

Aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad a la Central Nuclear de Embalse

Antonio Torres Valle¹, Manuel Perdomo Ojeda¹, Damian Fornero², Roberto Corcuera²

¹Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Cuba
Ave. Salvador Allende, esq. Luaces, Plaza, Ciudad de La Habana, Cuba

²Central Nuclear Embalse, Nucleoeléctrica Argentina S.A., Argentina
atorres@instec.cu, mperdomo@instec.cu, dfornero@na-sa.com.ar

Resumen

Entre las más recientes aplicaciones del Análisis Probabilista de Seguridad de la Central Nuclear de Embalse está el Programa de Mantenimiento Orientado a la Seguridad, el cual se ha desarrollado a través de la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Esta aplicación se ha realizado de manera cooperada entre el personal del departamento de seguridad nuclear de la central y especialistas cubanos del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. Hasta la fecha se han analizado seis sistemas tecnológicos, obteniéndose importantes resultados relacionados con la optimización del programa de mantenimiento preventivo y predictivo aplicado actualmente a dichos sistemas. Algunas tareas de la metodología se han automatizado a través del código MOSEG. Los resultados del estudio se enfocan a la redacción o modificación del contenido de las Planillas de Inspección, priorización de repuestos, reorientación de técnicas de diagnóstico y modificación de frecuencias y de duración de la ejecución de las acciones de mantenimiento.

APPLICATION OF REALIBILITY CENTERED MAINTENANCE TO EMBALSE NPP

Abstract

One of the most recent applications of Probabilistic Safety Analysis to Embalse NPP is the Safety Oriented Maintenance Program developed through the Realibility Centered Maintenance (RCM) methodology. Such an application was carried out by a cooperated effort between the staff of nuclear safety department of NPP and experts from Higher Institute of Technologies and Applied Sciences of Cuba. So far 6 technological systems have been analyzed with important results regarding the optimization of preventive and predictive maintenance program of those systems. Some RCM tasks were automated using the MOSEG code. The results of this study were focused on the elaboration and modification of the Preventive Program, prioritization of stocks, reorientation of predictive techniques and modification in the time parameters of maintenance.

Key words: *reliability, safety analysis, reactor maintenance, probabilistic estimation, embalse reactor, m codes, regional cooperation*

Introducción

El Análisis Probabilista de Seguridad (APS) de alta potencia de la Central Nuclear de Embalse (CNE) fue ejecutado durante el período 1997-2003 por un equipo multidisciplinario y con cooperación internacional (Rumania, Cuba). Los resultados de este APS se aplicaron para mejorar el diseño de algunos sistemas y para modificar y completar la documentación de planta (Manuales de Operación y Procedimientos Operacionales de Emergencia). También se modificaron Procedimientos Operacionales de Emergencia relacionados con los principales contribuyentes detectados durante el análisis.

A partir del año 2006 se comenzó a trabajar en una aplicación del APS de CNE destinada a optimizar el mantenimiento de la instalación, la cual está incluida en el Programa de Mantenimiento Orientado a la Seguridad de CNE y consiste en la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad [1] (RCM- en inglés) a varios sistemas de la instalación.

El desarrollo del RCM para los primeros seis sistemas tecnológicos analizados en CNE muestra un importante impacto de esta aplicación sobre la política de mantenimiento preventivo y predictivo, actualmente aplicada a ellos. Los resultados se enfocan a la redacción o modificación de Planillas de Inspección, priorización de repuestos, reorientación de técnicas de diagnóstico y modificación de frecuencias y de duración de las acciones de mantenimiento, lo que redundó en un importante ahorro de horas hombre destinadas a este frente.

Materiales y Métodos

El RCM está reconocido como una evaluación sistemática para identificar las acciones de mantenimiento aplicables (desde el punto de vista técnico) y efectivas (por su impacto económico), para desarrollar u optimizar el programa de mantenimiento. Consisten en la utilización de técnicas de monitoreo a condición, búsqueda de fallos y monitoreo por tiempo, que se aplican en ese orden progresivo para buscar los métodos menos invasivos sobre el estado técnico de los componentes objeto del mantenimiento.

