

Tercer Ejercicio. Seguridad Nuclear

Tema 3.A.19

Mantenimiento en centrales nucleares.

Medida de la eficacia del mantenimiento: Regla de mantenimiento.

Introducción

La realización de un mantenimiento efectivo en una central nuclear es esencial para garantizar la seguridad en la explotación de la central. Con el mismo se consiguen dos objetivos fundamentales:

1. Garantizar que la fiabilidad y la eficacia de todas las estructuras, sistemas y componentes (ESCs) de la central importantes para la seguridad siguen adaptándose a las hipótesis de diseño.
2. Garantizar que las características de seguridad de la central no se han visto perjudicadas desde el comienzo de su funcionamiento.

El mantenimiento en centrales nucleares presenta singularidades con respecto al que se lleva a cabo en otras instalaciones industriales convencionales. Entre ellas cabe destacar las siguientes:

- Limitaciones impuestas por la existencia de unos requisitos mínimos de componentes que deben encontrarse operables, incluso cuando la planta se encuentra parada, con objeto de garantizar que se cumplen las funciones críticas de seguridad de la instalación, tanto en operación a potencia como en las diferentes fases de la parada.
- Dificultades para acceder a determinados equipos o componentes de la planta, incluso en parada, por las limitaciones impuestas por la protección radiológica.
- Riesgos radiológicos potenciales para el personal del emplazamiento y del público en general.

El mantenimiento que se realiza sobre ESCs en centrales nucleares, para garantizar que la ESC va a ser capaz de realizar las funciones para las que está prevista, puede dividirse en dos grandes grupos:

- Mantenimiento preventivo: es aquel que se realiza de forma programada y cuyo objetivo es detectar o corregir fallos incipientes, asegurando la capacidad de la ESC para cumplir su función

Ejemplos de este tipo de mantenimiento son cambios de aceite, cambios de filtros, limpieza, sustitución de piezas desgastables, calibración de instrumentos, etc.

- Mantenimiento correctivo: es aquel que tiene por objeto restablecer la capacidad de funcionamiento normal de una ESC mediante operaciones consistentes en la sustitución o reparación de elementos defectuosos.

Este tipo de mantenimiento no es programado y se plantea su realización cuando se observan deficiencias o fallos durante el funcionamiento del equipo, correspondiendo por tanto a situaciones emergentes de operación.

La extensión y frecuencia del mantenimiento preventivo puede verse afectada por la utilización de métodos de mantenimiento predictivo. Estos métodos se basan en la vigilancia de una serie de parámetros cuidadosamente seleccionados, indicativos de la funcionalidad de un equipo, y en un análisis de evolución de esos parámetros.

Un ejemplo de lo anterior es el establecimiento de la frecuencia de los cambios de aceite de equipos basándose en la medida de parámetros de los aceites por toma de muestras.

Las actividades de mantenimiento están íntimamente relacionadas con la realización de pruebas funcionales y de comportamiento de sistemas y componentes, así como con las vigilancias e inspecciones en servicio de los mismos: tras la realización de actividades de mantenimiento se realizan pruebas para verificar la funcionalidad de los equipos tras la ejecución del mantenimiento, y por otra parte, durante la realización de pruebas se detectan fallos que evidencian la necesidad de realizar algún tipo de mantenimiento correctivo.

En centrales nucleares, por la importancia para la seguridad de las tareas de mantenimiento, es necesario que éstas se incluyan dentro del programa de Garantía de Calidad establecido en la central.

El desarrollo del tema se va a centrar en los siguientes puntos principales:

- Definiciones
- Programas de mantenimiento en centrales nucleares
- Organización y responsabilidades para el mantenimiento
- Controles administrativos
- Regla de mantenimiento

1. Definiciones

A continuación se recogen las definiciones de la Guía de Seguridad 1.18 para una serie de conceptos relacionados con la exposición del tema:

- **Mantenimiento:** conjunto de funciones requeridas para preservar o restaurar la seguridad, fiabilidad y disponibilidad de estructuras, sistemas y componentes de planta. El mantenimiento incluye no solamente las actividades tradicionalmente asociadas con la identificación y corrección de las condiciones reales o potencialmente degradadas, esto es, reparación, vigilancia, diagnosis y medidas preventivas, sino que se extiende a todas las funciones soporte necesarias para llevar a cabo esas funciones.
- **Actividades de mantenimiento:** todas las actividades asociadas con la planificación, programación, ejecución, realización de pruebas post-mantenimiento y de retorno a servicio durante pruebas y mantenimiento preventivo y correctivo. Estas actividades son consideradas como mantenimiento independientemente de la organización que realiza la actividad (mantenimiento, operación, contratistas, etc)
- **Mantenimiento preventivo:** acciones de mantenimiento planificadas, periódicas y predictivas que son tomadas previamente a que la ESC falle, para mantener a la ESC dentro de las condiciones de operación previstas, controlando la degradación o el fallo.
- **Mantenimiento correctivo:** actuaciones que tienen como objetivo reestablecer la capacidad funcional de una ESC, que son realizadas ante situaciones emergentes de operación, en las que se observan deficiencias o fallos funcionales en la ESC.
- **Comportamiento:** cuando se utiliza en el contexto de establecimiento de criterios y la vigilancia de su cumplimiento incluirá la disponibilidad y la fiabilidad y/o la condición, según convenga. Ambos criterios, disponibilidad y fiabilidad deberían ser empleados con la mayor extensión posible, puesto que con ellos se asegura que el comportamiento está siendo vigilado. En las estructuras es más apropiado vigilar la condición que la fiabilidad o la disponibilidad. La vigilancia de componentes individuales (aquellos que tengan un comportamiento inaceptable) cuando se establecen objetivos, puede incluir la vigilancia de la condición. La vigilancia de la condición en cuanto a componentes supone la vigilancia y análisis de vibraciones, caudal, temperaturas y otros parámetros similares.
- **Disponibilidad:** tiempo que una ESC es capaz de realizar su función. Frecuentemente es empleado su complemento numérico, la indisponibilidad. Puede también expresarse como una fracción del tiempo total en el que puede requerirse a la ESC que realice su función.
- **Fiabilidad:** es una medida de la expectativa (asumiendo que la ESC está disponible) de que la ESC realizará su función cuando se demande en cualquier momento futuro.
- **Condición:** parámetro de comportamiento específico de un tren, componente o sistema que es capaz de indicar la funcionalidad,

operabilidad o comportamiento del equipo (por ejemplo, espesor de pared, vibración, ductilidad, fugas, resistencia eléctrica, etc).

2. Programas de mantenimiento en centrales nucleares.

El titular de una central nuclear debe preparar un programa de mantenimiento para todas las ESCs importantes para la seguridad de la instalación, incluso antes de iniciarse la operación comercial de la misma. Este programa deberá estar disponible para el organismo regulador en caso de ser requerido.

El programa debe cubrir todas las medidas correctivas y preventivas, tanto a nivel técnico como administrativo, necesarias para realizar las actividades de mantenimiento de forma satisfactoria.

