

CUALIFICACION DE LA INSTRUMENTACION AMBIENTAL NUCLEAR

INSTRUMENTACION

Antonio LUMBRERAS

El diseño de equipo eléctrico para centrales nucleares se ve influenciado por diversos factores, entre los que se puede destacar los requisitos de las Autoridades Licenciarias. Durante los años pasados, las cualificaciones sísmica y ambiental de los equipos eléctricos han sido objeto de fuerte y cuidadosa atención. Más recientemente, el accidente de la Isla de las Tres Millas ha originado el que la NRC haya introducido requisitos adicionales de cualificación.

Merece la pena contemplar el desarrollo histórico del problema de cualificación, identificando los documentos, normas, guías y hechos más notables acaecidos, así como su impacto en el diseño y fabricación de equipos y procedimientos de cualificación.

Westinghouse ha desarrollado un procedimiento o metodología para cualificar equipos y ha puesto en servicio instalaciones para llevar a cabo dicha cualificación. Mediante la descripción de unas pruebas de cualificación se pone de manifiesto dicha metodología.

La cualificación ambiental del equipo eléctrico e instrumentación destinado a las Centrales Nucleares ha sido objeto de atención considerable desde hace ya varios años. Tras el accidente de la Isla de las Tres Millas, la cualificación es objeto de atención muy particular, que se ha traducido primero en el despliegue de esfuerzos notables en el desarrollo de su normativa o metodología y segundo en un aumento del espectro de equipos que necesitan ser cualificados.

Prueba de ello son las normas publicadas y en preparación desarrolladas al amparo y como interpretación de la norma IEEE-323, para la cualificación de determinados componentes. Consideraciones como la de interacción entre equipos Clase IE y no Clase IE, y el desarrollo de los requisitos de la Instrumentación Post Accidente, dan un ejemplo de lo segundo.

Habiéndose entregado todo o la mayor parte de los equipos destinados a las que llamaremos Centrales de la segunda generación, nos encontramos en una fase de fabricación, cualificación y suministro de equipos para las Centrales de la tercera generación. Si en el suministro de equipos fabricados en España para su empleo fuera de contención y destinados al primer grupo de Centrales primaban los conceptos sísmicos de cualificación por encima de otro tipo de condiciones ambientales; conceptos tales como secuencia de pruebas, márgenes, envejecimiento, etc., constituyen la principal fuente de atención para los ingenieros que ahora diseñan los programas de cualificación.

Este artículo pretende presentar unos cuantos conceptos básicos para el desarrollo de un programa de cualificación y, mediante un ejemplo, ilustrar la aplicación práctica de la metodología más moderna de cualificación de la Instrumentación Nuclear.

OBJETIVOS DE CUALIFICACION

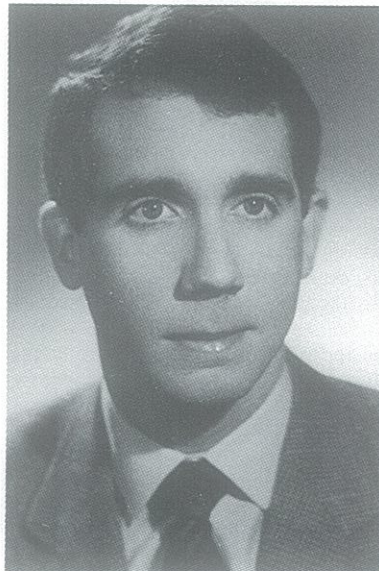
La Seguridad de una Central Nuclear depende del buen funcionamiento de los sistemas y equipos relacionados con la seguridad bajo condiciones de accidente.

El objetivo de la cualificación es la de reducir el riesgo de fallo de modo común, mediante la demostración de que el equipo puede realizar su función de seguridad.

Los mecanismos de fallo de modo común que consideramos son los producidos por:

- Fenómenos naturales como terremotos, huracanes, inundaciones.
- Fenómenos producidos por el hombre: defectos de fabricación, mantenimiento defectuoso, error de manejo, etc.
- Consecuencias de un accidente: radiación, alta temperatura, alta presión, vapor, rociado químico.
- Envejecimiento: térmico, por vibración, etc.

