

ANÁLISIS AMBIENTAL DE EQUIPOS EN CENTRALES NUCLEARES

SISTEMA ELECTRICO

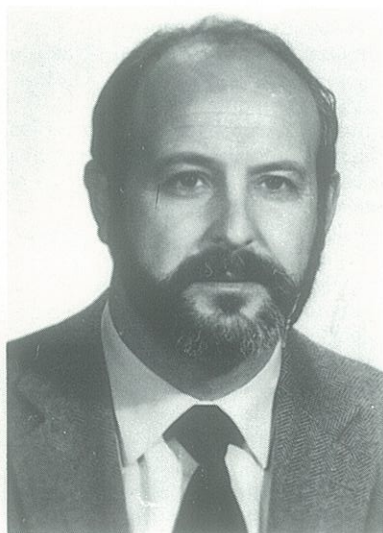
Ricardo MESEGUER

En el tema de la calificación ambiental podemos considerar varios aspectos.

En primer lugar, la normativa por la que se obliga a demostrar que los equipos utilizados en centrales nucleares pueden hacerlo en las condiciones ambientales producidas por accidentes postulados y cómo la Industria y la Ingeniería hacen frente a tal mandato.

Por otra parte, un aspecto de interés lo constituyen los pasos seguidos por la Ingeniería para la calificación, así como la familiarización con conceptos y abreviaturas utilizadas.

Asimismo se describen en este trabajo algunos de los métodos de demostración de la funcionalidad requerida de los equipos y componentes relacionados con la seguridad y el desarrollo en detalle de los trabajos a realizar por la Ingeniería en calificación de equipos.



Ricardo MESEGUER BURGUERA, Ingeniero Industrial por la ETSII de Madrid. Trabaja en INITEC desde 1973 en el diseño eléctrico de la C. N. Ascó y en la actualidad está encargado de la calificación ambiental en el proyecto de la C. N. Vandellós II.

Normativa por la que se obliga a demostrar que los equipos utilizados en Centrales Nucleares pueden hacerlo en las condiciones ambientales producidas por accidentes postulados, y cómo la Industria y la Ingeniería hacen frente a tal mandato.

En los criterios básicos de diseño, para la construcción de Centrales Nucleares, los códigos y normas americanas resumen los criterios de calificación ambiental diciendo que:

«Las estructuras, sistemas y componentes se diseñarán de forma que puedan desarrollar su función de seguridad ante ambientes normales, anormales y de accidente durante toda la vida de la planta.»

«La capacidad de funcionar en estos ambientes, se demostrará mediante pruebas o análisis apropiados.»

«Un Programa de Control de Calidad se establecerá para asegurar que todos los requerimientos han sido cumplidos satisfactoriamente.»

Para conseguir la necesaria protección de las personas y del medio ambiente, debemos demostrar y documentar la capacidad de funcionamiento u operabilidad de los equipos ante los ambientes postulados.

La operabilidad del equipo debe asegurarse en las siguientes vías:

- Los fabricantes deben diseñar, fabricar y suministrar equipos con el suficiente control de calidad para asegurar el desarrollo de las funciones especificadas en los ambientes considerados.
- La Ingeniería debe seleccionar y confirmar, en base a la documentación, que los equipos son capaces de funcionar en dichas condiciones, o sea, calificarlos.
- Las compañías explotadoras deberán almacenar, instalar, operar, mantener y reponer los equipos según los métodos adecuados previstos durante la vida del equipo.

Aunque lo que estamos entendiendo por calificación se centra en la 2.ª vía, es obvio que esto es una cadena y que la debilidad o rotura de cualquiera de estos eslabones va a afectar el fin perseguido.

Se le presentan pues a la Industria dos nuevas exigencias:

- Desarrollar formas de situar los equipos en el final de la vida de la planta, considerando los ambientes normales y anormales que puedan haber ocurrido.
- Demostrar después, la capacidad de realizar la función de seguridad ante las máximas condiciones de accidente.

En estos dos campos, la Industria tiene que realizar nuevos esfuerzos. Se tienen que estudiar y definir técnicas de envejecimiento. Se tienen que estudiar nuevas propiedades de materiales. Aparece la radiación como nuevo efecto en éstos. Nuevos materiales tienen, pues, que empezar a formar parte de los equipos, lo que obliga a nuevos desarrollos.

El accidente sísmico, por ser el evento más común a todos los equipos de la planta, pasa a ser exigido en primer lugar y primordialmente aceptado por la Industria. No obstante, deben incluirse en las pruebas sísmicas los esfuerzos dinámicos a los que pudieran estar solicitados los equipos.

Es difícil incluir múltiples factores en una sola prueba.

Debe realizarse nueva investigación sobre efectos sinérgicos. Debe justificarse que la secuencia de pruebas usada es la que presenta los efectos más severos.

Por el momento, la definición es muy concreta en su sentido, pero totalmente abierta en cuanto a la forma de realizarlo.

Instituciones como la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) desarrollan nuevas normas que centran estos criterios básicos denominándose normas básicas, tales como la IEEE 323 y la IEEE 334. La primera, sobre calificación ambiental, y la segunda, sobre requerimientos en ensayos sísmicos.

Pero la Industria trata de interpretar estas normas desde diferentes puntos de vista, lo que crea problemas y discusiones sobre su interpretación. Es la NRC (Nuclear Regulatory Commission) la que sale al paso, editando sus RG (1) (Regulatory Guides) y BTP (2) (Branch Technical Position), definidas como «métodos aceptables para la NRC», intentando aclarar y comentar tanto las normas básicas como las llamadas hijas, que han tenido que ser editadas prácticamente para cada tipo de equipo que interviene en una Central Nuclear, realizando funciones de seguridad.

Ocurre un fenómeno importante a considerar, y es que equipos cuyos fabricantes han conseguido calificarlos para un cierto ambiente son adquiridos, la mayoría de las veces, sobrevalorando la condición de calificación a la técnica o de desarrollo de la función de seguridad. Aparece, pues, en el mercado una polarización a ciertos equipos, que por

supuesto no siempre son los más idóneos, para realizar las funciones especificadas, pero que dado que están calificados para esos ambientes, son adquiridos.