El tipo de actividades cubierto serán: puesta en servicio, reparación y sustitución de piezas, pruebas, calibraciones, inspecciones (incluyendo las inspecciones en servicio), ensayos, etc.

La responsabilidad en el establecimiento de unos programas de mantenimiento correctivo y preventivo que garanticen que se van a cumplir los comportamientos previstos en el diseño a lo largo de toda la vida operacional de la planta recae en el titular de la instalación. Sin embargo, la ejecución de los programas suele distribuirse en distintos departamentos de la central, normalmente el Departamento de Mantenimiento en estrecha colaboración con el grupo de operación, el cuál debe ser en última instancia el que autorice los trabajos en función de las condiciones operativas de la central.

El desarrollo del programa de mantenimiento debe iniciarse en la etapa de diseño de la central. Las exigencias de mantenimiento deben tenerse en cuenta en la fase final de diseño y construcción, en las que debe contarse con la necesidad de realizar mantenimiento en los equipos y estructuras diseñadas, lo que puede condicionar el diseño y la construcción.

Durante la fase de construcción, y como muy tarde antes de la fase de licenciamiento de la instalación, debe haberse constituido ya un grupo de mantenimiento en el emplazamiento.

El programa de mantenimiento de la instalación debe constituir una programación detallada en la que se incluirán todas las actividades de mantenimiento preventivo, indicando las ESCs a las que aplica y la periodicidad de las actividades, que deben incluir todas las ESCs importantes para la seguridad.

La identificación de ESCs importantes para la seguridad se realizará en base a documentos de proyecto, especificaciones, estudios de seguridad y requisitos reguladores. Esta identificación deberá ser revisada y sometida a procesos de garantía de calidad de forma que se garantice que todas las ESCs importantes para la seguridad están incluidas dentro del programa.

La frecuencia y extensión del mantenimiento preventivo sobre ESCs significativos para la seguridad han de ser adecuados para asegurar que la fiabilidad se mantiene de acuerdo con las hipótesis de diseño y que no se ve afectada la seguridad de la planta por una disminución de su fiabilidad.

En la determinación de la frecuencia se tendrán en cuenta las recomendaciones de fabricantes y suministradores, la experiencia de operación, las probabilidades de fallo y el mantenimiento de dosis ALARA.

Por otra parte, la frecuencia de mantenimiento preventivo debe optimizarse en dos sentidos. En primer lugar debe asegurarse la fiabilidad con un grado de confianza alto pero sin provocar desgastes por pruebas y mantenimientos excesivos, y por otra parte, debe optimizarse el balance fiabilidad/disponibilidad: no tiene sentido conseguir una alta fiabilidad de equipos a costa de un elevado tiempo de indisponibilidad de los mismos para la ejecución de mantenimiento.

Las actividades de mantenimiento deben planificarse en el contexto general de la gestión de la planta, por lo que el grupo de mantenimiento ha de trabajar siempre en estrecha relación con el resto de grupos que gestionan el funcionamiento de la central. En la mayoría de las centrales es habitual la existencia de una Oficina Técnica de Mantenimiento (OTM) encargada de la planificación y gestión de las actividades de mantenimiento en coordinación con el resto de departamentos de la central, principalmente el departamento de mantenimiento y el grupo de operación.

La existencia de la OTM es de especial relevancia por el gran número de componentes existentes en una central nuclear que precisan trabajos de mantenimiento lo que exige una cuidadosa planificación de recursos, especialmente durante las paradas de recarga de combustible, periodos en los que se acumulan un elevado número de trabajos que no pueden ser realizados durante la operación a potencia de la central.

3. Organización y responsabilidades relativas al mantenimiento

La dirección de la central es la encargada de establecer un grupo de mantenimiento en el emplazamiento encargado de ejecutar el plan de mantenimiento. La estructura jerárquica variará en función de los criterios de la entidad explotadora, aunque en la mayoría de las centrales suelen darse organigramas funcionales comunes a todas las organizaciones:

- El grupo de mantenimiento se divide en secciones o departamentos que cubren las áreas mecánica, eléctrica e instrumentación y control.
- Al frente de cada departamento/sección se sitúa un jefe de sección
- Un jefe de mantenimiento coordina las diferentes secciones o departamentos

- La estructura jerárquica por debajo de los jefes de departamento/sección es variable siendo habitual la existencia de supervisores en las diferentes áreas de la sección.
- Integración en la estructura de mantenimiento de recursos humanos procedentes del exterior del emplazamiento en función de las necesidades, ya sea por problemas concretos o específicos, por ejemplo para la realización de trabajos de alta especialización, o como apoyo en situaciones con carga de trabajo elevada, como son por ejemplo las operaciones de recarga.

Las responsabilidades y funciones del personal integrado dentro de la estructura orgánica y grupo de mantenimiento deben quedar claramente establecidas por escrito.

En relación con la selección y capacitación del personal es necesario que el personal de mantenimiento, tanto de plantilla como externo, tenga, además de los conocimientos técnicos y experiencia propios de su especialidad, conocimiento de la importancia para la seguridad de las tareas que desempeña y de las potenciales consecuencias de sus errores. Por ello, todo el personal implicado en actividades de mantenimiento debe recibir la adecuada formación en protección radiológica y seguridad nuclear.

Adicionalmente, ciertas especiales requieren una capacitación especial para la realización de los trabajos, como es por ejemplo la realización de soldaduras.

4. Controles administrativos. Procedimientos de mantenimiento

La existencia de **controles administrativos** es esencial para conseguir el objetivo de un mantenimiento eficaz. Normalmente se establecen mediante procedimientos administrativos escritos que han de ser seguidos durante la ejecución de los trabajos.

Es responsabilidad de la dirección de la central el establecimiento de los controles administrativos necesarios.

En el desarrollo de documentos aplicables para la realización de actividades de mantenimiento han de tenerse en cuenta los controles administrativos e instrucciones siguientes:

- Deben elaborarse procedimientos técnicos detallados para la ejecución de los trabajos de mantenimiento, tanto preventivos como correctivos.
- Debe establecerse un sistema de control y revisión periódica de los procedimientos técnicos.
- Debe establecerse un sistema para la generación y autorización de órdenes de trabajo (OTs) para la realización de actividades concretas de mantenimiento. Se prepararán hojas de descargos asociadas a las OTs que

así lo requieran, en las que se detallen las actividades a realizar y los componentes a manipular durante los trabajos

- Se establecerán las responsabilidades correspondientes para la elaboración de las OTs y hojas de descargos, así como para la concesión de los descargos y levantamiento de los mismos.
- Se especificarán pruebas funcionales adecuadas para verificar que los equipos han quedado funcionalmente operativos tras la ejecución de un descargo.
- Se establecerán permisos de trabajo con equipo aislado o en presencia de radiaciones ionizantes cuando sea necesario.
- Se tendrán en cuenta las actividades con riesgos de incendio y todos los controles de seguridad industrial
- Se establecerán medidas para la vigilancia radiológica del personal de mantenimiento
- Se realizará un control de materiales y herramientas utilizadas durante los trabajos
- Se establecerán controles de repuestos en almacén
- Se generarán y mantendrán registros de los trabajos de mantenimiento.