La metodología de RCM parte de determinar los equipos críticos de la instalación, basado en los resultados del APS, la aplicación de técnicas de análisis de causa de fallo, a partir de la consulta de los registros de planta, y de la implementación de una

política de mantenimiento enfocada en la confiabilidad, dirigida a corregir las causas de fallo de los equipos críticos. La optimización se logra priorizando esfuerzos sobre la base de la aplicación del Principio de Pareto en profundidad, y dentro de diversos niveles de análisis de contribuyentes a la seguridad de la instalación e indisponibilidad de los sistemas. La aplicación del mantenimiento correctivo nunca se descarta y queda como opción para los equipos críticos en caso de fallos, y como política preferente de mantenimiento para los componentes con bajo efecto sobre la seguridad de la instalación y la indisponibilidad de los sistemas.

La aplicación de la metodología de RCM en CNE consta de las siguientes etapas:

- 1- Selección de sistemas críticos.
- 2- Análisis de criticidad y determinación previa de acciones de mantenimiento recomendadas.
- 3- Revisión de la historia operacional.
- 4- Diseño de la política de mantenimiento a aplicar.

Resultados y Discusión

Selección de sistemas críticos

Para la determinar los sistemas críticos se siguió el algoritmo mostrado en la figura 1.



Figura 1. Algoritmo de determinación de componentes críticos para el RCM partiendo del APS.

Los porcentajes mostrados corresponden al acumulado de la medida Fussell-Vesely (FV). La medida FV es la contribución individual de los componentes al riesgo global de la instalación. De esta forma, se detectaron los sistemas de explotación normal cuyas fallas originaban eventos iniciadores y progresaban, en secuencias accidentales con aportes importantes al

riesgo de daño al núcleo del reactor, así como los sistemas facilitadores (sistemas frontales y soportes) cuyos fallos, de manera similar, estaban incluidos en estas secuencias. Constituyen facilitadores los componentes de los sistemas de seguridad y apoyo a esta, cuya ocurrencia completa las secuencias accidentales o sea, aparecen a nivel de los cabeceros de los árboles de eventos. Esta etapa del estudio permite identificar los sistemas a los que se debe prestar atención especial

en un análisis detallado ulterior, el cual se describe a continuación.

Como criterio adicional para esta selección se priorizó el estudio de sistemas con gran cantidad de mantenimientos preventivos planificados (PIs).

Los análisis según este criterio [3] se aprecian en el histograma de la figura 2.