Esto, por supuesto, va en perjuicio del diseño, al menos en alguno de los sentidos.

La Ingeniería, situada entre los fabricantes, las empresas propietarias y los organismos oficiales encargados de la seguridad nuclear, tiene que emitir juicios sobre la demostración de adecuación de los equipos para desarrollar la función de seguridad bajo las condiciones de accidente, también definidas por ella, asesorando a las empresas propietarias para las que trabaja o evaluando con ellas.

Se encarga también de defenderla ante los organismos oficiales aportando razones, conocimientos y juicios que complementen algunas veces las propias pruebas, análisis o experiencia del equipo en cuestión. Hay que apuntar que esta responsabilidad es de la empresa propietaria pues es ésta, ante los organismos oficiales, la responsable de la adecuación de la seguridad de su Central, de ahí que durante la evaluación de la seguridad la Ingeniería actúe apoyando a la empresa propietaria.

Esto exige del ingeniero encargado de la Calificación Ambiental una formación ampliamente técnica y legal que, además del conocimiento de las normas con la interpretación del detalle, conozca las investigaciones que continuamente están realizando los laboratorios, unas veces encargados por la NRC para que les sirva de base y comprobación, y otras realizadas por EPRI (Electrical Power Research Institute) sin, por supuesto, menospreciar las que los propios fabricantes están realizando en sus equipos.

Estas investigaciones están dirigidas, entre otros conceptos, a profundizar en el conocimiento de:

a) Las respuestas de los materiales a los diversos mecanismos de envejecimiento.

b) La importancia de los efectos de cada uno de los mecanismos de envejecimiento sobre la función a realizar FMEA (Failure Mode Effects Analysis).

c) Cuándo unos pueden ser consecuencia de los anteriores o viceversa y cuál de estas secuencias es la peor.

Además, como venimos apuntando, se requiere conocer también las funciones de seguridad que realiza cada uno de los equipos para definir cuáles pueden ser los componentes o los materiales afectados por las condiciones de accidente y, como consecuencia, cuáles son realmente los componentes o materiales que deben ser calificados.

El análisis de los fallos en las pruebas, al igual que la aceptación de los modelos matemáticos presentados en una calificación por análisis, requieren conocimientos que nos permitan definir los criterios de aceptación.

Hay que hacer constar que con la calificación no se asegura el funcionamiento

de los equipos en el accidente. Lo que se hace es demostrar la posibilidad o capacidad para hacerlo. Pero el funcionamiento de los equipos, y en esencia la seguridad, depende además de otros muchos factores. Por numerar algunos: la forma

como se instalan, el mantenimiento que reciben, los repuestos adecuados, el fallo o error humano, efectos combinados no postulados, etc.

La calificación es un eslabón más de la cadena.

Pasos seguidos por la Ingeniería para la calificación de equipos y la experiencia requerida en el Ingeniero de Calificación

El trabajo a desarrollar, a grandes rasgos, por la Ingeniería en la calificación ambiental de una Central Nuclear requiere los siguientes pasos:

- Definir los equipos que deben intervenir en la parada segura de la Central. Considerar que la nueva reglamentación la amplía a equipos mecánicos (anteriormente afectaba sólo a equipos eléctricos) y que considera como parada segura la parada fría en vez de caliente, como se consideraba anteriormente. Incluye la nueva reglamentación también a los equipos que, sin ser necesarios para la parada fría, sus fallos pueden influir en la degradación del ambiente.

- Estudio de la función de seguridad de cada uno de estos equipos, indicando también, cuándo y cuánto tiempo tiene que actuar después o durante el accidente.

- Determinación de las condiciones ambientales, tanto normales como anormales y de accidente, dando su variación con el tiempo (perfiles) en cada una de las áreas en las que se encuentran equipos de seguridad, y para cada uno de los accidentes postulados, calculando después el perfil envolvente.

- Determinar un plan de calificación a incluir en las especificaciones.

- Aprobar el programa de calificación de los fabricantes, en el que se define el método y el programa de la prueba, o aceptar como válido el informe de las pruebas de calificación ya realizadas.

- Seguir, comentar y aceptar la calificación de los equipos, procurando que los informes demuestren la adecuación de una forma auditable para los organismos oficiales.

- Implementar en el programa de mantenimiento y vigilancia de los equipos las consecuencias que surjan de la calificación.

- Poner en orden y mantener el archivo también de forma auditable. El archivo contemplará para cada equipo: la especificación, el programa de mantenimiento, el informe de calificación y los controles de calidad.

De todo lo expuesto se deduce que se requiere gran experiencia en la observación de pruebas de laboratorios, considerando que, por desgracia, es en los fallos ocurridos en las pruebas y en su análisis donde más se aprende.

Es interesante conocer también, además de la metodología de los propios

ensayos, los informes que organismos como AIF (Atomic Industrial Forum), EPRI, ya mencionado, los propios Laboratorios (Franklin, Wyle, Sandia) dan sobre los ensayos realizados y sus conclusiones, así como los IE, boletines emitidos por la NRC, en base a la experiencia observada.

Interesa estar al día en el desarrollo de nuevos modelos matemáticos y perfección de los existentes, con ayuda de la estadística, sobre envejecimiento acelerado.