Los **procedimientos o gamas de mantenimiento**, en las que se recogen las instrucciones para la ejecución de los trabajos, normalmente son preparadas por el grupo de mantenimiento empleando la documentación de los fabricantes y suministradores de los equipos, y en colaboración con el personal de Operación, Garantía de Calidad y Protección Radiológica.

Deben contener los siguientes puntos:

- a) Identificación de la instrucción: normalmente es un código de letras y/o números
- b) Título: descripción concisa
- c) Finalidad: objetivo de la tarea
- d) Requisitos previos: de la central, del equipo o del sistema
- e) Condiciones limitativas: de funcionamiento de la central; parada, potencia, recarga, etc.
- f) Precauciones especiales: de PR, control de materiales, eliminación de partes sueltas, etc.

- g) Herramientas, repuestos y equipos necesarios para la ejecución del trabajo
- h) Referencias
- i) Texto de la instrucción: lista de etapas sucesivas de las operaciones detalladas necesarias para realizar la tarea
- j) Puntos de observación con fines de inspección: por parte de un verificador independientes para el control de calidad
- k) Reintegración al servicio: medidas para devolver el equipo a su funcionamiento normal
- l) Ensayos de funcionamiento: pruebas para comprobar la funcionalidad de los equipos afectados por los trabajos realizados

5. Regla de Mantenimiento

La Regla de Mantenimiento (RM) es una normativa informada por el riesgo cuyo objetivo es monitorizar la efectividad del mantenimiento en centrales nucleares, de forma que se asegure que las ESCs relacionadas con la seguridad, y algunas no relacionadas con la seguridad pero con funciones de mitigación de accidentes o significativas para el seguimiento de los Procedimientos de Operación de Emergencia (POEs), cumplen las funciones que les están encomendadas, y que se minimizan los fallos de equipos de no seguridad que conducen a disparo del reactor (SCRAM) o a actuaciones no deseadas de sistemas de seguridad o fallos de dichos sistemas de seguridad.

El origen de la Regla de Mantenimiento se encuentra en la normativa americana y está recogida en el 10CFR50.65 "*Requisitos para monitorizar la efectividad del mantenimiento en centrales nucleares*". Fue el primer requisito regulador informado en el riesgo y basado en el comportamiento.

Sus objetivos son los siguientes:

1. Vigilar la efectividad del mantenimiento mediante el seguimiento del comportamiento de ESCs y el equilibrio entre la fiabilidad y la disponibilidad.
2. Tomar acciones correctoras cuando no es adecuado el comportamiento de las ESCs, vigilando la efectividad de estas acciones mediante el cumplimiento con unos objetivos prefijados.
3. Vigilar el impacto sobre la seguridad de la puesta fuera de servicio de ESCs para mantenimiento.

Por mantenimiento para la RM se entiende el conjunto de funciones requeridas para preservar o restaurar la seguridad, fiabilidad y disponibilidad de los ESCs.

Es importante destacar que la normativa Regla de Mantenimiento no impone requisitos específicos en relación con los programas de mantenimiento de los titulares de las centrales. Es una normativa basada en el comportamiento de las ESCs. Su objetivo es verificar que el mantenimiento que se realiza sobre las ESCs es eficaz, y que como consecuencia el comportamiento de los equipos es el correcto. En caso de se produzcan deficiencias en el programa de mantenimiento con impacto en la seguridad de la instalación, éstas se reflejarán en un comportamiento degradado de los equipos sujetos a ese programa, y serán detectadas por la vigilancia establecida con la Regla de Mantenimiento. Lo que sí impone la RM es que se tomen medidas para corregir las deficiencias detectadas, adaptando o mejorando el programa de mantenimiento, de forma que el comportamiento de los equipos sea aceptable desde el punto de vista de seguridad.

5.1. Desarrollo de la RM en EEUU y su implantación en España. Guías que la desarrollan

La regla de mantenimiento surge en Estados Unidos como una preocupación de la NRC por la necesidad de disponer de una normativa específica relativa al mantenimiento en centrales nucleares, al haber comprobado la relación existente clara entre un mantenimiento eficaz y la seguridad de la central.

El 10 de julio de 1991 la NRC publica el 10CFR50.65 con los requisitos iniciales de la nueva norma. Como respuesta, la industria americana en mayo de 1993 publica la NUMARC 93-01 “Guía de la industria para la vigilancia de la efectividad del mantenimiento en centrales nucleares”.

En junio de 1993 la NRC publica la guía reguladora 1.160 aceptando la NUMARC 93-01 como una directriz válida para cumplir con la normativa RM, entrando la norma plenamente en vigor en julio de 1996.

En febrero de 2000 se añade un nuevo apartado (a)(4) de la norma, desglosándolo del anterior apartado (a)(3). En mayo de 2000 se edita el capítulo 11 de la NUMARC 93-01 para recoger los requerimientos del nuevo apartado (a)(4). La NRC ese mismo año edita la guía reguladora 1.182 endorsando el capítulo 11 de la NUMARC.

En España, en octubre de 1993 el CSN pidió a las centrales nucleares españolas el cumplimiento con el 10CFR50.65 y la R.G 1.160, compromiso que las centrales españolas aceptaron creando un grupo de trabajo con el objetivo de estudiar la implantación de la normativa RM en España. El resultado del grupo fue la elaboración de una metodología genérica para su implantación y seguimiento, que fue consensuada con el CSN.

Durante los años 1996 a 1998 se llevó a cabo en España un plan de Verificación y Validación de la RM, hasta que finalmente el 1 de abril de

1999 se incluyó como requisito en el permiso de explotación provisional de las centrales.

La Regla de Mantenimiento en España tiene las mismas características generales que en Estados Unidos con ciertas particularidades específicas de la implantación de la RM en nuestro país derivadas del plan de Verificación y Validación y con algunos requisitos adicionales impuestos por el CSN.

En el año 2007 el CSN ha emitido la instrucción de consejo IS. 1.15 de 31 de octubre de 2007, sobre requisitos para la vigilancia de la eficacia del mantenimiento en centrales nucleares y la Guía de Seguridad 1.18 “Medida de la Eficacia del mantenimiento en centrales nucleares”, en las que se recogen los requisitos de la Regla de Mantenimiento americana (10CFR50.65), matizados para la aplicación en las centrales españolas y con la experiencia de varios años de implantación de la norma en nuestras centrales.

Por tanto, actualmente la instrucción 1.15 constituye la normativa de referencia en las centrales nucleares españolas y la guía de seguridad 1.18 una guía considerada por el CSN como directriz adecuada para cumplir con los requisitos de la norma.

5.2. Requisitos de la Regla de Mantenimiento

Los requisitos que impone la norma son los siguientes:

Requisito (a)(1): se debe vigilar el comportamiento o condición de los ESCs dentro del alcance de la norma comparándolos con objetivos prefijados, de forma que se garantice que los ESCs son capaces de cumplir las funciones por las que se incluyen dentro de la RM.