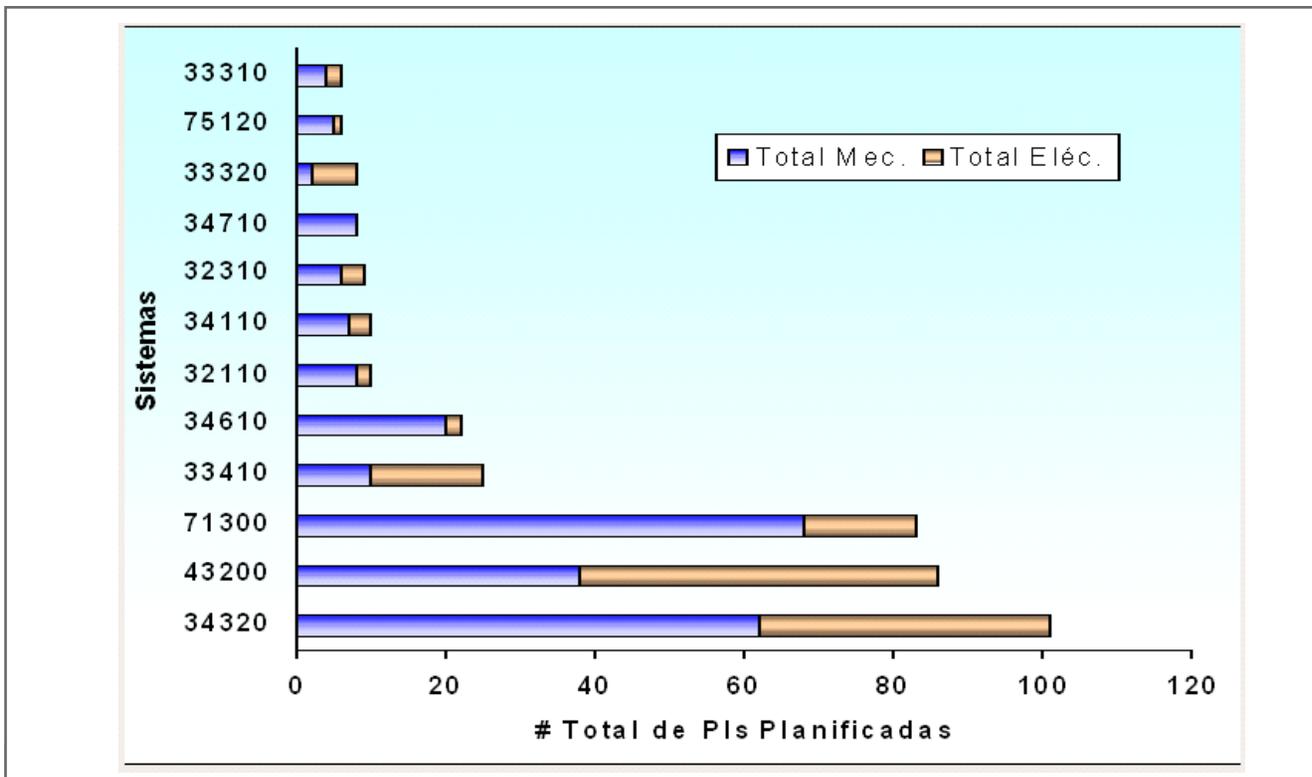


Figura 2. Mantenimientos planificados por sistemas tecnológicos.

Para el análisis inicial [3] se seleccionaron los sistemas más contribuyentes:

- 1- Sistema de agua de alimentación 43200 (SAA).
- 2- Sistema de agua de proceso 71300 (SAP).
- 3- Sistema de enfriamiento de emergencia del núcleo 34320 (SEEN).
- 4- Sistema de agua de emergencia 34610 (SAE).
- 5- Sistema de enfriamiento de parada 33410 (SEP).
- 6- Sistema del moderador 32110 (SM).

Análisis de criticidad y determinación previa de acciones de mantenimiento

El desarrollo de esta etapa se centró en los sistemas críticos identificados en la primera fase del RCM.

Para ello se requirió del cumplimiento de los siguientes pasos:

- Elaboración de esquemas simplificados.
- Modelación del esquema y bases de datos.
- Aplicación de sistema automatizado para determinar criticidad y las acciones de mantenimientos recomendadas.

Para elaborar los esquemas simplificados se respetaron un grupo de consideraciones generales entre las que se destacan, partir del escenario más conservador para el trabajo del sistema, incluir la mayor cantidad de componentes en el análisis y excluir los sistemas de apoyo. Asimismo, en la modelación

se consideraron los datos genéricos de componentes utilizados en el APS, eliminar los errores humanos y las indisponibilidades por mantenimiento, respetar los criterios de exclusión por derivación considerados en los modelos de APS y tener en cuenta solo un modo de fallo por componente.

Finalmente se utilizó el sistema automatizado MOSEG Win Ver. 1.0 [2] para los análisis de los mo-

delos, obteniéndose para cada uno de los sistemas analizados los componentes críticos por su contribución a la indisponibilidad del sistema y las acciones de mantenimientos recomendadas para los de alta y mediana criticidad. Una muestra de este resultado intermedio para el sistema 71300 se presenta en la tabla 1 [3].