Debemos estar al día también en las investigaciones que organismos y laboratorios están desarrollando, dirigidas a los siguientes campos:

- Desarrollar nuevos métodos de envejecimiento acelerado.
- Estudiar y comprobar efectos sinérgicos al objeto de conocer y establecer las secuencias de pruebas más desfavorables, así como la simultaneidad de los efectos en una sola prueba.
- Forma de simular accidentes, considerando todos los efectos que intervienen en él.
- Normalizar, si cabe, los ensayos a realizar en cuanto a tamaños de autoclaves, situación de instrumentos, forma de crear los ambientes y seguir los perfiles, etc., al objeto de que los ensayos puedan ser homologables.
- Estudiar los equipos, identificando los fallos comunes que puedan ocurrir en ellos ante una única causa.
- Canalizar la información al objeto de mejorar las especificaciones, las normas y los equipos.
- Estudiar las causas que producen los diferentes relaciones de incrementos de las variables que intervienen en el envejecimiento acelerado.
- Considerar los efectos de los posibles choques térmicos.
- Considerar los efectos de los desplazamientos de las moléculas de oxígeno en los materiales aislantes expuestos a envejecimientos acelerados y radiación, así como los efectos de la variación de la concentración de oxígeno en la atmósfera del accidente.

Vamos a centrarnos ahora un poco más en los detalles y matices de la problemática que ello conlleva, tratándolos todavía de forma general y dejando sin comentar las normas específicas para cada equipo, en las que se definen las pruebas a realizar, su secuencia, los criterios de diseño y los de aceptación de las pruebas, cosa que haría esta exposición tediosa y demasiado extensa.

Familiarización con conceptos y abreviaturas utilizadas

Al objeto de familiarizarnos con los conceptos aquí utilizados, vamos a definir algunos de ellos:

ENVEJECIMIENTO

Efectos degradantes que producen las condiciones de operación y el ambiente en los equipos durante un período de tiempo que no incluye al del accidente postulado.

MARGEN

Diferencias a considerar entre las condiciones ambientales previstas y las consideradas a la hora de realizar las pruebas de calificación.

AMBIENTE HOSTIL

Aquel en el que sus condiciones ambientales varían respecto de las normales de forma considerable en caso de accidente.

AMBIENTE NORMAL (MILD)

Aquel en el que sus condiciones ambientales no cambian, o lo hacen de for-

ma muy poco sensible, respecto de las normales en caso de accidente.

MSLB	- Main Steam Line Break (rotura tubería de vapor)
HELB	- High Energy Line Break (rotura tubería alta energía)
LOCA	- Loss of Coolant Accident (pérdida refrigerante)
DBE	- Design Basis Event (accidente base de diseño)
QA	- Quality Assurance (garantía de calidad)
EQ	- Environmental Qualification (calificación ambiental)
HVAC	- Heating Ventilating and Air conditioning (ventilación y aire acondicionado)

FALLO COMUN

El que ocurre en equipos redundantes debido a una causa única, ya simultáneamente, o dentro del intervalo requerido entre inspecciones o mantenimiento.

FALLO RANDOM

Fallos principalmente de fabricación que ocurren en los equipos sin una causa que justifique su generalidad.

con la seguridad de la planta puede desarrollar su función de seguridad sin que ningún MECANISMO de FALLO origine un FALLO COMUN ante las condiciones ambientales postuladas, normales, anormales y de accidente al final de su vida.

El tener que **demostrar** implica el desarrollar métodos para hacerlo. Los métodos definidos en las normas y aceptados por la NRC son:

PRUEBA TIPO

Es el método preferido y casi obligado cuando el equipo es complejo o donde son significativos los mecanismos de envejecimiento.

EXPERIENCIA

Método éste cuya validez depende de la adecuada documentación disponible que lo garantice.

Está basada en el comportamiento de equipos idénticos ante condiciones de servicio iguales o más severas con similar o inferior mantenimiento y con similar función a desarrollar.

La experiencia aporta también información sobre los mecanismos de fallo por envejecimiento, así como el MTTF (Mean Time to Failure). En general suele usarse para equipos que no están sujetos a ambientes hostiles por accidente.

Métodos de demostración de la funcionalidad requerida

Por **CALIFICACION AMBIENTAL** entendemos lo que de una forma razonable, y dentro de los conocimientos tecnológicos y experiencias disponibles hoy en día, **pretende asegurar** que el diseño y fabricación son adecuados para soportar sin fallos comunes la realización de la función de seguridad, al final de la vida de la planta y ante las condiciones ambientales de accidente postuladas.

Qué duda cabe que la forma de realizar las pruebas que demuestren la adecuación irá cambiando a medida que los conocimientos tecnológicos vayan mejo-

rando y la experiencia vaya confirmando nuevas teorías y nuevos procedimientos.

El estudio estadístico de fallos en los mecanismos de funcionamiento aportará también nuevas bases para la definición de los elementos o componentes a calificar.

Causas que generen un fallo común en equipos redundantes requeridos para la parada segura de la central, pueden ocurrir cuando éstos sean requeridos para realizar su función de seguridad.

CALIFICAR es también, pues, **demostrar** que todo equipo relacionado

ANALISIS

Basado en la elección de un modelo matemático válido, soportado con datos de pruebas en equipos similares, o basados en leyes físicas o naturales.

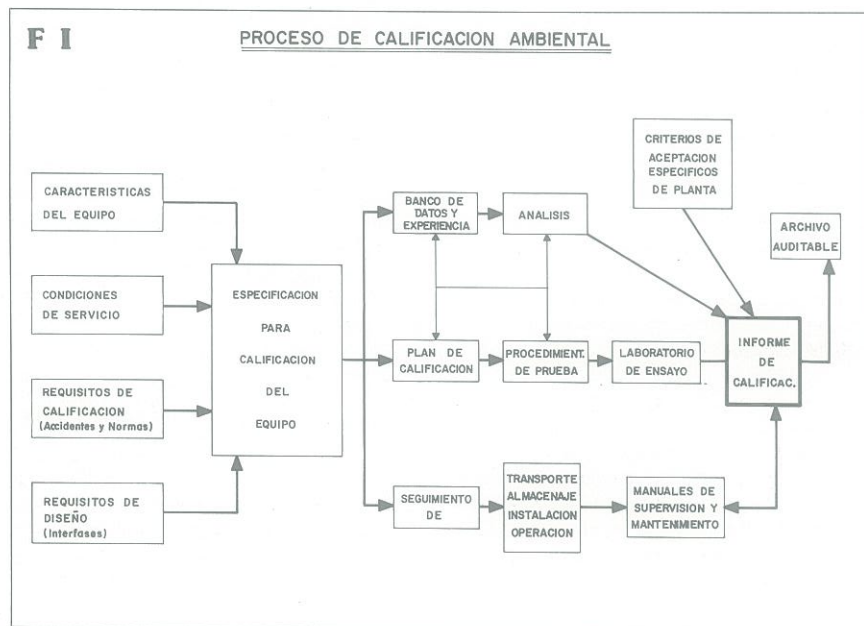
Cuando se basa en datos de pruebas a equipos similares deberá compararse y justificar las diferencias o similitudes respecto a:

