilización de componentes y de circuitos conocidos por su susceptibilidad a las perturbaciones electromagnéticas.
- Desarrollo de un programa que reduzca la probabilidad de fallos peligrosos debidos a las interferencias electromagnéticas.
- Análisis de la seguridad de funcionamiento (análisis por árbol de fallos, por ejemplo) desde el punto de vista de la seguridad.
- Ensayos para determinar los niveles de seguridad de los componentes y circuitos cuando están expuestos a perturbaciones electromagnéticas representativas del entorno previsto.
- Utilización de herramientas de diseño asistido por ordenador para minimizar los trayectos de acoplamiento electromagnético.
- Utilización de listas de control.

D.4 Aplicación e integración

- Aplicación de procedimientos que permiten el aprovisionamiento de componentes y materiales de acuerdo con la especificación
- Aplicación de procedimientos que permitan el montaje correcto del equipo, por medio de materiales correctos de acuerdo con la especificación.
- Utilización de procedimientos de verificación y de aseguramiento de la calidad que permita traducir fielmente el diseño en un sistema operacional.

D.5 Instalación

- Especificación de cualquier restricción de longitud y de conducción de los cables de interconexión.
- Especificación de los tipos de cables y de los métodos de conexión de pantallas.
- Especificación de los tipos de conectores.
- Especificación de restricciones de posicionamiento físico con relación a otros equipos.
- Especificación de los requisitos de la fuente de alimentación (medidas de protección contra armónicos, huecos de tensión, transitorios, etc.).
- Especificación de cualquier pantalla/apantallamiento requerido además de los provistos en el equipo.
- Especificación de los requisitos relativos a la puesta a tierra y a los enlaces equipotenciales.
- Instalación de acuerdo con los procedimientos especificados y utilizando los materiales especificados.

D.6 Validación de la seguridad

- Análisis de la seguridad de funcionamiento a utilizar
- Verificación de la aplicación correcta de los requisitos en materia de seguridad.
- Estudio del entorno electromagnético que permite confirmar las previsiones/hipótesis.
- Ensayo en laboratorio del comportamiento y funciones de seguridad.
- Ensayos de inmunidad utilizando niveles de perturbación superiores a los esperados en el entorno previsto para determinar los eventuales modos de fallo y los niveles de perturbación máximos aceptables.
- Utilización de procedimientos de ensayo especiales para ejecutar los modos de funcionamiento conocidos por su vulnerabilidad a las perturbaciones electromagnéticas
- Ensayos *in situ* del comportamiento y funciones de seguridad.
- Evaluación cuantitativa de las tasas de fallos basadas en las distribuciones estadísticas de los niveles de perturbación y de los niveles de inmunidad del equipo.

D.7 Explotación y mantenimiento

- Especificación y utilización de procedimientos de operación necesarios para preservar las características de CEM y la seguridad electromagnética.
- Especificación y observancia de las restricciones aplicables a la operación de otros equipos susceptibles de no presentar un nivel de compatibilidad electromagnética adecuado (emisores de radio móviles, por ejemplo).
- Especificación y utilización de técnicas de desmontaje/montaje para preservar las características de CEM y la seguridad electromagnética.
- Ensayo periódico (ensayo de prueba) de componentes críticos para la seguridad electromagnética (supresores de transitorios, por ejemplo).
- Sustitución periódica de los dispositivos de protección sensibles (supresores de transitorios, por ejemplo).
- Ensayo periódico de funciones importantes para la seguridad.

D.8 Modificación

- Evaluación del efecto de las modificaciones propuestas sobre la seguridad electromagnética del equipo considerado y de los eventuales equipos susceptibles de ser afectados.

ANEXO E (Informativo)

TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD DE FUNCIONAMIENTO Y APLICACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA CEM

E.1 Introducción

Las técnicas de análisis de la seguridad de funcionamiento se utilizan para el estudio y la predicción de la fiabilidad, disponibilidad, mantenimiento y seguridad de un equipo: aparato, sistema o instalación.

El objeto de este anexo es dar una vista de conjunto de las técnicas de análisis de la seguridad de funcionamiento descritas en las normas CEI así como de otras técnicas importantes, y de evaluar su aplicabilidad a las perturbaciones electromagnéticas.

El análisis puede ser dirigido principalmente durante la fase de diseño y definición, la fase de diseño y desarrollo, y la fase de explotación y mantenimiento. Puede ser dirigido a diferentes niveles del equipo y diferentes grados de detalle para evaluar y determinar los aspectos de seguridad de funcionamiento de un equipo. Se puede utilizar para comparar los resultados del análisis con los requisitos especificados.

Por lo que respecta a la seguridad, los modos de fallo peligrosos son importantes. Conducen a estados inseguros o potencialmente inseguros (fenómenos peligrosos), del equipo o del sistema. Si la combinación de sucesos que entrañan un peligro no es fácil de identificar, puede ser necesario un análisis de los fenómenos peligrosos por medio de técnica especiales.