Tabla 1. Resultado automatizado de priorización para RCM de sistema 71300

No.	Código Alfanumérico	F-V	Crit.	Tareas	Qmed.	Mon.Cond	MT [hrs]	BF [hrs]
1	PM-S@ 71312-PM3.S	3,09E-01	Alta	MC,MT,BF	1,07E-3	AV,CH,TG	4,78E+01	4,78E+01
2	MV-O@ 71313-MV3.C	2,92E-01	Alta	MC,MT,BF	1,01E-3	AV,EA,EX	5,28E+01	5,28E+01
3	SV-O@ 67131-SV3.O	2,92E-01	Alta	MC,MT,BF	1,01E-3	AV,EA,EX	5,28E+01	5,28E+01
4	SV-D@ 67131-SV2.D	2,69E-01	Alta	MC,MT	9,97E-5	AV,EA,EX	1,00E+05	
5	SV-D@ 67131-SV1.D	2,69E-01	Alta	MC,MT	9,97E-5	AV,EA,EX	1,00E+05	
6	PM-R@ 71312-PM2.R	2,15E-01	Alta	MC	7,97E-5	AV,CH,TG		
7	PM-R@ 71312-PM1.R	2,15E-01	Alta	MC	7,97E-5	AV,CH,TG		
8	PM/5-R@ 71312-PM3.R	2,27E-02	Media	MC	7,97E-5	AV,CH,TG		
9	VC-O@ 7113-VC129.O	5,90E-03	Baja		2,07E-5			

Los componentes más importantes para este caso son las bombas (PM) y válvulas motorizadas (MV), así como las válvulas solenoides (SV), mientras que las válvulas de retención o cheque (VC) se clasificaron en una menor categoría. Como se aprecia el sistema ordena contribuyentes por su impacto en la indisponibilidad del sistema (ver medida F-V) [2], los clasifica por su criticidad (Alta [FV mayor o igual a 0,1], Media [FV entre 0,01 y 0,1] y Baja [FV menor de 0,01]) y recomienda las tareas aplicables, así como las técnicas de monitoreo a condición (Mon. Cond) y tiempos para las tareas de búsqueda de fallos (BF[hrs]) y monitoreo por tiempo (MT[hrs]), todo ello partiendo de un enfoque sistémico [2].

Para identificar los tipos de tareas y las técnicas de monitoreo aplicables se estableció un sistema de

códigos, convenientemente documentado en el manual de usuario y en la ayuda disponible del sistema MOSEG [1, 2].

Revisión de la historia operacional

Para la revisión de la historia operacional se estudiaron los informes de deficiencias (ID) de los componentes críticos del sistema, considerando que el análisis de la historia operacional se realiza con carácter conservador, compensando así la mala calidad de la documentación. Además se tuvo en cuenta la experiencia de los mantenedores de los equipos.

Bajo estos criterios se obtuvieron histogramas de contribución de fallos de equipos a nivel de sistemas y también, perfiles de contribución por causas de fallos en los mantenimientos de los componentes. Un

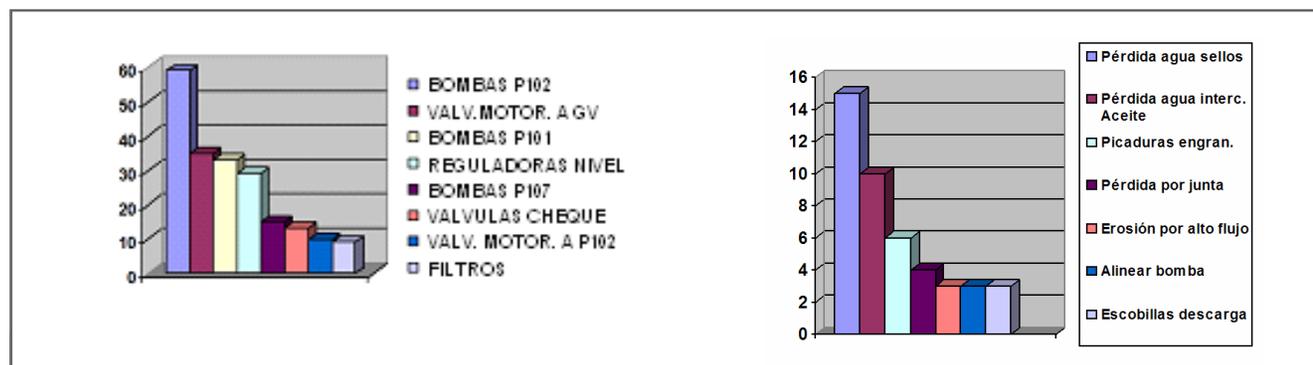


Figura 3. Histograma de contribución de fallos de equipos y perfil de contribución por causas de fallo.

ejemplo de estos análisis para el sistema 43200 se aprecia en la figura 3 [3].