La cualificación ha de demostrar que los equipos pueden realizar con margen su función de seguridad al final de su vida, bajo las condiciones ambientales que puedan darse en caso de accidente, funcionando dentro de sus especificaciones y durante el tiempo requerido. El objetivo de la cualificación no es, por tanto, el de eliminar o reducir los fallos aleatorios que se producen a lo largo de la vida del equipo, y que pueden reducirse mediante técnicas apropiadas de diseño tales como el empleo de sistemas redundantes, sobredimensionamiento de



ANTONIO LUMBRERAS AZANZA es Doctor Ingeniero Industrial y Profesor de Electrónica en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid. Comienza su actividad en el Campo Nuclear en 1975, dentro del Departamento de Instrumentación y Control de Westinghouse Nuclear Española, donde actualmente tiene asignadas responsabilidades en el Campo de la Cualificación de equipo eléctrico.

componentes y, también, mediante programas de mantenimiento preventivo.

EVOLUCION Y DESARROLLO DE LA CUALIFICACION AMBIENTAL DE EQUIPO ELECTRICO E INSTRUMENTACION

Históricamente, el equipo eléctrico relacionado con la seguridad se había diseñado siguiendo criterios conservadores y la cualificación se basaba en el empleo de componentes eléctricos de la mejor calidad de que se disponía y de la prueba de los equipos bajo las condiciones ambientales más duras que se podrían esperar debidas a un Accidente Base de Diseño. La prueba suministraba un alto grado de confianza de la buena actuación de los sistemas de seguridad bajo las condiciones ambientales de accidente. Esta prueba, sin embargo, no puede considerarse como una cualificación de equipo en el sentido que hoy se da a la cualificación, sino más bien como una comprobación o verificación del diseño.

La publicación de las normas IEEE-323-1971 «Standard for Qualifying Class IE Equipment for Nuclear Power Generating Stations» e IEEE-344-1971 «Recommended Practices for Seismic Qualification of Class IE Equipment for Nuclear Power Generating Stations» supuso el primer paso importante en la definición de los requisitos y métodos de cualificación ambiental y sísmica.

La norma IEEE-323-1971 fue la base para juzgar la cualificación de los equipos de las centrales con permiso de construcción dado con posterioridad inmediata a 1971. Aunque todavía no se había publicado una Guía Reguladora, adoptando dicha norma, las centrales la referenciaban en los envíos de documentación a las Autoridades Licenciatarias.

Con la publicación de las normas IEEE-323-1974 e IEEE-344-1975, cuyo cumplimiento fue exigido por la United States Nuclear Regulatory Commission (NRC), vía los correspondientes Guías Reguladoras 1.89 y 1.1000, la cualificación de equipo eléctrico constituye ya un objeto de entidad diferente. Resumidamente, la versión de 1971 de las normas no especificaba las condiciones de accidente que debían cumplir los equipos, no establecían requisitos específicos para el mantenimiento de una documentación auditable y no suministraban requerimientos específicos en cuestiones tales como margen, secuencia y envejecimiento.

T I CAMBIOS EN LOS CRITERIOS DE PRUEBA SISMICA (IEEE-344)

1971	1974
Un solo eje.	Varios ejes.
Batido senoidal.	Multifrecuencial.
No se requiere envejecimiento.	Requiere pre-envejecimiento.
Descripción de pruebas y resultados	Demostración «auditable» en todos los aspectos.

T II CAMBIOS EN LOS CRITERIOS DE PRUEBA AMBIENTAL (IEEE-323)

1971	1974
No se especifica pre-envejecimiento.	El equipo debe estar envejecido antes de la prueba sísmica.
No se identifica la secuencia.	Todas las pruebas deben realizarse en secuencia.
Simulación realista de las condiciones ambientales.	Condiciones ambientales más margen.
Descripción de las pruebas y de los resultados.	Documentación auditable en todos los aspectos.