- Materiales utilizados.
- Efectos de los diferentes tamaños o pesos.
- Esfuerzos eléctricos y mecánicos soportados.
- Función realizada.
- Mecanismos de fallo y sus efectos.
- Condiciones de servicio o de trabajo.
- Mantenimiento recibido.

Suele utilizarse este método en equipos sencillos en los que los materiales o mecanismos a envejecer son simples y fáciles de analizar.

«ON GOING» O CALIFICACION CONTINUA

Basado en pruebas periódicas que califican al equipo por períodos cortos. En general es poco utilizado por lo caro que resulta (varias muestras y varias pruebas). En general se suele utilizar para calificar equipos ya instalados, de los que se duda puedan ser calificados por períodos largos, hasta la decisión o posibilidad de su sustitución.



FUNCIONES DE LA INGENIERIA A DESARROLLAR EN CALIFICACION AMBIENTAL DE EQUIPOS

- 1.º Definir los equipos a calificar, junto con las funciones a realizar y los criterios de aceptación.
- 2.º Definir los parámetros ambientales, normales, anormales y de accidente, y relacionarlos con la situación de cada equipo.
- 3.º Determinar un plan de calificación general a incluir en especificaciones.
- 4.º Aprobación y seguimiento de los programas y/o pruebas de calificación basados en:

- Prueba tipo y su secuencia - Experiencia - Análisis - Calificación continua (on going) - Combinación de las anteriores	Prueba funcional (PF)	- Radiación - Térmico - Vibración - Ciclos operativos
	Envejecimiento	
	PF	
	SEISMO + PF	
	Accidente + PF	
	Post-accidente + PF	
	Anomalías + conclusiones	

- 5.º Mantener al día y archivar la documentación de forma auditable.
- 6.º Implementar las consecuencias o resultados de la calificación, en los programas de mantenimiento.

COMBINACION DE LOS ANTERIORES

En equipos que deberían requerir prueba tipo, pero que debido principalmente a su envergadura, tamaño o procesos largos de envejecimiento, hay que recurrir a calificarlo por partes, utilizando en cada uno de ellos el método conveniente.

Suele incluir después un análisis del conjunto.

Independientemente de que se justifique el funcionamiento de los equipos ante los ambientes postulados por accidente, y precisamente para minimizar al máximo los equipos sujetos a ellos, es por lo que deben plantearse en el DISEÑO de la PLANTA todos los posibles accidentes, al objeto de que queden suficientemente aislados y se puedan si-

tuar los equipos e instrumentos requeridos para la parada segura de la central fuera de su alcance.

Esto realmente no va a ser posible en el 100 % de los casos, pero, considerando además que el problema aparece principalmente cuando una única causa crea un fallo común en equipos redundantes, si se podrá intentar, al menos, salvar de dicha área a uno de ellos en muchos casos.

Esto realmente sabemos que no es fácil en grandes proyectos que van evolucionando con el tiempo, y cuyo diseño es cambiante en cierta medida. Es como el pez que se muerde la cola. No se pueden evaluar los accidentes si no está el diseño hecho y cuando éste está hecho es demasiado tarde para evitar sus consecuencias.

Desarrollo en detalle de los trabajos a realizar por la Ingeniería en calificación de equipos

Volviendo a los equipos y a la necesidad de calificarlos, consideramos los pasos siguientes a desarrollar por la Ingeniería:

PRIMERO

EQUIPOS DE SEGURIDAD A CALIFICAR

En general deben considerarse todos los equipos de clase 1E.

Estos en general intervienen en los siguientes sistemas:

- Parada del reactor.
- Aislamiento de la contención.
- Refrigeración del reactor.
- Refrigeración de la contención.
- Detección de la radiación y evitación de escapes a la atmósfera.

- Habitabilidad de la sala de control.
- Equipos o sistemas soporte de cualquiera de estos anteriores, tales como:

- Alimentaciones de potencia y control a equipos.
- Instrumentación y lógica de control.
- Refrigeración de equipos.
- Estructuras, soportes, etc.

De todos éstos se considerarán sólo aquellos que queden expuestos a accidentes y que se clasificarán de acuerdo con el NUREG 0588 y la RG-1.89 en:

- Equipos que contemplan el accidente y deben actuar para mitigarlo.
- Equipos que contemplan el accidente y no se requiere su actuación para mitigarlo, pero que su degradación puede aumentar las consecuencias del accidente.

- Equipos que contemplan el accidente. No son requeridos y no agravan sus consecuencias.
- Equipos que contemplan el accidente, pero que se requiere su funcionamiento sólo en el instante inicial.

Según el NUREG, de esta clasificación sólo requieren ser calificados los situados en los apartados A y B, siendo esto sólo aplicable a centrales en proceso de licenciamiento.

SEGUNDO

CONDICIONES AMBIENTALES DE SERVICIO Y DE ACCIDENTE

Se definirán las condiciones ambientales, normales y de accidente que es previsible que ocurran en cada uno de los compartimentos aislados de la central y que puedan dar lugar a la degradación o fallo de los equipos redundantes requeridos para la parada segura de la central.

Estas pueden ser:

Por envejecimiento:

- Oxidaciones o corrosiones.
- Degradaciones térmicas.
- Degradaciones radiactivas.
- Degradación por ciclos funcionales.
- Fatigas por vibraciones y rotura posterior.