Los objetivos deben ser definidos de acuerdo con la importancia para la seguridad de las ESCs, teniendo en cuenta, cuando estén disponibles, las hipótesis y los resultados de los APS.

Se deben tomar acciones correctoras cuando las ESCs no cumplen los objetivos establecidos

Requisito (a)(2): no es necesario establecer la vigilancia especial requerida en el punto anterior cuando el comportamiento o condición de las ESCs está siendo controlado a través de un mantenimiento preventivo adecuado

Requisito (a)(3): exige que la planificación y ejecución del mantenimiento de ESCs tanto para las que están en (a)(1) como para las que están en (a)(2) sean evaluados en términos de fiabilidad y disponibilidad asegurando un balance entre ellos, es decir entre el objetivo de evitar fallos y el de minimizar las indisponibilidades

Requisito (a)(4): antes de realizar actividades de mantenimiento (incluyendo pero no limitándose a actividades de vigilancia, pruebas post-mantenimiento, mantenimiento preventivo y correctivo) se debe evaluar y gestionar el incremento de riesgo resultante de las actividades de mantenimiento propuestas. El alcance de las evaluaciones puede limitarse a aquellas ESC que en un proceso de evaluación informado por el riesgo hayan sido consideradas como importantes para la seguridad y la salud pública.

La evaluación a realizar podrá ser cuantitativa, cualitativa, o una mezcla de ambas,

5.3. Metodología de cumplimiento con la Regla de Mantenimiento

En la implantación y seguimiento de la RM se diferencian, de forma resumida, las siguientes tareas:

1. Definición de ESCs dentro del alcance de la RM
2. Determinación de la significación para el riesgo de ESCs
3. Establecimiento de criterios de comportamiento
4. Evaluación del comportamiento de las ESC frente a los criterios de comportamiento. Categorización (a)(1), (a)(2).
5. Cumplimiento con el apartado a)(4)
6. Requisitos de documentación

En la figura 1 se recoge un diagrama de flujo simplificado para el cumplimiento con la RM

En los párrafos siguientes se resume brevemente cada una de las tareas a realizar dentro de la RM

5.3.1. Definición de ESCs dentro del alcance de la RM

El punto de partida para decidir qué equipos, sistemas o componentes han de incluirse dentro del alcance de la RM son todos los sistemas de la planta. Deberán incluirse dentro del alcance los siguientes ESCs:

- a) ESCs relacionados con la seguridad: identificados en el Estudio Final de Seguridad, documentos de proyecto, etc.
- b) ESCs no relacionados con la seguridad pero que responden afirmativamente a cualquiera de las siguientes preguntas:
 - ¿Mitigan accidentes o transitorios?

- ¿Son utilizados en los procedimientos de operación de emergencia?
- ¿Su fallo podría impedir que un ESC relacionado con la seguridad cumpliera su función?
- ¿Podrían causar un disparo de planta o la actuación indebida de un sistema de seguridad?

El resultado de esta primera etapa es un listado de ESCs que han de ser vigilados por la RM

5.3.2. Determinación de la significación para el riesgo de ESCs

Una vez seleccionadas las ESCs incluidos dentro del alcance es necesario seguir un proceso para determinar los sistemas y/o funciones de las ESCs consideradas como significativas para el riesgo (SR)

Para este proceso se constituye el denominado “Panel de expertos de la RM” de la central, grupo de trabajo que estará constituido por representantes de los diferentes departamentos de la central. Este panel debe realizar valoraciones de las funciones de los sistemas y ESCs en alcance de la RM frente a las diferentes funciones críticas de seguridad (FCS) en los diferentes modos de operación de la central (control de inventario, control de reactividad, suministro eléctrico, integridad de contención, suministro eléctrico, evacuación de calor residual, etc), decidiendo qué sistemas y/o funciones son más importantes para la seguridad, mediante un proceso de juicio de expertos.

Como dato de partida básico para este proceso se emplean medidas de importancia de los sucesos básicos de la ecuación final de daño al núcleo del APS. La Guía 1.18 y la NUMARC 93-01 recomiendan las siguientes medidas de importancia para la determinación de la significación para el riesgo de ESCs:

- Valor de Reducción del Riesgo (Risk Reduction Worth): una ESC será considerada como significativa para el riesgo si la reducción en la frecuencia de daño al núcleo es al menos del 0,5%, es decir, la medida de importancia es mayor de 1,005.
- Valor de Incremento del Riesgo (Risk Achievement Worth): una ESC será considerada como significativa para el riesgo si el aumento en la frecuencia de daño al núcleo supera un factor de 2.0.
- Contribución a la FDN: una ESC será considerada como significativa para el riesgo si alguno de los sucesos básicos de fallo asociados a dicha ESC está incluido en alguno de los conjuntos mínimos de fallo que, ordenados de forma decreciente, contribuyen en un 90% a la frecuencia total de daño al núcleo.

El resultado final de esta etapa es la obtención de un conjunto de ESCs dentro del alcance de la RM, algunos de ellos estimados como significativos para el riesgo y otros no.

5.3.3. Establecimiento de criterios de comportamiento

De acuerdo con la significación para el riesgo estimada en el punto anterior se deben establecer unos denominados “criterios de comportamiento”, considerados como aceptables para el sistema o componentes, y que serán indicativos de la bondad del comportamiento.

La asignación de criterios de comportamiento a las ESC dentro del alcance de la RM es necesaria para establecer unos valores frente a los que evaluar el comportamiento de las ESC, y en definitiva comprobar la eficacia de las actividades de mantenimiento que se realizan sobre ellas. Los criterios se establecen, por tanto, para proporcionar una base para determinar que el comportamiento es satisfactorio, o por el contrario, evidenciar la necesidad de focalizar los recursos de la central en una mejora del mantenimiento que conduzca a un mejor comportamiento de las ESCs.

Los parámetros que pueden ser utilizados como criterios de comportamiento son los siguientes:

- Disponibilidad: en términos de horas de indisponibilidad
- Fiabilidad: en términos de fallos funcionales
- Condición del sistema/estructura
- Comportamiento a nivel de planta: disparos del reactor, bajadas de carga no programadas y actuaciones indebidas de sistemas de seguridad.

En la tabla siguiente se reflejan los parámetros de vigilancia que se deben establecer para los distintos tipos de ESC incluidos dentro del alcance de la Regla de Mantenimiento.

Categoría	Nivel de vigilancia	Criterio de comportamiento
ESC significativas para el riesgo	Tramo/tren, función	Fiabilidad e indisponibilidad

ESC no significativas para el riesgo en espera	Tramo/tren, función	Fiabilidad, indisponibilidad o condición.
Estructuras	Estructura	Condición
Resto de ESC en alcance	Planta	Criterios a nivel de planta

La definición cuantitativa de los criterios de comportamiento ha de ser tal que éstos sean adecuados para vigilar el comportamiento correcto de los ESCs pero con el suficiente margen de flexibilidad como para no disparar alarmas innecesariamente.