Pueden utilizarse varias técnicas de análisis mencionadas en la Norma CEI 60300-3-1 para un análisis de los peligros. Por otra parte, se utilizan otras técnicas para aplicaciones especiales. Cada una de estas técnicas tiene sus fuerzas y sus debilidades y sus propios campos de aplicación. No existe una aproximación "correcta" única, propia de un problema particular, y a menudo es necesaria una combinación de medidas. Pueden ser adecuadas diferentes técnicas en función del nivel del equipo y de la fase del ciclo de vida.

Se debería advertir también que puede ser necesario, para el análisis de un solo fenómeno peligroso, tomar en cuenta varias influencias diferentes sobre el comportamiento del sistema. Estas influencias pueden comprender influencias no electromagnéticas (tales como la temperatura y las vibraciones) así como diferentes tipos de perturbaciones electromagnéticas.

E.2 Requisitos particulares aplicables a las técnicas de análisis de la CEM

La o las técnicas de análisis utilizadas deberían permitir modelizar el comportamiento del sistema en presencia de perturbaciones electromagnéticas susceptibles de estar presentes en el entorno previsto. En particular, las características siguientes de las perturbaciones electromagnéticas y las interferencias eventuales se deberían tener en cuenta en la elección de una técnica de análisis:

- una perturbación única puede entrañar varios fallos en diferentes partes del sistema (fallos de causa común);
- la probabilidad de ocurrencia de perturbaciones electromagnéticas varía a menudo en el tiempo;
- las características de las perturbaciones electromagnéticas (por ejemplo, nivel, frecuencia) varían a menudo en el tiempo y en función del emplazamiento;
- sólo se puede tener un conocimiento limitado de las propiedades estadísticas de las perturbaciones;
- la posibilidad de que una perturbación cause interferencia puede depender del estado del equipo en el momento de la perturbación;

- el efecto de las perturbaciones sobre partes del equipo puede ser influenciado por la manera en que el conjunto del equipo esté integrado e instalado;
- perturbaciones pertenecientes a un gran número de tipos diferentes pueden presentarse simultáneamente.

Según se explica en el apartado 8.1, existe dos tipos básicos de análisis de riesgos:

- los métodos deductivos (métodos descendentes); y
- los métodos inductivos (métodos ascendentes).

En lo que respecta a los efectos de los fenómenos electromagnéticos sobre la seguridad funcional, parece adecuado aplicar un método descendente que consiste

- primero, en definir los sucesos indeseables;
- a continuación, analizar qué fenómenos electromagnéticos pueden provocar estos sucesos indeseables y en qué parte del dispositivo.

E.3 Técnicas de análisis de la seguridad de funcionamiento en las normas CEI

La Norma CEI 60300-3-1 contienen una descripción de conjunto de las técnicas de análisis de la seguridad de funcionamiento, importantes y muy utilizadas (véase también la Norma CEI 61508-7). Algunas de ellas se describen con más detalle en las normas dedicadas. Los comentarios y recomendaciones siguientes se hacen desde el punto de vista de la CEM.

E.3.1 Análisis por árbol de fallos (AAF) (CEI 61025)

El análisis por árbol de fallos es un método deductivo que ofrece algunas ventajas desde el punto de vista de la CEM:

- puede tratar los fallos por causa común;
- puede tratar tasas de fallos/sucesos variables en el tiempo;
- los sucesos contenidos en un árbol de fallos no están estrictamente limitados a los fallos, puede tratarse también de una degradación del funcionamiento;
- un AAF puede basarse en un razonamiento cualitativo;
- un AAF permite un método de cálculo utilizando el álgebra de Boole.

Es posible efectuar un AAF en diferentes niveles del diseño del sistema. Si se efectúa un AAF al comienzo del diseño, puede ayudar a identificar las partes del equipo o del sistema en que pueden ser necesarios los niveles de ensayos de inmunidad reforzados para alcanzar el nivel de seguridad requerido.

La ventaja principal del AAF es que sólo tiene en cuenta las partes del equipo o del sistema que pueden contribuir a los peligros. Este procedimiento puede ser económico.

Los ejemplos del anexo B se basan en el AAF.

E.3.2 Técnicas de análisis de la fiabilidad de los sistemas - Procedimiento de análisis de los modos de fallo y de sus efectos (AMFE) (Norma CEI 60812)

Un AMFE es un método inductivo que puede efectuarse por un procedimiento material o funcional.