T III AMBIENTES EN CONDICIONES NORMALES Y ANORMALES DE FUNCIONAMIENTO

	Condiciones normales				Condiciones anormales			
	Rango	Temp. (° F)	H. R. (%)	Pres. (psig.)	Duración	Temp. (° F)	H. R. (%)	Pres. (psig.)
<i>Descripción de la zona</i>								
Contención inaccesible.	Máx.	135	70	+ 0.3	8 h.	150	95	atm
	Mín.	65	20	- 0.1		50	0	atm
Contención accesible.	Máx.	120	70	+ 0.3		120	95	atm
	Mín.	65	20	- 0.1		50	0	atm
<i>Fuera Contención</i>								
Con aire acondicionado:								
Sala Control.	Máx.	80	50	atm	12 h.	120	35	atm
	Mín.	60	30	atm		40	0	atm
Ventilada:								
Edificio Aux.	Máx.	104	70	atm	12 h.	120	36	atm
Edificio Salvaguardia.	Mín.	60	20	atm		40	0	atm
No ventilada:								
Turbina.	Máx.	104	70	atm		120	35	atm
	Mín.	60	20	atm		40	0	atm

T IV DOSIS DE RADIACION ACUMULADA EN 40 AÑOS DE FUNCIONAMIENTO

Dentro de Contención

Lugar	Dosis r (R/hr)	Dosis r en 40 años (R)
Centro de lazo de refrigeración.	820	3.0×10^8
Pared de lazo de refrigeración.	470	1.6×10^8
Exterior del lazo de refrigeración.	165	5.8×10^7
Area General.	50	2.0×10^7
Zona de detectores de flujo neutrónico.	5×10^4	1.8×10^{10}

La dosis de neutrones con energías superiores a 1 Mev es 5×10^{18} n/cm².

Fuerza de Contención

Lugar	Dosis r (R)
Area de penetraciones.	1×10^6
Cubículos de bombas.	1×10^6
Cubículos de tanques de desechos.	1×10^7
Areas generales.	4×10^2

PROCESO DE CUALIFICACION



Las tablas I y II muestran resumidamente las diferencias en los requisitos de de cualificación ambiental y sísmica contenidos en las versiones primitiva y actual de las normas IEEE-323 e IEEE-344.

A partir de la publicación de la norma IEEE-323 ésta se ha desarrollado mediante el alumbramiento de nuevas normas que aplica su filosofía y requisitos en la cualificación de componentes tales como motores, relés, cables, baterías, cargadores de baterías, centros de Control de Motores, etc.

Quiero citar, finalmente, dos documentos de importancia relevante en el campo de la cualificación de equipo eléctrico e instrumentación; son el IE (Inspection and Enforcement) Bulletin 79-01B y el NUREG 0588. Surgen ambos debido a la necesidad de sistematizar el proceso de revisión de la documentación de cualificación, unificar criterios y aclarar conceptos sobre aspectos particulares o requisitos contenidos en las normas de cualificación. El Boletín 79-01B sigue al Boletín 79-01 del primero de febrero de 1979, en el que la NRC solicita a las centrales en operación respuesta por escrito del estado de la cualificación del equipo eléctrico. Ante la respuesta desigual y disparidad de criterios en las evaluaciones, se envía el segundo boletín, en el que se establece un formato para la respuesta, se identifican los sistemas requeridos para mitigar los accidentes de Pérdida del Refrigerante del Reactor (LOCA) y Ruptura de Línea de Alta Energía (HELB) dentro y fuera de contención, incluye el accidente de inmersión de equipos, hasta entonces no contemplado, y suministra las guías (DOR Guidelines), para juzgar si la cualificación es adecuada. Al mismo tiempo solicita la notificación inmediata de las deficiencias

encontradas y justificación para el funcionamiento de los equipos de cualificación defectuosa.

El NUREG 0588 aplica a las Centrales en proceso de licenciamiento y suministra la postura de la NRC respecto a determinados aspectos de la cualificación ambiental, tales como el establecimiento de los parámetros de cualificación para los Accidentes Base de Diseño, Métodos de Cualificación, Márgenes y Envejecimiento. Este documento hace distinción entre las Centrales cuyo equipo está cualificado siguiendo la norma IEEE-323-1974 (Categoría I) y aquellos cuyo equipo está cualificado según la norma IEEE-323-1974 (Categoría II). La comparación de las posturas ante los aspectos antes citados para las centrales de Categoría I y Categoría II lleva a la conclusión de que ambas son marginalmente diferentes.

DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE CUALIFICACION

Un programa de cualificación ambiental requiere, en general, de considerables medios técnicos, económicos y humanos, y supone, a la vez, un reto para los ingenieros e investigadores.