Tanto para establecer cuantitativamente los criterios de fiabilidad como los de disponibilidad, el APS es una herramienta muy útil. Adicionalmente, en todos los casos ha de tenerse en cuenta la experiencia histórica de fallos e indisponibilidades de los ESCs de la planta, así como las tasas de fallo genéricas de cada tipo de componente.

5.3.4. Evaluación del comportamiento de las ESC frente a los criterios de comportamiento. Categorización (a)(1), (a)(2).

Una vez definido el alcance de ESCs dentro de la RM, y establecida la significación para el riesgo y los criterios de comportamiento aplicables en cada caso, el siguiente paso es la evaluación del comportamiento de dichas ESCs frente a los criterios de comportamiento citados, con objeto de realizar una medida de la eficacia del mantenimiento.

Para ello, se debe analizar el comportamiento de las ESC, contabilizando fallos funcionales e indisponibilidades, o sucesos a nivel de planta según aplique, y contrastar los datos de comportamiento frente a los criterios de comportamiento establecidos.

Los datos históricos (fallos, indisponibilidades, actuaciones a nivel de planta) son contabilizados en ventana rodante, normalmente para periodos de un ciclo de operación, ya que en la mayoría de los casos los criterios de comportamiento se establecen por ese periodo de tiempo, es decir nº de fallos funcionales/ciclo u horas de indisponibilidad/ciclo admisibles.

Las ESCs permanecerán en categorización (a)(2) cuando se demuestre que su comportamiento está siendo controlado de manera efectiva mediante un programa de mantenimiento preventivo, de forma que son capaces de realizar su función, es decir no se han sobrepasado los criterios de comportamiento establecidos.

Si por el contrario, las ESC no cumplen con el criterio de comportamiento establecido, se debe realizar un análisis de determinación de causa, que determine si la causa del mal comportamiento es debida a mantenimiento.

El análisis de determinación de causa debe identificar la causa básica del fallo o comportamiento inaceptable, y como consecuencia del análisis el titular debe tomar la decisión de pasar la ESC a la categoría (a)(1) o dejar que permanezca en (a)(2).

Si el titular decide pasar la ESC a (a)(1) esto implica que tiene que definir un programa de vigilancia de la ESC, junto con el establecimiento de unas acciones correctoras y objetivos, orientados a la causa del problema, comprobando la eficacia de las acciones correctoras.

Si el comportamiento inaceptable es debido a otras causas diferentes de mantenimiento, la ESC puede permanecer en (a)(2) si no existe ninguna deficiencia del programa de mantenimiento preventivo del titular que se refleje en el comportamiento inadecuado de la ESC.

La vigilancia establecida para una ESC en la categoría (a)(1) puede ser eliminada, y como consecuencia se debe proceder al paso a (a)(2) de dicha ESC, cuando se satisfaga cualquiera de los criterios siguientes:

- El comportamiento de la ESC es aceptable por tres periodos de vigilancia, cuando dicho periodo sea menor o igual a 6 meses.
- El comportamiento de la ESC es aceptable para dos vigilancias sucesivas cuando la periodicidad de dichas vigilancias es mayor de 6 meses, pero no mayor de 2 ciclos.
- Una evaluación técnica documentada y aprobada asegure que la causa es conocida y está corregida, lo que hace innecesario la continuidad de la vigilancia.

5.3.5. Cumplimiento con el apartado a)(4)

El apartado (a)(4) de la RM requiere que antes de realizar actividades de mantenimiento se debe evaluar y gestionar el incremento de riesgo resultante de las actividades de mantenimiento propuestas. El alcance de las evaluaciones puede limitarse a aquellas ESC que en un proceso de evaluación informado por el riesgo hayan sido consideradas como importantes para la seguridad y la salud pública.

El objeto de este requisito es garantizar que la ejecución de las actividades de mantenimiento, necesarias para conseguir el adecuado nivel de fiabilidad de las ESCs imprescindibles para la seguridad, se gestionan adecuadamente sin colocar a la planta en situaciones de riesgo elevado como consecuencia de las indisponibilidades debidas a los trabajos de mantenimiento.

Este requisito es aplicable tanto para situaciones de operación a potencia, en que se dejan fuera de servicio para la realización de mantenimiento ESCs requeridos operables por las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETFs) (mantenimiento on-line) o importantes para la seguridad de la central, como en situación de recarga, condiciones en las que tradicionalmente se realiza la gran mayoría de las actividades de mantenimiento sobre equipos de seguridad que no son requeridos operables pero en las que todavía existe un riesgo en la instalación.

Si los trabajos de mantenimiento son realizados sin un adecuado control y sin realizar consideraciones del incremento de riesgo, los márgenes de seguridad pueden verse reducidos durante la realización del mantenimiento. Por ello, las actividades de mantenimiento deben ser cuidadosamente gestionadas para minimizar el impacto de las mismas en la seguridad, disponibilidad y fiabilidad.

Por “evaluación del riesgo” se entiende la utilización de un proceso informado por el riesgo, normalmente el APS, para evaluar la contribución global al riesgo de las actividades de mantenimiento propuestas.

Por “gestión del riesgo” se entiende proporcionar al personal de planta el adecuado conocimiento del riesgo que entrañan las actividades de mantenimiento propuestas y tomar las acciones necesarias para controlar el riesgo.

Alcance de las evaluaciones

a) Condiciones de operación a potencia: no todas las ESC incluidas dentro del alcance de la RM deben incluirse dentro del alcance de las evaluaciones requeridas por el (a)(4) de la RM. El alcance de las evaluaciones previas a la puesta fuera de servicio de ESC puede limitarse a:

- ESC incluidas en el alcance del APS nivel 1 de sucesos internos, pudiendo excluir las que se pueda demostrar que son de muy baja significación para el riesgo.
- ESC, adicionales a los del punto anterior, que han sido definidas dentro de la RM como significativas para el riesgo

Si la central dispone de un APS de nivel 2, el alcance de las evaluaciones del (a)(4) puede, opcionalmente, incluir el APS de nivel 2. En cualquier caso, aunque no se emplee el APS nivel 2 en las evaluaciones directamente de forma cuantitativa, las ESC importantes para el comportamiento de la contención deben estar incluidas dentro del alcance de las evaluaciones del (a)(4) si han sido consideradas como significativas para el riesgo

b) Condiciones de parada: se incluirán en el alcance de las evaluaciones las ESCs necesarias para soportar las siguientes funciones críticas de seguridad en parada.

- Capacidad de evacuación de calor residual.
- Control de inventario.
- Disponibilidad de suministro eléctrico.
- Control de reactividad.
- Contención (primaria/secundaria).

Metodología de las evaluaciones

a) Condiciones de operación a potencia: en general, el requisito de realizar evaluaciones se limita a situaciones en que se vayan a dejar fuera de servicio más de una ESC simultáneamente, ya que se asume que el control de riesgo por la puesta fuera de servicio de una única ESC está cubierta adecuadamente por las ETFs.

Las evaluaciones pueden realizarse empleando metodologías cuantitativas, cualitativas o una mezcla de ambas.