La aproximación material toma en cuenta los modos de fallo de partes materiales identificables. Se estudia el efecto de cada modo de fallo de las diferentes partes en el comportamiento global del sistema. Este tipo de análisis no se considera en general aplicable a la CEM por las razones siguientes:

- no toma en cuenta fácilmente los fallos de causa común;
- las interferencias electromagnéticas resultan en general de perturbaciones en condiciones de funcionamiento (corrientes y tensiones) de los componentes y no del fallo propiamente dicho de los componentes;
- no trata fácilmente las secuencias temporales y los estados del sistema.

Por otra parte, la aproximación funcional del AMFE puede aplicarse mejor a la CEM. Aplicando este procedimiento, el analista se pregunta “¿de qué maneras esta función puede apartarse del requisito especificado?”.

Por ejemplo, si una función de un sistema consiste en cerrar una válvula cuando la temperatura sobrepasa un cierto nivel, entonces algunos modos de fallo funcionales son:

- a) la válvula se cierra a una temperatura más alta que la temperatura especificada;
- b) la válvula se cierra a una temperatura más baja que la temperatura especificada;
- c) la válvula se queda abierta permanentemente;
- d) la válvula se queda cerrada permanentemente.

Por este procedimiento, es posible identificar qué funciones son las más críticas y necesitan niveles de inmunidad más altos. Este análisis puede efectuarse, como el AAF, a niveles diferentes del diseño del sistema. En el comienzo del diseño, antes de que sea emprendido el diseño de los componentes, no requiere un conocimiento detallado de los modos de fallo al nivel del componente.

Los dos tipos de AMFE sufren una desventaja general en que necesitan tomar en cuenta un gran número de partes del equipo o sistema que pueden no ser importantes para la seguridad.

E.3.3 Análisis por árbol de sucesos (véase la Norma CEI 60300-3-1, tabla 2)

El análisis por árbol de sucesos puede utilizarse para examinar las eventuales secuencias de los sucesos que resultan de una pérdida o una degradación del funcionamiento en partes específicas del equipo o sistema. Este análisis puede ser útil, por ejemplo, estudiando el efecto de un hueco de tensión o de una interrupción de la alimentación de la red. El análisis revela si la degradación puede conducir a un peligro.

Se considera que el análisis por árbol de sucesos no tiene aplicaciones posibles en la evaluación de la seguridad funcional y de la CEM.

E.3.4 Estudio de los peligros y de la operatividad (HAZOP) (véase la Norma CEI 61508-7, apartado C.6.2)

Un estudio HAZOP es una técnica sistemática destinada a la identificación de los peligros y de los problemas de operatividad para un sistema completo. Se examina cada sección de un proceso y son relacionadas todas las variaciones posibles con relación a las condiciones de funcionamiento normales y la manera en que pueden producirse. Se evalúan las consecuencias sobre el proceso, y se identifican las medidas que permiten detectar las variaciones “probables” que podrían dar lugar a sucesos peligrosos o a problemas de operatividad.

Esta técnica puede utilizarse para identificar las funciones de seguridad. Puede utilizarse para identificar las partes de un sistema que exigen una atención especial desde el punto de vistas de la CEM y de la seguridad funcional.

BIBLIOGRAFÍA

Documentos generales correspondientes a la seguridad funcional

CEI Guía 104:1997 – *Elaboración de publicaciones de seguridad y utilización de publicaciones básicas de seguridad y publicaciones agrupadas de seguridad.*

CEI Guía 107:1998 – *Compatibilidad electromagnética. Guía para la redacción de publicaciones sobre la compatibilidad electromagnética.*

CENELEC BTWG 99-2 – *Informe intermedio a la Oficina Técnica correspondiente a las Directivas CE, la seguridad funcional y el papel de la normalización del CENELEC.*

Para cualquier información específica sobre los métodos y procedimientos de ensayo indicados en esta especificación técnica, se puede referir a las publicaciones de los Comités Técnicos siguientes (véase también el capítulo 2).

- TC 77: Compatibilidad electromagnética
- TC 56: Confiabilidad
- SC 65A: Cuestiones relativas a los sistemas

Informaciones técnicas sobre seguridad funcional

LIMNIOS, N. *Árboles de fallos*. París: Ediciones Hermès, 1991. 183 p. (Libro de bolsillo)

EMC and Functional Safety (draft) IEE Technical Guidelines (este documento, muy completo, da informaciones detalladas sobre ocho campos de aplicación importantes).

BROWN SJ. EMC and Safety related Systems. *Proceedings of the IEE International Conference on EMC*, Coventry 1997.