La cualificación de equipo eléctrico e instrumentación ha impulsado el conocimiento de comportamiento de los materiales orgánicos de aislamiento y semiconductores ante los ambientes extremos que pueden darse en caso de accidente, y ha requerido la construcción de instalaciones muy complejas para la simulación de las condiciones ambientales de accidente de la forma más realista posible.

Un programa de cualificación supone también un espacio de tiempo dilatado desde que comienza hasta que acaba, sin perder nunca de vista las normativas y requisitos de cualificación en pleno desarrollo y cambio. Por todos estos motivos, y más que cada uno podría añadir, un programa de cualificación se ha de establecer, desarrollar y documentar con sumo cuidado, de manera que, además de alcanzar sus objetivos, satisfaga a la vez los requisitos de licenciamiento.

El esquema que se muestra en la figura 1 brinda un ejemplo del proceso lógico para desarrollo de un programa de cualificación que responde a las necesidades de aquel que tuviera que establecer un programa para cualificar numerosos tipos de equipos para condiciones ambientales muy diversas. El contenido de cada uno de los bloques de la figura 1 se amplía a continuación:

Clasificación

Lo primero que se ha de definir en el alcance o identificación de los equipos que se tienen que cualificar. Esto no es siempre una tarea sencilla. Se tienen que cualificar los equipos relacionados con la seguridad, esto es, los clasificados

como clase IE más los necesarios para el seguimiento de un accidente.

A la hora de decidir qué equipos tienen que ser cualificados caben diversas interpretaciones condicionadas por factores tales como los tipos de accidente que se postulan, procedimientos de emergencia, paradas caliente y fría, Guía Reguladora 1-97, etc.

Requisitos funcionales

Para cada uno de los equipos identificados dentro del programa de Cualificación es necesario definir cuál es su función de seguridad en condiciones normales, anormales y de accidente. Esto implica el análisis de los diversos escenarios o accidentes que puedan producirse y de los requisitos tales como precisión, rapidez de respuesta y tiempo de operación necesarios en cada caso.

El objetivo primario de la cualificación es el de demostrar la operabilidad eléctrica que se requiera en cada caso para las condiciones normal, anormal y de accidente.

Ambientes

Se han de identificar los parámetros ambientales que corresponden a las condiciones normal, anormal y de accidente. Por lo general los parámetros ambientales suministrados por las ingenierías están calculados de forma conservadora; por otra, para los ambientes que aplican a un mismo equipo y con la misma función de seguridad varían de una central a otra en función de su localización diferente, diseño de los sistemas, protecciones, existencia de aire acondicionado y ventilación clase IE, etcétera.

Parámetros de Cualificación

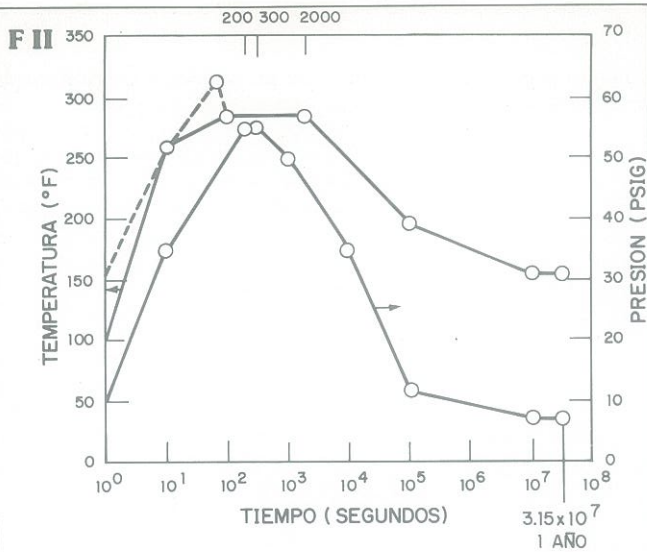
Para cada equipo, los parámetros ambientales de cualificación han de ser los envolventes de todas las condiciones que se produzcan en los diversos lugares de la central o centrales y para los accidentes para los que el equipo tenga una función de seguridad.

Las tablas III, IV y figuras 2, 3, 4 y 5 proporcionan valores típicos y envolventes de las condiciones que pueden producirse en caso de accidente en centrales con reactor de agua ligera a presión.