Se observa que el histograma de contribución de fallos de equipos a nivel de sistemas no es un indicador adecuado para el estudio de la disponibilidad del sistema, ya que los fallos individuales pueden no conducir a fallo del mismo, por lo que esta gráfica es solo orientativa para el análisis. En la tabla 1 se tuvo en cuenta la garantía del enfoque sistémico. Más útiles para redireccionar las intervenciones de mantenimiento sobre los equipos son las gráficas de ordenamiento en base a la contribución por causa.

Diseño de la política de mantenimiento a aplicar

Finalmente la política de mantenimiento [2] a aplicar para cada sistema es el resultado del análisis de criticidad y las técnicas de mantenimiento recomendadas, así como de la revisión de la historia operacional. Las técnicas de mantenimiento predictivas y los ajustes de las intervenciones de mantenimiento estarán dirigidas, esencialmente a los equipos de alta y mediana criticidad lo cual garantiza un mayor impacto de las modificaciones con menores esfuerzos. Además, estos diagnósticos de estado técnico y cambios de intervenciones están dirigidos a las causas de fallos más frecuentes de los equipos, lo que garantiza el

diseño adecuado del mantenimiento predictivo de las PI y de los procedimientos de pruebas periódicas.

Los resultados derivados del estudio se resumen en los siguientes aspectos [3]:

1. Como en la generalidad de los RCM se cumple que los sistemas de explotación normal aportan mayores modificaciones a los contenidos de los mantenimientos preventivos y a la disminución de la carga de trabajo que los sistemas de seguridad.
2. Se observa un comportamiento aleatorio respecto al perfil de criticidad de los componentes para el mantenimiento por ejemplo, hasta el momento se consideran equilibrados los aportes en los sistemas de agua de alimentación y de agua de proceso, mientras que son más desbalanceados los aportes en los sistemas de refrigeración de emergencia y de agua de emergencia.
3. Se observa una prevalencia de bombas y válvulas (MV, PV, LCV, solenoides) en el rango de alta y media criticidad en todos los sistemas analizados. Aparecen como excepción en el SEEN un intercambiador y las rejillas del pozo de recirculación.
4. En general los fallos más probables registrados en los informes de deficiencias (IDs) son de origen mecánico.
5. El alcance de las modificaciones sugeridas a las políticas de mantenimiento de estos sistemas se resumen en la tabla 2.

Tabla 2. Modificaciones a la política de mantenimiento para varios sistemas de CNE tras la realización del RCM

Sistema	Predict Mod.	Predict Redac.	Pls. Cont. Modif	Pls Redact	Mod. Diseño	Nuev. Herram.	Rptos.	Mod. TPs	Pls Frec. modif	H-H (%)
43200	1	15	15	1	1 (fondo centralina)	1 (herram. limpieza Escobilla)	-	1 (aum. a 15 días P107, P107A)	26	204 (28,4%)
71300	-	-	3	1	-	-	-	-	15	78 (11%)
34320	1	-	6 pend. estudio	-	-	-	-	-	8	58 (5%)
34610	1	2	2	-	2 (2 PV)	-	2 motor Arranq. Diesel, 4 VR de GV	1 (aum. 15 días Diesel)	8	40.5 (13%)
33410	1	-	-	-	-	-	-	-	17	174 (50%)
32110	-	-	2	-	-	-	-	-	5	124 (23%)
Total	4	16	34	2	3	1	6	2	79	678,5

Predict. Mod. –Procedimientos de predictivo modificados.

Predict. Redact. –Procedimientos de predictivo redactados.

Pls Cont. modif. –Procedimiento de Planillas de Inspección (mantenimientos preventivos) modificados en su contenido.

Pls redact. –Procedimiento de Planillas de Inspección (mantenimientos preventivos) redactadas.

Mod. Diseño –Modificaciones de diseño necesarias detectadas.

Nuev. Herram. –Necesidades de nuevas herramientas identificadas.

Rptos. –Necesidades de repuestos específicos identificadas.

Mod. TPs –Modificaciones de pruebas rutinarias detectadas.

Pls Frec. Modif. –Planillas de Inspección con frecuencia modificada.