ARMSTRONG, K. Some EMC Issues for safety and business critical systems. *Proceedings of the IEE International Conference on EMC*, Coventry 1997

Ejemplos prácticos de especificaciones de seguridad funcional y de aplicación del Método del Árbol de Fallos

CEI 61496-1:1997 – *Seguridad de las máquinas. Equipos de protección electrosensibles. Parte 1: Requisitos generales y ensayos.*

CEI 60601-1-2:1993²⁾ – *Equipos electromédicos. Parte 1: Requisitos generales de seguridad. Sección 2: Norma colateral: Compatibilidad electromagnética. Requisitos y ensayos.*

CEI 60601-1-4:1996 – *Equipos electromédicos. Parte 1: Reglas generales para la seguridad. Sección 4: Norma colateral: Sistemas electromédicos programables.*

CEI 60335-1:1991 – *Seguridad de los aparatos electrodomésticos y análogos. Parte 1: Requisitos generales (Tercera edición).*

EN 50165:1997 – *Equipamiento eléctrico de aparatos no eléctricos para usos domésticos y análogos. Requisitos de seguridad.*

2) Una segunda edición de la Norma CEI 60601-1-2 se va a publicar.

Otras publicaciones

CEI 60255-22 (todas las partes) – *Relés eléctricos. Parte 22: Ensayos de perturbaciones eléctrica para relés de medida y equipos de protección.*

CEI 60812:1985 – *Técnicas de análisis de la fiabilidad de los sistemas. Procedimiento de análisis de los modos de fallo y de sus efectos (AMDE).*

CEI 60870 (todas las partes) – *Equipos y sistemas de telecontrol.*

CEI 61000-2-3:1992 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 2: Entorno. Sección 3: Descripción del entorno. Fenómenos radiados y fenómenos conducidos a distintas frecuencias de las de la red.*

CEI 61000-2-4:1994 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 2: Entorno. Sección 4: Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia, en plantas industriales.*

CEI 61000-2-5:1995 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 2: Entorno. Sección 5. Clasificación de los entornos electromagnéticos. Norma básica de CEM.*

CEI 61000-4-2:1995 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida. Sección 2: Ensayos de inmunidad a las descargas electrostáticas. Norma básica de CEM.*

CEI 61000-4-3:1995 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida. Sección 3: Ensayos de inmunidad a los campos electromagnéticos radiados de radiofrecuencia.*

Modificación 1 (1998)

Modificación 2 (2000)

CEI 61000-4-4:1995 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4. Técnicas de ensayo y de medida. Sección 4: Ensayos de inmunidad a los transitorios eléctricos rápidos en ráfagas. Norma básica de CEM.*

CEI 61000-4-5:1995 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida. Sección 5: Ensayos de inmunidad a las ondas de choque.*

CEI 61000-4-6:1996 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida. Sección 6: Inmunidad a las perturbaciones conducidas, inducidas por los campos de radiofrecuencia.*

CEI 61000-4-8:1993 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida. Sección 8: Ensayo de inmunidad a los campos magnéticos a frecuencia. Norma básica de CEM.*

CEI 61000-4-11:1994 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida. Sección 11: Ensayos de inmunidad a los huecos de tensión, interrupciones breves y variaciones de tensión.*

CEI 61000-4-12:1995 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida. Sección 12: Ensayo de inmunidad a las ondas oscilatorias. Norma básica de CEM.*

CEI 61000-4-13:2002 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida. Sección 13: Ensayos de inmunidad a los armónicos e interarmónicos incluyendo las señales transmitidas en la red eléctrica alterna. Norma básica de CEM.*

CEI 61000-4-14:1999 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida. Sección 14: Ensayo de inmunidad a las fluctuaciones de tensión.*

CEI/TR3 61000-5-1:1996 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 5: Guías de instalación y de atenuación – Sección 1: Consideraciones generales. Norma básica de CEM.*

CEI/TR3 61000-5-2:1997 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 5: Guías de instalación y de atenuación. Sección 2: Puesta a tierra y cableado.*

CEI 61000-5-6:³⁾ – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 5: Guías de instalación y de atenuación. Sección 6: Atenuación de influencias EM externas.*

CEI 61000-6-1:1997 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 6: Normas genéricas. Sección 1: Inmunidad en entornos residenciales, comerciales y de industria ligera.*

CEI 61000-6-2:1999 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 6: Normas genéricas. Sección 2: Inmunidad en entornos industriales.*

CEI 61000-6-3:1996 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 6: Normas genéricas. Sección 3: Normas de emisión en entornos residenciales, comerciales y de industria ligera.*

CEI 61000-6-4:1997 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 6: Normas genéricas. Sección 4: Norma de emisión en entornos industriales.*

CEI/TS 61000-6-5:2001 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 6: Normas genéricas. Sección 5: Inmunidad de los equipos para los entornos de centrales eléctricas y subestaciones.*

CEI 61069-1:1991 – *Medida y control en los procesos industriales. Apreciación de las propiedades de un sistema con el fin de su evaluación. Parte 1: Consideraciones generales y metodología.*

CEI 61069-2:1993 – *Medida y control en los procesos industriales. Apreciación de las propiedades de un sistema con el fin de su evaluación. Parte 2: Metodología a aplicar para la evaluación.*

3) A publicar.

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD DE VIGO