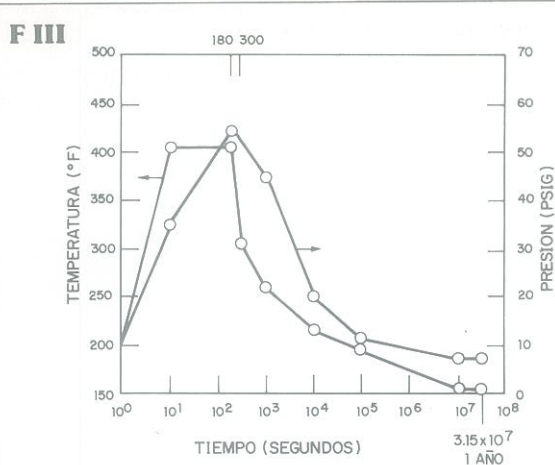
Parámetros de las pruebas

Conocidos los parámetros de cualificación, los parámetros a utilizar durante las pruebas de cualificación se establecen de manera que envuelvan a aquellos con margen.

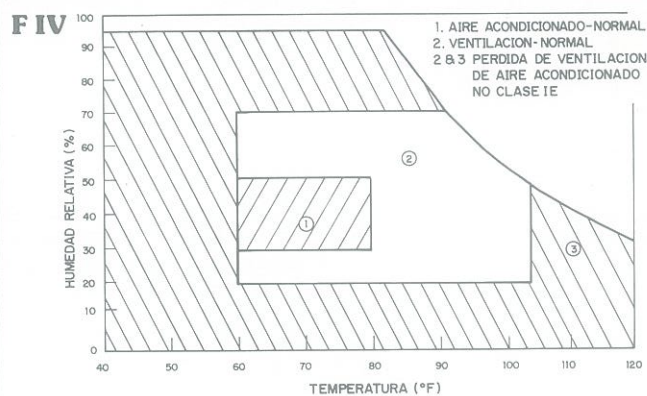
La sección 6.3.1.5 de la norma IEEE-323-1974 recomienda que se aplique un margen a las condiciones más extremas de servicio a la hora de establecer los parámetros de las pruebas. Se requiere este margen para cubrir las variaciones que se producen en la fabricación de los equipos y los errores razonables que se cometen a la definición de los requisitos de funcionamiento.



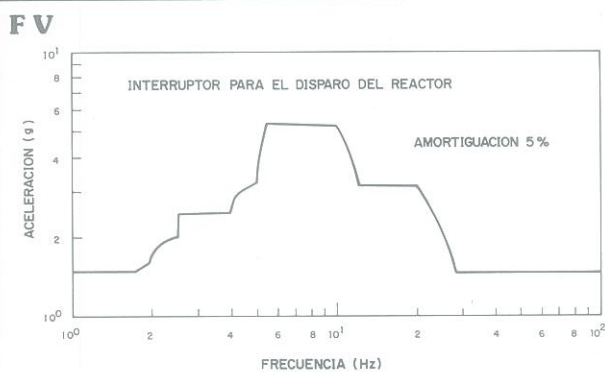
CONDICIONES DE DISEÑO DE CONTENCIÓN
— LOCA —