Por accidente:

Dentro del Edificio de Contención

- Inundaciones { Alta radiación
Alta presión
- Loca { Alta temperatura
Espray químico
- MISILES: por explosión o roturas recipientes a presión.
- MSLB { Alta temperatura
- Seismos { Alta presión

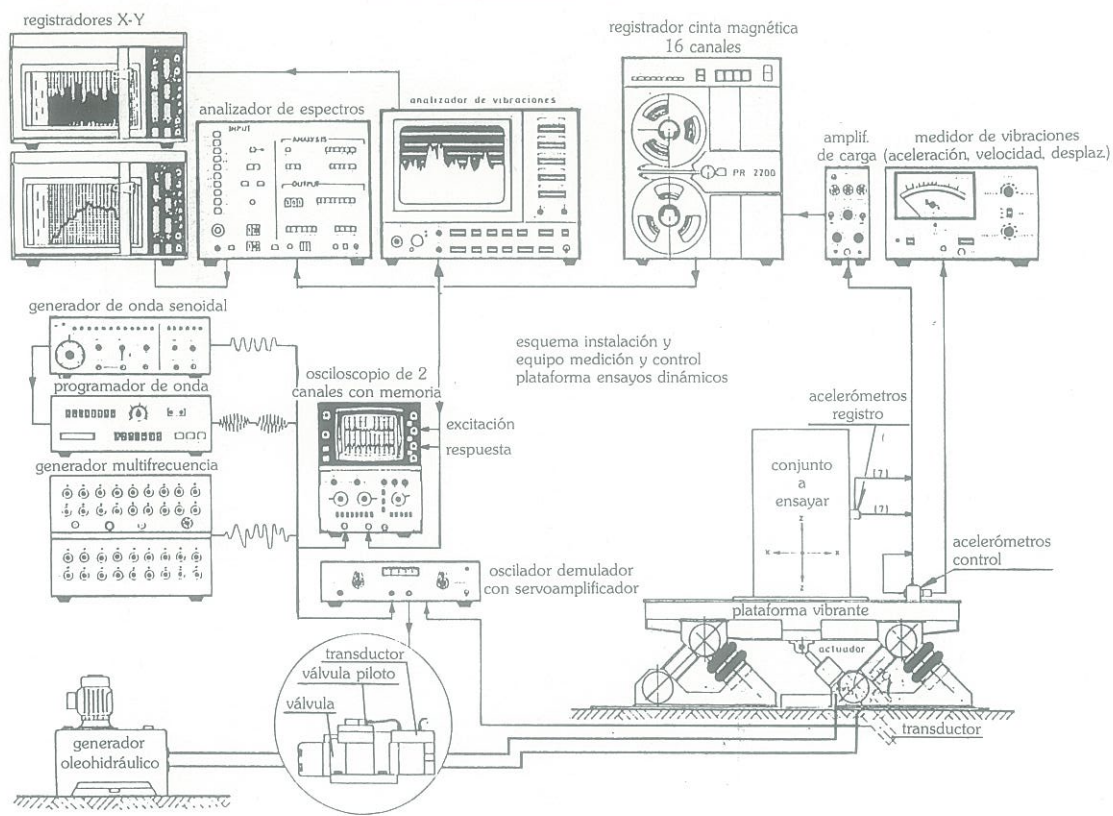
Fuera del Edificio de la Contención

- Inundaciones internas al edificio o externas a él.
- Rayos, tormentas o huracanes en equipos a la intemperie.
- Alta radiación.
- Incendios.
- Seismos.

HELB

MISILES

- { Cloruros
Vapores; alta
temperatura, baja
presión
Efectos látigo
- { Aviones
Máquinas rotativas
Explosiones



De estas condiciones se conocerá su variación con el tiempo y los modos de determinarlas. En la R. G. 1.09 ya se define la forma de evaluar la TID (Total Integrated Dosis) en la Contención en caso de LOCA parcial o total. Determinados programas de ordenador calcular los perfiles de presión y temperatura en caso de LOCA o de MSLB. De igual manera se definen los perfiles sísmicos o respuestas del terreno en cada una de las plantas de los distintos edificios de la central (RRS) (Required Response Spectrum).

Anteriormente se ha definido en base a datos históricos el OBE (Operating Basis Earthquake) y el SSE (Safe Shutdown Earthquake), equivalente al normal esperado y al máximo de diseño. Por lo general, el SSE es el doble del OBE.

Se considerarán las variaciones extremas de las alimentaciones (eléctricas, neumáticas o hidráulicas) al realizar las pruebas de funcionamiento.

Si los equipos están sujetos a condiciones anormales durante el accidente, éstas estarán presentes durante dichas pruebas (cortocircuitos en interruptores, máquinas o penetraciones; respuestas dinámicas más seísmos).

No deben obviarse, cuando éstas puedan representar condiciones anormales, como el transporte, almacenamiento, instalación y mantenimiento.

En muchos casos los equipos sufren aceleraciones en el transporte superiores a las de accidente (caídas). En estos casos la forma de embalar debe quedar reflejada en procedimientos especiales.

Lo mismo en cuanto a temperaturas y humedades durante el almacenamiento, y en cuanto a la forma de realizar el mantenimiento. Muchos equipos fallan justo después de haberse realizado el mantenimiento o como consecuencia de una instalación indebida (drenajes en parte superior; inclinaciones excesivas afectan al aceite de engrase; personal no calificado para hacer el mantenimiento, etc.).

TERCERO

PLAN DE CALIFICACION

Conocidos los equipos a calificar y sus ambientes respectivos, se procurará un Plan de Calificación General que conducirá a los Programas y Procedimientos de calificación específicos para cada equipo. En este plan se debe resaltar la importancia y la calidad del trabajo a realizar, así como la documentación a generar. Se considerará también la relación Precio/Efectividad y las posibilidades de llevarlo a cabo.