H-H –Hombres horas reducidas con las modificaciones de frecuencias de Pls propuestas respecto a la estrategia de mantenimiento original.

La tabla 2 orienta un incremento de la actividad predictiva (modificación o redacción de procedimientos) en algunos componentes que anteriormente no se vigilaban con estas técnicas, así como el completamiento o redacción de algunos procedimientos de preventivo para mitigar mecanismos de fallo no considerados hasta la fecha en el alcance del mantenimiento planificado. Entre los nuevos procedimientos de predictivo recomendados resaltan el uso del Flow Scanner en varios equipos de regulación de flujo, cuyo estado actual no se diagnostica, lo que incrementa los desmontajes innecesarios. Además, destaca la recomendación de técnicas de pruebas eléctricas para algunos motores de equipos críticos. Desde el punto de vista de preventivo se incorporan tareas para resolver mecanismos de fallos revelados durante la consulta de la estadística por ejemplo, las picaduras en las partes móviles de equipos rotatorios por corrientes parásitas.

En la tabla 2 también se aprecian modificaciones de diseño o concepción de nuevas herramientas encaminadas a resolver problemas que complican los mantenimientos actuales. Se destaca el caso del diseño de herramientas que permitan el adecuado aterramiento de los equipos rotatorios. Los estudios realizados recomiendan cambios en algunas pruebas rutinarias para vigilar mecanismos de fallos que permanecen ocultos y búsquedas de repuestos críticos por su alto nivel de importancia para la seguridad. Resulta trascendente en lo económico, la disminución de la carga laboral por la priorización de los esfuerzos de mantenimiento sobre los equipos críticos, y la consecuente disminución de las frecuencias de mantenimiento sobre los menos importantes.

Es importante recalcar que la aplicación de los resultados del estudio ha empezado a arrojar aportes en el incremento de la disponibilidad de los equipos, asociados a la disminución de su frecuencia de mantenimiento, y a la atención de los mecanismos de fallos más importantes en los equipos críticos.

Conclusiones

Los resultados del estudio de RCM realizado en CNE son altamente estimados por los gestores de la explotación de la instalación, al demostrar su potencialidad para identificar tareas de mantenimiento efi-

caces y efectivas, optimizando los planes de mantenimiento actuales con un alto impacto técnico y económico. El RCM desarrollado es una muestra de la aplicación en profundidad del principio de Pareto, primero a nivel de todo el APS para identificar los sistemas más importantes, después a nivel de sistemas para identificar sus componentes críticos. Posteriormente, para cada componente se priorizan los mecanismos de fallos preponderantes de acuerdo con los históricos de mantenimiento, y para estos mecanismos se buscan las técnicas de mantenimiento menos invasivas comenzando por las predictivas, las detectivas y finalmente, las preventivas.

Como conclusiones técnicas generales del estudio se destacan, la actual aplicación piloto de algunas de las modificaciones a la política de mantenimiento propuestas en este análisis. También se trabaja en el reforzamiento de las técnicas de monitoreo a condición aplicadas a aquellos equipos más contribuyentes por su criticidad y la frecuencia de sus fallos de acuerdo al análisis de IDs y en la implementación de una codificación de causas de IDs almacenados en el sistema TAMARA (base de datos de históricos de equipos), con un sistema único de clasificación de manera que permita análisis ulteriores más detallados.

Se identificaron otras tareas asociadas a la calidad de la documentación que permiten la ejecución adecuada de los mantenimientos de acuerdo con un contenido explícito.

Bibliografía

- [1] TORRES A. Mantenimiento Orientado a la Seguridad. La Habana: CUBAENERGÍA, 2000. ISBN 959-7136-10-4.
- [2] TORRES A, RIVERO J. Gestión de Mantenimiento Orientado a la Seguridad. Revista Ingeniería Mecánica. 2004; 7(2).
- [3] TORRES A, PERDOMO M, FORNERO D, CORCUERA R. Aplicación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a la Central Nuclear de Embalse. XXXV Reunión Asociación Argentina de Tecnología Nuclear. Buenos Aires, Argentina. Nov. 2008.

Recibido: 2 de abril de 2010

Aceptado: 13 de mayo de 2010