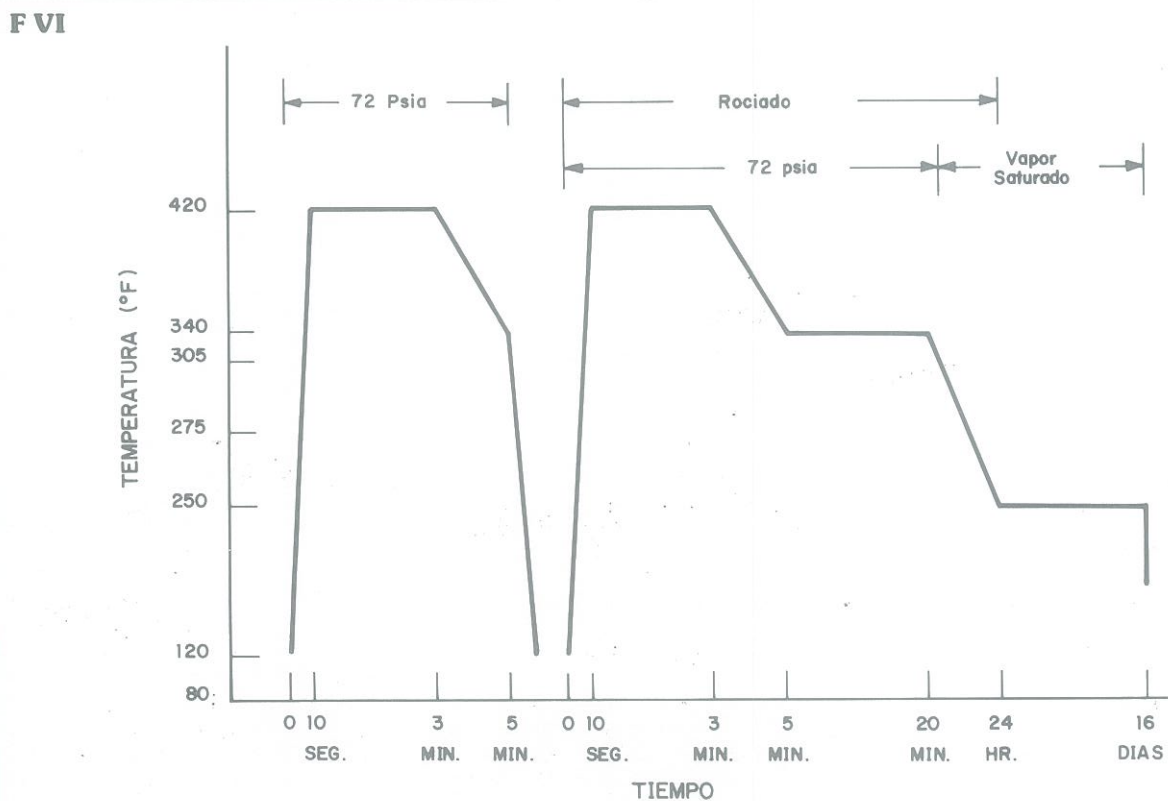
CONDICIONES DE DISEÑO DE CONTENCIÓN
— RUPTURA DE LINEA DE VAPOR PRINCIPAL Y
RUPTURA DE LINEA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN —



TEMPERATURA-HUMEDAD-AMBIENTES EN RECINTOS FUERA DE CONTENCIÓN



ESPECTRO DE RESPUESTA REQUERIDO
PARA EL TERREMOTO DE PARADA SEGURA



Documentación

La sección 8 de la norma IEEE-323-1974 identifica los datos de las pruebas y de los análisis que han de recogerse y archivarse de forma auditable.

Además de lo que se indica en dicha sección, es de suma importancia la generación y mantenimiento de la documentación que acredite que los equipos fabricados con posterioridad al prototipo cualificado son idénticos a aquél. Un documento útil para este propósito es el que vamos a llamar Documento Base de Diseño, cuyo contenido puede ser:

- Suministra un desglose completo del equipo, que comprende desde el plano más general hasta el nivel de componente.
- Identifica los planos con su revisión, los materiales con sus especificaciones y revisiones o código de identificación del fabricante.
- Identifica las especificaciones de proceso que se emplean en la fabricación de equipo.
- Identifica los conjuntos, componentes y procesos críticos, es decir, aquellos cuyo fallo o pérdida de control pudieran ocasionar una pérdida de la función IE.
- Asigna niveles de control y de inspección a cada material.
- Identifica los suministros aceptables para cada pieza de equipos y servicios.

Métodos de cualificación

La norma IEEE-323 identifica los métodos aceptables para cualificar el equipo eléctrico relacionado con la seguridad. Dichos métodos son la prueba de un prototipo, experiencia de funcionamiento, análisis, cualificación en progreso (on-going) o una combinación de los métodos anteriores. La elección del método de cualificación para un equipo en particular depende de varios factores, entre los que se incluye la practicabilidad, complejidad del equipo, coste, pruebas anteriores, etc.

La cualificación por prueba de un prototipo es el método más adecuado, en general, para la cualificación de un equipo complejo y para la cualificación de equipos que tengan que realizar una función de seguridad en un ambiente hostil producido por un accidente de ruptura de línea de alta energía.