CUARTO

PROGRAMA DE CALIFICACION

De acuerdo con el fabricante de cada equipo, se preparará un programa de calificación, tomando como base uno de los métodos anteriormente vistos (prueba, análisis, experiencia) que nos conduzca al objetivo final, que es la demostración de su adecuación.

Este programa se basará en la aplicación de las normas de calificación que le afecten y que habrán de relacionarse,

haciendo especial mención a ciertos apartados tanto de las normas como de la propia especificación del equipo.

Contemplará:

• Definición del equipo

Denominación, modelo, fabricante, sistema al que pertenece, tag de identificación en el proyecto.

Se describirá su *operabilidad* para que pueda ser demostrada y saber si es continua, sólo al final, sólo al principio o intermitente, durante el accidente.

Se definirán las principales características y las listas de materiales en el caso de que tengan que ser sometidas a análisis.

Se definirán de antemano los criterios de aceptación y/o tolerancias de las pruebas y las variables a medir, si es éste el método elegido.

Definirá las *Interfases* de conexión, tanto eléctricas como mecánicas, su modo de fijación y su orientación en caso de ser requerida.

Se definirán para su calificación los mecanismos de fallo en base a los accidentes a soportar.

• Secuencia a seguir

De todos los ambientes a los que el equipo se considera expuesto, se hará una valoración de posibles efectos *sísmicos* (algunos ya conocidos) y se definirá la secuencia en la que se debe realizar las pruebas y que será

la que mayores efectos degradantes produzca.

Los problemas sinérgicos pueden aparecer al considerar los efectos de radiación antes o después de los térmicos, al definir la dosis de radiación, etc.

Se suele aceptar el considerar la radiación integrada (envejecimiento más accidente) y limitar la dosis de radiación a no más de 10^6 rad/hora, anterior al envejecimiento térmico en materiales aislantes.

En cambio, el comportamiento de los componentes electrónicos y circuitos integrados, a la radiación, es distinto al del resto de los materiales. Estos componentes no se consideran envejecidos por la radiación, pero sus constantes de funcionamiento se ven afectados por la dosis de radiación, produciendo errores, que en la mayoría de los casos son totalmente inadmisibles. Esto hace que en estos componentes la radiación se considere como parte del accidente y no como envejecimiento, en el que por lo general no se requiere que el equipo funcione.

Todas las pruebas se realizarán sobre una misma muestra (lo que las distingue de las pruebas de fábrica), por lo que se prepararán las muestras necesarias en previsión de posibles fallos o accidentes involuntarios durante la totalidad de las pruebas, al objeto de que puedan ser sustituidas en parte, por otras ya envejecidas y sea más fácil la determinación de los fallos en cuanto a comunes o random.

Durante las pruebas se definirán las variables a medir, tanto las del equipo como las del ambiente, definiendo los instrumentos, su calibración y su precisión, así como su situación (termopares próximos a superficie). Se definirá también si las medidas se realizan de forma continua o a intervalos.

Una **SECUENCIA TIPICA** de una **PRUEBA** es:

- Inspección visual del equipo, comprobando su identificación y la ausencia de daños físicos.
- Prueba funcional (PF), que permite su calibración y tomar datos característicos que servirán de base.
- Envejecimiento:

Por radiación. Integrando las dosis de los 40 años más la de accidente. Se comprobará después su buen estado mediante una prueba funcional (PF).

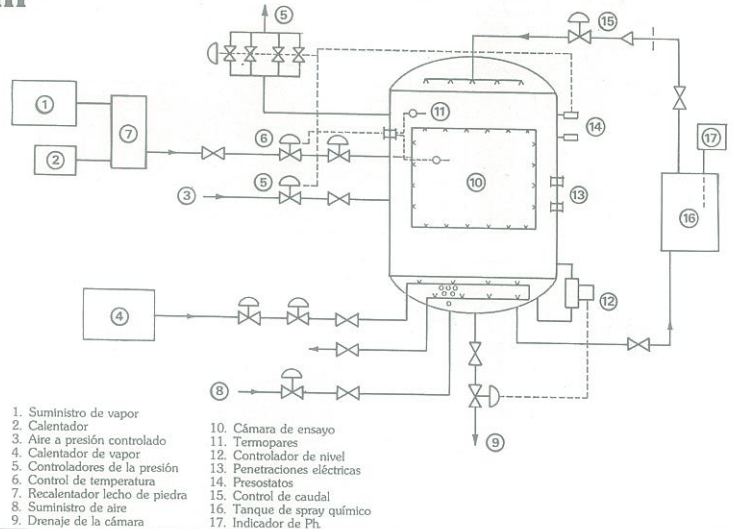
Térmico. Mediante la determinación de la EA (energía de activación) y aplicación posterior de la teoría de Arrhenius, que determinará el envejecimiento acelerado equivalente.

PF

Ciclos de trabajo. Principalmente en equipos electromecánicos, equivalentes a la vida a calificar (distinguirlos de los realizados en fábrica). Al menos el 10 % de éstos se realizarán durante el envejecimiento térmico.

F III

INSTALACION REQUERIDA PARA UN ENSAYO DE "LOCA"



PF

Vibración. Si su situación sobre tuberías o sobre equipos en movimiento lo exigen, por posible fatiga de materiales.

Combinado temperatura-humedad. Especialmente en equipos eléctricos y electrónicos, donde las condensaciones y dilataciones diferenciales puedan ser motivo de fallos.

PF

Sísmico. Compreendido por lo general 5 OBE más 1 SSE sobre mesas biaxiales y con excitación de multifrecuencias. La prueba requerirá que el equipo esté funcionando, si éste es su requerimiento durante el accidente. Suele ir precedido de una búsqueda de resonancias.

PF

Accidente DBE. Por lo general, el LOCA dentro de la contención. Se realizará dentro de un autoclave, siguiendo y superando los perfiles de presión y temperatura, así como haciendo funcionar el spray químico con el pH requerido.