- Evaluaciones cuantitativas: empleando un método o herramienta que considere resultados cuantitativos del APS, utilizando un monitor de riesgo, una matriz o una lista de configuraciones derivada de análisis con el APS.
- Evaluaciones cualitativas: mediante una aproximación cualitativa que considere el impacto de las actividades de mantenimiento en las funciones críticas de seguridad. En operación a potencia las FCS son aquellas que aseguran la integridad de la barrera de presión del refrigerante, aseguran la capacidad de parada y mantenimiento del reactor en situación de parada segura, y aseguran la capacidad de evitar o mitigar las consecuencias de los accidentes que pudieran resultar en exposiciones al exterior significativas.

b) Condiciones de parada: al igual que en operación a potencia se pueden realizar evaluaciones cuantitativas de incremento de riesgo si la central dispone de un APS en otros modos de operación distintos a operación a potencia o evaluaciones cualitativas frente a las funciones críticas de seguridad en parada

Gestión del riesgo. Umbrales

Las evaluaciones proporcionan información acerca de la significación para el riesgo de las actividades de mantenimiento. El proceso de gestión del

riesgo supone la utilización de los resultados de las evaluaciones de riesgo en la toma de decisiones, y en el control del impacto en el riesgo global de la instalación. Esto se consigue mediante una cuidadosa planificación, programación, coordinación, monitorización y ajuste de las actividades de mantenimiento.

El objetivo de la gestión de riesgo es controlar los incrementos de riesgo puntuales, temporales y acumulados ocasionados por las actividades de mantenimiento, de tal forma que el valor medio de riesgo base se mantenga en unos rangos mínimos.

Las acciones más importantes de gestión del riesgo son planificar y secuenciar las actividades de mantenimiento teniendo en cuenta la información obtenida de las evaluaciones previas. Además de lo anterior, se pueden tomar medidas de gestión de riesgo adicionales que tengan el efecto de reducir el incremento temporal de riesgo.

Los umbrales para requerir acciones de gestión del riesgo pueden establecerse en base a consideraciones cualitativas, cuantitativas, o una mezcla de aproximaciones que emplee información cualitativa y cuantitativa.

- a) Umbrales basados en consideraciones cualitativas: se basan en el cumplimiento con las FCS o la capacidad de mitigación remanentes dada la puesta fuera de servicio de ESC. Son normalmente necesarios en el caso de ESC que no están dentro del alcance del APS y en el caso de evaluaciones en parada.
- b) Umbrales basados en consideraciones cuantitativas: considerando el valor de incremento de la frecuencia de daño al núcleo (y/o frecuencia de liberaciones grandes y tempranas) para la configuración de mantenimiento. A este parámetro se le denomina incremento de FDN (IFDN) o incremento de FGLT (IFGLT).

El IFDN se calcula como la diferencia entre la frecuencia de daño al núcleo específica de la configuración de mantenimiento y la FDN base del APS (o la FDN supuesto mantenimiento 0).

La FDN específica de la configuración de mantenimiento se estima asumiendo en los modelos del APS base valor 1 para las indisponibilidades de las ESC puestas fuera de servicio. Puede también considerarse en el cálculo el modelo de mantenimiento 0, es decir todos los sucesos básicos de indisponibilidad por mantenimiento del APS puestos a 0, excepto los de las ESC fuera de servicio a los que se asigna el valor 1. Esta última posibilidad refleja más adecuadamente la configuración de la planta durante la realización de las actividades de mantenimiento.

A la hora de definir los umbrales que determinarán las acciones de gestión de riesgo a realizar, es necesario considerar también la duración de las actividades. Para ello se define el parámetro de incremento de probabilidad de daño al núcleo (IPDN), o incremento de probabilidad de liberaciones grandes y tempranas (IPGLT), que se calcula multiplicando el IFDN (o IFGLT) por la duración de la configuración.

Los umbrales establecidos para definir acciones de gestión son los siguientes:

- Se debe evitar la entrada voluntaria en configuraciones de mantenimiento cuya FDN específica sea superior a $1E-3$, y en caso de que se produzca una configuración de este tipo debido a condiciones emergentes establecer las acciones necesarias para eliminar esa configuración en el plazo de tiempo más corto posible.
- IPDN e IPGLT asociados a una configuración de mantenimiento se considerarán de la siguiente forma para el establecimiento de acciones de gestión de riesgo.

IPDN		IPGLT
$> 1E-5$	Configuración en la que no debe entrarse voluntariamente	$> 1E-6$
$1E-6 - 1E-5$	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluar factores no cuantificables - Establecer acciones de gestión de riesgo 	$1E-7 - 1E-6$
$< 1E-6$	Controles normales	$< 1E-7$

5.3.6. Requisitos de documentación

Tras la fase inicial de implantación de la Regla de Mantenimiento en la central, el cumplimiento con la norma constituye un proceso continuo por parte del titular, mediante la recogida y análisis de datos de fallos e indisponibilidades, realización de análisis de determinación de causa, toma de acciones correctoras, establecimiento de objetivos, reclasificación de sistemas en (a)(1)/(a)(2), evaluaciones de acuerdo con el apartado (a)(4), etc. Es decir, se trata de un proceso continuo de evaluación de la eficacia del mantenimiento.

Este proceso queda recogido en documentación interna de los titulares, normalmente en forma de informes trimestrales. Sin embargo, en la instrucción 1.15 del CSN se recoge el requisito de elaborar un informe de evaluación del cumplimiento con la RM por ciclo de operación, que ha de estar concluido en un plazo máximo de 6 meses tras la finalización del ciclo y que es enviado al CSN. Adicionalmente, en los informes mensuales de explotación que los titulares remiten al CSN en su apartado 4 relativo a mantenimiento, se resumen los sistemas en situación (a)(1) y los principales picos de riesgo acaecidos en la central como consecuencia de la puesta fuera de servicio de ESCs para mantenimiento.

En el informe de ciclo de la RM debe quedar recogida la siguiente información:

- Alcance, revisiones al mismo.
- Importancia para la seguridad en operación a potencia y en parada. Revisiones, si procede.
- Actividades destacables del panel de expertos.
- Criterios de comportamiento.
- Evaluación del comportamiento frente a los criterios de comportamiento. Histórico de ciclo de FF e indisponibilidades, ventanas rodantes.
- ESC en (a)(1): Criterio sobrepasado, acciones correctoras y objetivos.
- ESC en (a)(2): Cuando se han sobrepasados los criterios de comportamiento, evaluación resumida.
- Paso de (a)(2) a (a)(1) y de (a)(1) a (a)(2), fechas.
- Fallos funcionales evitables por mantenimiento repetitivos (FFEMR) durante el ciclo. Tratamiento dado a los mismos.
- Balance fiabilidad/disponibilidad.
- Estructuras.
- Histórico del cumplimiento con el apartado (a)(4).
- Modificaciones en el programa de cumplimiento con la Instrucción (cambios al alcance, significación para el riesgo, criterios de comportamiento etc.).