La experiencia de funcionamiento no puede emplearse, en general, como método primario o principal para la cualificación. La experiencia de funcionamiento puede aportar una ayuda o soporte a otro procedimiento. Cuando se dispone de dicha información, se ha de demostrar que la experiencia es de directa aplicación a los requisitos funcionales para los que se cualifica el equipo. La discusión de la aplicabilidad incluye la evaluación de las condiciones ambientales de funcionamiento y las características funcionales.

La cualificación por análisis no debe emplearse aisladamente. El análisis se

emplea como complemento de las pruebas o para suministrar la verificación de que los resultados de las pruebas son útiles.

CUALIFICACION DE TRANSMISORES DE PRESION Y PRESION DIFERENCIAL

Antecedentes

Los transmisores de presión y presión diferencial suministran una señal eléctrica proporcional a una diferencia de presión hidráulica. Constan de una unidad sensora de la presión y de una unidad electrónica alojadas en una caja metálica sellada.

Aplicaciones típicas de los transmisores de presión son la medida de presión del presionador y presión de la línea de vapor. Los transmisores de presión diferencial se utilizan generalmente para vigilar los niveles de agua del presionador y generadores de vapor.

Durante y con posterioridad a un Accidente Base de Diseño, los transmisores suministran señales que se necesitan para la actuación de los sistemas de salvaguardia, y para la vigilancia post accidente.

Programa

La cualificación se realizó por medio de pruebas realizadas de acuerdo con las recomendaciones de las normas IEEE-323-1974 y IEEE-344-1975. Se escogieron tres unidades de un mismo lote de cada tipo de transmisor de presión y transmisor de presión diferencial y se sometieron a una prueba en secuencia que consistió en un envejecimiento acelerado térmico, mecánico, radiación normal y de accidente, a una prueba sísmica y, finalmente, a otra de simulación de ruptura de línea de alta energía (HELB).

Envejecimiento

El envejecimiento térmico se realizó sometiendo los transmisores a una temperatura seca de 125° C durante 1.673 horas, que equivalen a diez años de funcionamiento a 40° C. Durante el envejecimiento térmico los transmisores se ciclaron mecánicamente para simular los ciclos en servicio.

Radiación

Los transmisores se irradiaron con una fuente de Cobalto-60 y recibieron una dosis integrada equivalente a la recibida en funcionamiento en condiciones normales más la recibida durante y

después de un accidente de ruptura de línea de alta energía. La dosis de radiación Beta recibida durante y después del accidente se aplicó por medio de la dosis equivalente de Gama, teniendo en cuenta los efectos de apantallamiento.

Seísmo

Los transmisores se montaron en la mesa de prueba de forma idéntica a la que se especifica para montar en la central. La prueba sísmica consistió en la simulación de cinco terremotos base de operación más un terremoto de parada segura en cuatro direcciones ortogonales. El Espectro de Respuesta Requerido que se empleó es la envolvente de los Espectros de Respuesta requeridos de todas las Centrales para las que Westinghouse suministra este equipo. Los terremotos base de operación (OBE) se utilizan para simular el envejecimiento por vibración.

HELB y post HELB

Se expusieron los transmisores a una presión y temperaturas envolventes de varios accidentes de ruptura de línea de alta energía. El rociado de Agua/Vapor contenía ácido bórico (BO_3H_3) con adición de hidróxido sódico HAOH , dando un PH de 10.7. El período de quince días que sigue a la prueba inicial de veinticuatro horas simula cuatro meses de funcionamiento en condiciones de post-accidente, utilizando la Metodología de Averías y estimando una energía de activación de 0.5 eV.

Resultados

Durante las pruebas de Cualificación se encontró que las juntas tenían una energía de activación mucho mayor que los 0.5 eV. asignados al transmisor. Esto originó el que las juntas se vieran sobre envejecidas y resultara en una pérdida de estanqueidad de los transmisores. Las juntas se reemplazaron y fueron envejecidas con una energía de activación apropiada.

Otro problema que se encontró lo fue en un circuito interno del transmisor. El envejecimiento del conector originó una degradación del contacto que provocó un aumento de resistencia y señales erráticas. La soldadura del conector resolvió el problema.

El programa de analización demostró la capacidad del transmisor diferencial de presión para realizar su función de seguridad dentro del precisión y tiempo de respuestas requerido bajo las condiciones de accidente. La figura 6 muestra el perfil de las condiciones de una prueba.