Durante esta prueba se requerirá que el equipo esté funcionando si ésta es su función durante el accidente.

Este funcionamiento se iniciará 15 minutos después de los picos de presión y temperatura o durante los mismos.

PF

Post-accidente. El envejecimiento térmico posterior en el caso de que se siga requiriendo su funcionamiento se realizará tal cual o se justificará con el exceso de margen que se aplica durante el accidente (perfiles generales envolventes).

Hay que hacer especial mención de la necesidad de aplicar los márgenes requeridos en la realización de todas estas pruebas.

PF

Descripción, estudio y justificación de las anomalías o fallos habidos, determinando si éstos son de carácter común (inadmisibles) o random.

Medidas adoptadas para hacer válida la calificación durante el período considerado y que junto con las de vigilancia, calibración, repuestos y mantenimiento deben quedar reflejadas en el informe.

QUINTO

DOCUMENTACION REQUERIDA

Esta será auditable y deberá demostrar que el equipo está calificado para dicha aplicación.

Confirmará que cumple con los requisitos especificados.

Contemplará los requisitos de mantenimiento y reposiciones, así como los intervalos requeridos para su realización.

Según el método utilizado se complementará con:

Caso de prueba-tipo:

Identificación; especificación; programa de calificación; informe de la prueba.

Objetivo.

Descripción de la prueba (secuencia).

Procedimiento y medidas.

Datos de las pruebas.

Instrumentos utilizados.

Anomalías.

Conclusiones.

Caso de experiencia

Del equipo a calificar.

Identificación; especificación; mantenimiento y función de seguridad a realizar.

Del equipo base de la experiencia.

Del equipo base + vida calificada.

Programa de calificación en base al cual se va a evaluar.

Comprobación de todos estos apartados, que junto con los informes y datos de la experiencia aportada (historia del equipo) permitan definir conclusiones válidas o incluir limitaciones en cuanto a la vida calificada o al mantenimiento.

Caso de análisis

Identificación; especificación; programa de calificación en base al cual se va a evaluar.

Función de seguridad y estudio de los mecanismos de fallo y sus efectos.

Programas analíticos o de ordenador a utilizar y las hipótesis en las que se basan.

Resumen de su aceptabilidad y conclusiones finales en cuanto a la vida calificada y/o sus limitaciones en el mantenimiento.

Caso «On Going» (extensión de la calificación)

Puede ser interesante si existe alguna forma de demostrar el nivel de degradación con el tiempo, mediante programas de vigilancia y mantenimiento, que permita valorar la vida del equipo.

Especial estudio están requiriendo los equipos no sujetos a ambientes hostiles y donde la única condición de accidente es el seísmo. Para estos equipos se suele requerir:

- Certificado de que el equipo no está situado en áreas expuestas a ambientes hostiles o anormalidades que lo modifiquen.
- Certificado de cumplimiento con la especificación (a ser posible con el equipo estandar de fabricación).
- Que se disponga de unos programas de inspección y mantenimiento que permitan observar el estado de degradación de dicho equipo.

Consideraciones a resaltar

- La experiencia está demostrando que es conveniente, antes de la realización de las pruebas de calificación, el realizar unas previas que corrijan ciertos fallos en el equipo; que demuestren la capacidad del laboratorio para realizar el programa de las pruebas; que los equipos de medida no requieran recalibraciones intermedias, y que las interfases sean las definitivas y no aporten fallos indebidos. El polvo y la suciedad son elementos a considerar en la prueba o en el mantenimiento.

- No posponer la Calificación a la instalación de los equipos, pues ésta puede involucrar un mantenimiento o unos períodos de recambios demasiado costosos y/o complicados. Los repuestos deben ser especificados y sujetos a procesos de QA y EQ, al igual que los equipos.

- El mantener viva la documentación requiere un gran esfuerzo organizativo y de vías de comunicación previamente establecidas. Todos los cambios que se producen deben quedar reflejados en todos los documentos en que intervienen, especialmente en el FSAR y en EQR.

Funciones de operación calificadas no siempre coinciden con las que aparecen en los Procedimientos de Operación de la Planta.

- En cuanto al envejecimiento, los equipos deben ser revisados en su diseño, función, materiales y ambiente para ver si se detectan posibles mecanismos de fallo por envejecimiento. Esto puede realizarse en base a:

- Experiencia en servicios similares.
- Análisis o datos del comportamiento de los materiales.
- Pruebas aceleradas de envejecimiento a realizar.

Sólo en el caso de no detectarse dichos mecanismos de fallo puede no ser requerido el envejecimiento.

En equipos en los que el envejecimiento se puede realizar a componentes o materiales independientemente, deberá relacionarse la vida calificada de los que son inferiores a la del equipo, para que puedan programarse sus reemplazamientos.

Para la realización de pruebas aceleradas se debe considerar:

- Los parámetros o magnitudes que envejecen el material.
- Las propiedades del material que se ven afectadas y sus efectos sobre los mecanismos de fallo.
- Las técnicas de aceleración probadas y/o sus grados de fiabilidad.
- Los límites del material a partir del cual los efectos producidos no son consecuencia del envejecimiento.
- Es conveniente el funcionamiento de los equipos durante el envejecimiento, siempre que sea fácilmente practicable su realización, aunque esto no sea un requerimiento general.

La teoría de Arrhenius, basada en la influencia de la temperatura sobre las velocidades de reacción química, es la que hoy en día se está utilizando para

determinar el envejecimiento térmico de los materiales.

$$\frac{dc}{dt} = Ae \exp \frac{-Ea}{KT} ;$$

$$\frac{\ln t_1}{\ln t_0} = \frac{Ea}{K} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right)$$

Ea = Energía de actuación en eV

K = Constante de Boltzamn =

= 8,6 10⁻⁵ eV/°K

T = Temperaturas en °K

t = Tiempo en horas

Al considerar la temperatura ambiente (T_a) de los materiales a envejecer, debemos tener en cuenta:

- Temperaturas del proceso (termopares).
- Autocalentamientos (cables, bobinas).
- Sobrecargas (número de ellas y puntos más calientes).
- Tipo de HVAC.