Conclusiones

La seguridad en la explotación de una central nuclear está en gran medida influenciada por la realización de un mantenimiento eficaz de las estructuras, sistemas y componentes que constituyen la instalación, y en especial de todas aquellas que están relacionadas directa o indirectamente con la seguridad.

El mantenimiento que se realiza en una central nuclear, y en general en cualquier instalación industrial, puede diferenciarse en dos grandes grupos: mantenimiento preventivo, el cuál se realiza de forma programada con el objetivo de evitar que los componentes fallen o se degraden, y mantenimiento correctivo el cuál tiene como objetivo de restablecer la capacidad funcional de los componentes en caso de que durante condiciones emergentes de operación se observen deficiencias o fallos en el funcionamiento de los mismos.

A lo largo del tema se han desarrollado las principales directrices que deben cumplir los programas de mantenimiento en centrales nucleares en explotación, la organización y las responsabilidades relativas al mantenimiento, así como los controles administrativos y los procedimientos que deben establecerse y desarrollarse para conseguir el objetivo de un mantenimiento eficaz, sin poner en peligro la seguridad de la instalación, ni provocar una disminución significativa de los márgenes de seguridad de la misma durante la ejecución de los trabajos.

Asimismo, los controles administrativos deben establecerse no sólo para preservar la seguridad de la instalación, sino también para garantizar la seguridad de los trabajadores implicados en las actividades de mantenimiento. Las condiciones de trabajo existentes en una central nuclear pueden diferir de forma considerable de las existentes en otras instalaciones industriales en las que se realicen trabajos de mantenimiento sobre componentes similares a los existentes en una central nuclear. En este sentido es importante destacar las medidas de protección radiológica y las relacionadas con trabajos con elementos a presión.

Como normativa relacionada con la medida de la eficacia del mantenimiento en centrales nucleares se han expuesto las líneas generales de la Regla de Mantenimiento, y sus directrices para la implantación y seguimiento de la norma. Esta norma constituye actualmente el marco en el cuál el CSN evalúa y controla la eficacia del mantenimiento que se lleva a cabo en las centrales nucleares españolas, así como los incrementos de riesgo asociados a la realización de actividades de mantenimiento en su más amplio espectro, y las medidas de gestión del riesgo adoptada para mitigar las posibles condiciones de riesgo.

Referencias

- Ref. 1 IAEA Safety Series Nº 50-SG-07. "*Maintenance of Nuclear power plants*". Rev. 1
- Ref. 2 IAEA Safety Series Nº 50-SG-08. "*Surveillance of Items Important to Safety in Nuclear power plants*". Rev. 1
- Ref. 3 INPO 90-008. "*Maintenance Program in the Nuclear Power Industry*"
- Ref. 4 IAEA Safety Reports Series Nº 42. "*Safety Culture in the Maintenance o Nuclear Power Plants*".
- Ref. 5 IAEA Safety Standars Series Nº NS-G-2.6. "*Maintenance, Surveillance and In-Service Inspection in Nuclear Power Plants*"
- Ref. 4 Instrucción del Consejo 1.15 del 31 de octubre de 2007 sobre requisitos para la vigilancia de la eficacia del mantenimiento en centrales nucleares.
- Ref. 5 Guía de Seguridad 1.18 "Medida de la Eficacia del Mantenimiento en Centrales Nucleares
- Ref. 6 10CFR50.65. "*Requirements for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants*".
- Ref. 7 NUMARC 93-01. "*Industry Guideline for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants*". Rev. 2.
- Ref. 8 NUMARC 93-01, Section 11. "*Assessment of Risk Resulting from Performance of Maintenance Activities.*". Rev. 3, 2-22-2000.
- Ref. 9 RG 1.160 "*Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants*" June 1993.
- Ref. 10 RG 1.182. "*Assessing and Managing Risk Before Maintenance Activities at Nuclear Power Plant*". May. 2000-06-28.
- Ref. 9 Procedimiento del CSN PT.IV.209.- *Efectividad del mantenimiento*
- Ref. 10 Procedimiento del CSN PT.IV.211.- *Evaluaciones de riesgo de actividades de mantenimiento y control de trabajo emergente.*
- Ref. 11 Procedimiento del CSN PT.IV.307. *Proceso de determinación de la significación para las evaluaciones de riesgo de actividades de mantenimiento y control del trabajo emergente.*
- Ref. 12 NUREG-1648, "*Lessons Learned from Maintenance Rule Implementation*".

Relación con otros temas de la oposición

Este tema se encuadra dentro del marco de la Seguridad Nuclear por lo que todos los conceptos básicos relacionados con la seguridad nuclear están relacionados con el tema expuesto. Sin embargo, por sus características puede considerarse como un tema muy específico y por ello relativamente independiente del resto de temas del temario. Entre los temas que puede considerarse que presentan una relación algo más directa con lo expuesto en el presente tema se indican los siguientes:

Primer ejercicio. Parte C: Seguridad Nuclear

Tema 1: Principios básicos: Defensa en profundidad, responsabilidad del Titular, cultura de seguridad, eficacia reguladora e información al público.

Tema 2: Riesgo y Seguridad Nuclear. Principios de mitigación del daño: Seguridad intrínseca mediante sistemas y mediante procedimientos. Principios de reducción de la frecuencia del daño: Redundancia, diversidad y separación. Métodos de evaluación y análisis.

Tema 14: Análisis probabilista de seguridad.

(Por su relación con la implantación de la Regla de Mantenimiento y con las evaluaciones de incremento de riesgo asociado a las actividades de mantenimiento)

Tercer ejercicio. Seguridad Nuclear

Tema 26: Conceptos de fiabilidad y disponibilidad. Función de tasa de fallos. Fallos en espera y en demanda. Distribuciones típicas de la función de densidad de probabilidad de fallos.

(Por su relación con los fallos e indisponibilidades a contabilizar en la RM y con el establecimiento de criterios de comportamiento)

Tema 31: Aplicaciones de los análisis de seguridad. Regulación informada por el riesgo. Especificaciones Técnicas de Funcionamiento.