La teoría de Arrhenius no es un método demasiado práctico en equipos complejos que contemplan muchos materiales sujetos a envejecimiento, máxime cuando su precisión no es mucha, ya que incluso técnicas aerospaciales con modelos matemáticos mucho más sofisticados no han conseguido correlaciones válidas con resultados experimentales en varios materiales. Estas teorías no contemplan tampoco posibles efectos sinérgicos.

Al envejecer distintos materiales en un mismo proceso, es obvio que muchos de ellos van a quedar sobre-envejecidos al tomar la menor Ea, lo que puede llevar a que ciertos fallos posteriores no sean representativos. Es por ello por lo que la Industria intenta obviar su aplicación allí donde no sea fácilmente practicable, y sugiere un mantenimiento y supervisión que contemple posibles niveles de degradación con el tiempo y reporte los posibles fallos observados en base a una mayor experiencia.

El proceso seguido hoy en día consiste en:

- Describir los componentes y materiales de cada equipo.
- Buscar en tablas o determinar mediante ensayos la Ea para cada material y su propiedad característica en el desarrollo de su función.
- Elegir la Ea mínima y definir el envejecimiento acelerado de acuerdo con ella, sabiendo de antemano que la mayoría de los materiales van a quedar sobre-envejecidos.

Todo esto admitiendo como hipótesis que:

- Es fácil medir la Ea de un material para una propiedad determinada.
- Que los materiales son fácilmente identificables.
- Que la Ea es constante y no varía con la temperatura.

Ante todas estas dificultades, la Industria ha realizado ensayos sobre unos 300 materiales, observando en ellos que la Ea tiene una distribución normal con un valor medio de 1,11 eV y una desviación típica de 0,48.

Si se aceptase una Ea = 0,63 para todos los materiales, se cubriría al 87 % de ellos, valor bastante razonable considerando las imprecisiones de la T.A. Ello traería las ventajas de:

- Usar un único procedimiento para todos los materiales, abaratando los ensayos de envejecimiento.
- No se requeriría identificar materiales ni propiedades.
- La precisión sería aproximadamente la misma.

La desventaja principal es que equipos que podrían ser adecuados con su correcto envejecimiento no conseguirían su calificación, y la investigación sobre el comportamiento específico de los materiales quedaría retrasada o anulada.

Quizá los principales progresos conseguidos hasta hoy, sobre el envejecimiento son:

- Conocer las limitaciones de la T.A. (Teoría de Arrhenius).
- Usar de forma más correcta los materiales en base a sus propiedades.
- Modificar ciertos métodos de vigilancia y mantenimiento.
- Comprobar que el envejecimiento de los equipos en las Centrales Nucleares construidas no ha sido significativo.

- En cuanto a la Radiación es práctica común integrar las dosis de envejecimiento y accidente en un solo ensayo, y que éste, realizado con rayos γ , produzca efectos similares a los del resto de las radiaciones (n , γ , β).

Los efectos principales que producen son:

Convertir en rígidos y quebradizos los materiales aislantes y de sellado. Estos efectos dependen de la dosis total integrada y de la tasa de dosis (Rad/hora).

- En cuanto a los márgenes, requeridos para cubrir ciertas incertidumbres y variaciones en los procesos de

fabricación, en la realización de las pruebas de calificación y en la determinación de los parámetros ambientales, deben incluirse en las variables a medir, en el número de pruebas a realizar (especialmente en transitorios) y en el tiempo de aplicación, aunque no todos ellos en una misma prueba.

Los especificados en normas son:

- Temperatura + 8° C. Si se realiza la prueba con mayor saturado, la temperatura no será superior a la correspondiente a un exceso de presión de 10 psi.
- Presión + 10 % del pico, pero no superior a 10 psi.
- Radiación + 10 % de las dosis de accidente.
- Tensión eléctrica $\pm$ 10 % sin exceder los límites del diseño eléctrico.
- Frecuencia $\pm$ 5 % ídem.
- Tiempo + 10 % del tiempo requerido de operación después del accidente o

durante él, especificándose un mínimo de una hora, caso muy discutido por la Industria.

Para transitorios con picos altos, en los que al margen adicional pueda afectar los límites de los materiales, es práctica aceptada el repetir el transitorio sin márgenes. Estos márgenes no son aplicables al envejecimiento, aunque en éste se suelen emplear prácticas conservadoras.

Como se ha podido comprobar, en este relativamente complicado y no siempre definido proceso de calificación, en el que intervienen normas, procesos, técnicas, sistemas, materiales, tiempos, formas de actuaciones, criterios de aceptación, etc., el buen juicio y, sobre todo, el convencimiento técnico de la adecuación del equipo para la realización de su función de seguridad ante las condiciones ambientales previstas, es de primordial importancia para la seguridad de la persona y del medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

CODES, STANDARDS, GUIDES AND REFERENCES APPLICABLE

GENERAL DOCUMENTS

REGULATORY

REGULATIONS

10CFR 50 APP-A
10CFR 50 APP-B
10CFR 50-40

GUIDES

RG 1-89
RG 1-100
SRP 3-11

INDUSTRY

IEEE-323-1974
IEEE-627-1980
IEEE-344-1975

OTHER

IE Bulletin 79.01 B
Dor Guide Lines
Nuger o588

SPECIFIC DOCUMENTS

INDUSTRY-IEEE

SUBJECT

REGULATORY GUIDES

535-79	Batteries	—
650-79	Battery chargers/inverters	—
383-74	Cables	1.131
387-77	Diesel generators	—
381-77	Instrumentation modules	—
334-74, 117-74	Motors	1.40
649-60	Motor control centers	—
317-76	Penetrations	1.63
420-73	Switch boards	—
382-80	Valve actuators	1.73*
344-75	(joint IEEE/ASME) Seismic qualification	1.100

* Endorses only the 1972 version.