(La Regla de Mantenimiento es una regulación informada por el riesgo)

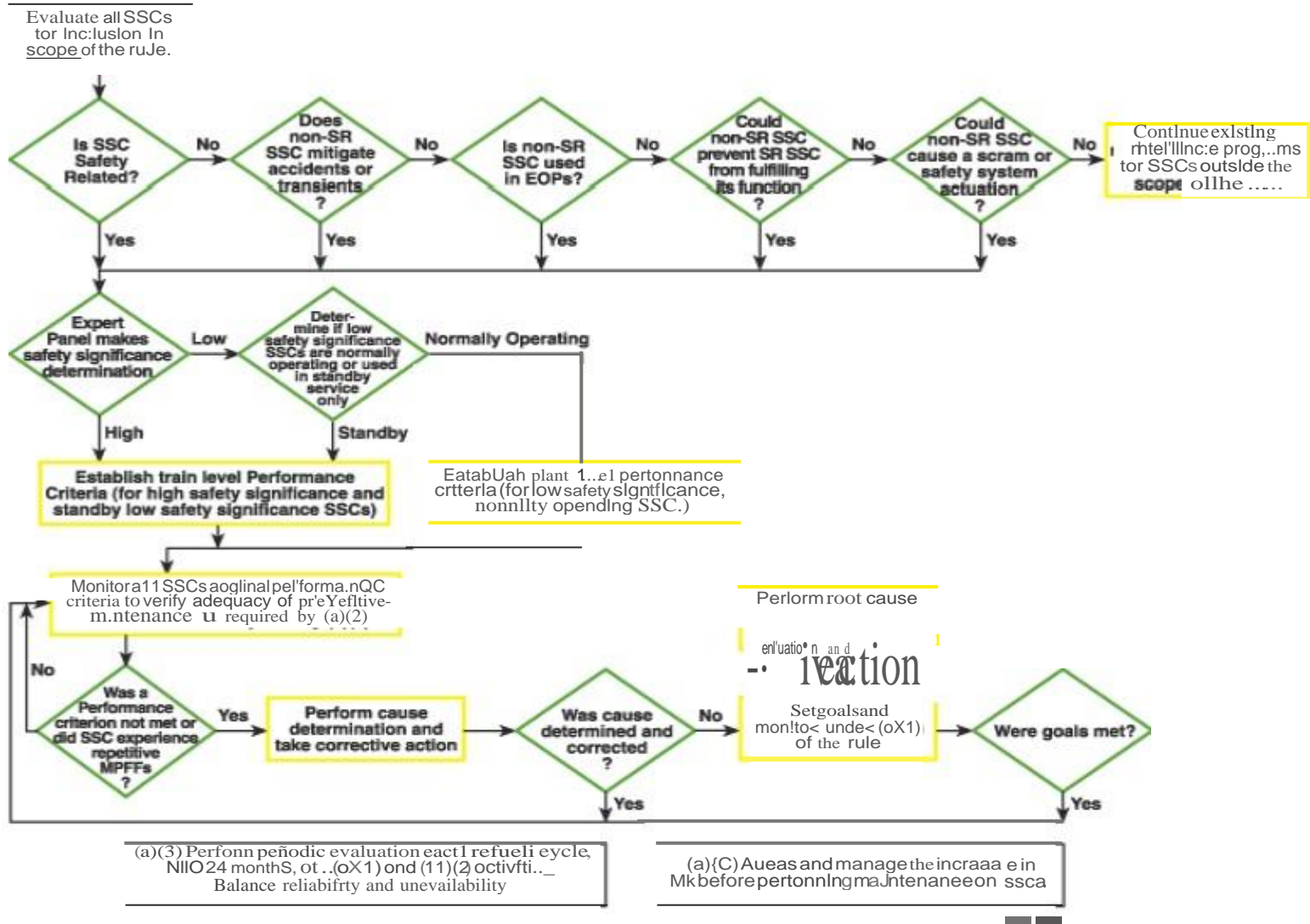
FIGURAS

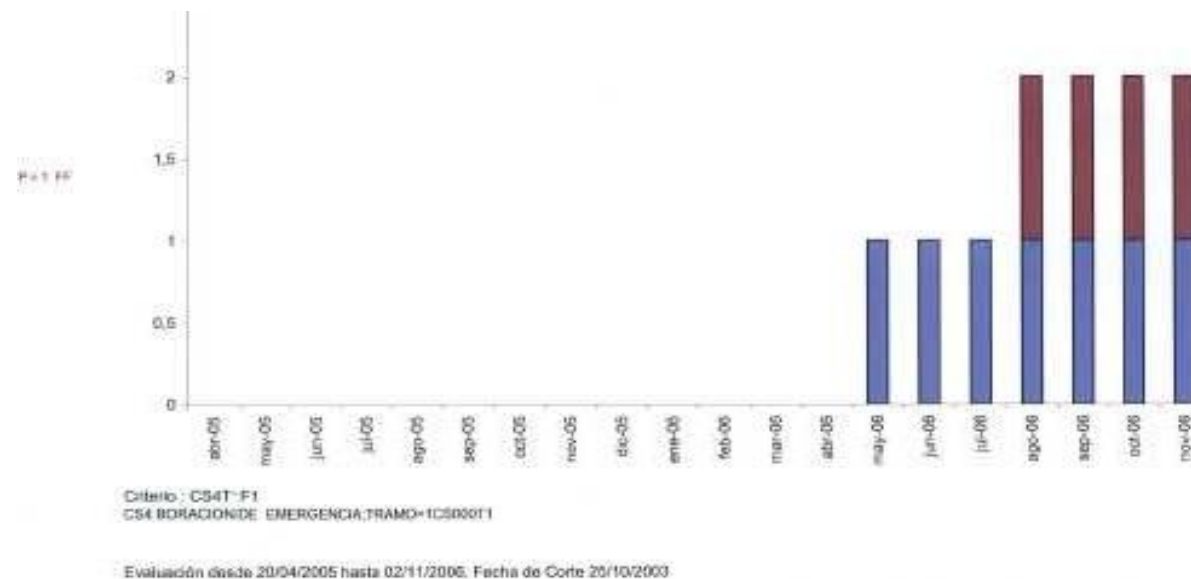
Figura 1: Diagrama de flujo de la Regla de Mantenimiento

Figura 2: Ejemplo de ventana rodante, con superación de criterio de comportamiento, de seguimiento de la RM

Figura 3: Ejemplo de perfil de riesgo durante un ciclo de operación por la realización de actividades de mantenimiento durante operación a potencia.

SIMPLIFIED MAINTENANCE RULE FLOWCHART





UNIDAD DE SUCCESO ORDEN DE TRABAJO	SISTEMA N° PROGRESIÓN / COMPONENTE	F.SUCCESO F.INI. INDI F.FIN INDI HORAS INDI	DESCRIPCIÓN DEL SUCESO
ALI ALI-06-10012 170145	CS 3 SISTEMA DE CONTROL QUIMICO Y VOLUMETRICO CS1-0110A VLY RETEN. DESCARGA BOMBA TRANSF. ACIDO BORICO I	30/05/2006 12:45 30/05/2006 12:45 01/06/2006 18:00 53:44:15	NO AHRE COMPLETAMENTE NO DA CAUDAL SUFICIENTE.
ALI ALI-06-10011 63787	CS 1 SISTEMA DE CONTROL QUIMICO Y VOLUMETRICO CM1-0301A-2H CA BOM TRANSFERENCIA ACIDO BORICO I CSCA0001A-M	01/06/2006 11:30 01/06/2006 11:30 02/06/2006 14:40 27:44:10	NO REPARA EL 36 INTERRUPTOR, NO ACTUAN CONTACTORES MARCHA LENTA Y RAPIDA

Figura 2: Ejemplo de ventana rodante, con superación de criterio de comportamiento, de seguimiento de la RM

Figura 3: Ejemplo de perfil de riesgo durante un ciclo de operación por la realización de actividades de mantenimiento durante operación a potencia

