

Grupo de Análisis de Riesgo y Confiabilidad de Cuba: 20 años de experiencia en los servicios de análisis de seguridad, confiabilidad y mantenimiento

Dr. Antonio Torres Valle¹, MsC. Manuel Perdomo Ojeda¹,
Dr. Jesús Salomón Llanes¹, Dr. José de Jesús Rivero Oliva²

¹Dpto. Ingeniería Nuclear, INSTEC, La Habana, Cuba

² Acelétron, Río de Janeiro, Brasil

atorresvalle@yahoo.es, atorres@instec.cu,
mp_ojeda@yahoo.com.ar, mperdomo@instec.cu

jsalomon@instec.cu, jrivero74@yahoo.es

Sitio web: www.veaweb.com/RiskAway

Resumen

El artículo presenta un resumen de la experiencia de más de 20 años de servicios científico-técnicos prestados por el Grupo de Análisis de Riesgo y Confiabilidad de Cuba, así como los aportes fundamentales realizados durante los mismos. El equipo, formado a finales de la década de los 80 del siglo anterior, ha realizado durante estos años múltiples trabajos en las áreas de análisis de riesgo y confiabilidad, optimización del mantenimiento, análisis de seguridad ocupacional y monitores de riesgo, en diversos sectores como el nuclear, eléctrico, petroquímico y biotecnológico, entre otros. Varios códigos de computación y bibliografías, desarrollados para enfrentar los servicios técnicos y de capacitación, son también patrimonio del grupo. En la actualidad se mantiene laborando en estos frentes y además, completa los desarrollos de herramientas de evaluación de nivel de seguridad de tipo semicuantitativo, metodologías de análisis de percepción de riesgo laboral y monitores de riesgo cooperativos.

Palabras Claves: Seguridad, Riesgo, Confiabilidad, Mantenimiento, Análisis Probabilista de Seguridad (APS), Análisis, Optimización, Programas: ARCON, MOSEG, ASEC, MONITOR

Abstract

The paper is presented a summary of more than 20 years of specialized services made by the Group of Risk and Reliability Assessment of Cuba, which includes its scientific and technical contributions at that period of time. The Group was formed in the last years of the decade of 1980, and from that moment has performed many studies on the fields of Risk and Reliability, Maintenance Optimization, and Occupational Safety and Health, for different facilities from the nuclear, power, petrochemical and biotechnological industry, among others. As part of the patrimony of the Group, are several computer codes and specialized texts, used for consulting and training purposes. Currently, the Group stays working on these areas and it also works on the developing of tools for semi-quantitative analysis techniques, methods of risk perception evaluation as well as on the area of cooperative risk monitors.

Keywords: Safety, Risk, Reliability, Maintenance, Probabilistic Safety Analysis (PSA), Analysis, Optimization, Codes: ARCON, MOSEG, ASEC, MONITOR

Introducción

El grupo de Análisis de Riesgo y Confiabilidad de Cuba nace en el 1988 como parte de los esfuerzos de formación de personal técnico para el programa energético nuclear del país.

Un hito en el nacimiento del equipo de trabajo fue su participación en una tarea de prueba de códigos de Análisis Probabilista de Seguridad (APS), promovida por el entonces Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME), y que constituía la comunidad económica de países del este.

El primer código cubano de APS se llamó ANCON (del acrónimo ANálisis de CONfiabilidad), y posteriormente ARCON (Análisis de Riesgo y CONfiabilidad, por su potenciación para realizar APS de nivel 1) /1/ y había sido desarrollado sobre computadoras personales (PC). Los resultados obtenidos por ANCON en dicha prueba asombraron al grupo de expertos reunidos en el evento /2/, por las posibilidades de la herramienta, que generaba millones de conjuntos mínimos de corte y tenía amplias capacidades gráficas, en un momento en que las capacidades de memorias de las PC apenas alcanzaban unas centenas de kilobytes.

Partiendo de estos primeros esfuerzos, en 1991 se amplía el grupo de APS y se dictan los primeros cursos de formación de especialistas en análisis de secuencias accidentales y modelado de sistemas. En idéntico período se incorporan a los cursos de grado de formación de ingenieros nucleares, los análisis de seguridad, a través de versiones docentes del código ARCON.

Un impulso trascendental para el desarrollo de esta disciplina, lo constituyó el proyecto OIEA CUB/9/008 para la realización del APS preoperacional de la Central Nuclear de Juraguá /3/. Durante los años subsiguientes, hasta el 1995, el apoyo del OIEA permitió la formación, a través de becas en Empresarios Agrupados S.A. de España, de especialistas en los temas de fallas dependientes, errores humanos, datos de confiabilidad y eventos externos, así como la asistencia de expertos españoles para la realización de dicho estudio.

La paralización del proyecto de la central de Juraguá promovió la reorientación de los especialistas del grupo hacia otras áreas de aplicación de los análisis de confiabilidad y riesgo. Es así que se realizaron los primeros servicios en áreas como la biotecnología (1995), petróleo (2003, 2004, 2009), centrales eléctricas (2005, 2009) y otros sectores. La colaboración internacional con Argentina, a partir del año 1997, propició la reinserción del equipo de análisis en tareas relacionadas con el sector nuclear. Estas colaboraciones (1997-2001, 2006, 2008) se han mantenido hasta la actualidad (2009).

Durante esos años, a la par de la promoción de los servicios y la capacitación, se fue desarrollando el nivel científico del equipo con la formación de maestrantes y doctores en ciencias técnicas, así como la creación de nuevas metodologías y herramientas en frentes como el de optimización del mantenimiento y los monitores de riesgo, para ampliar el perfil de servicios y garantizar las, cada vez más complejas, demandas de los análisis técnicos. Estos desarrollos se han incorporando paulatinamente a la docencia de grado y postgrado, y forman parte de una amplia base bibliográfica /4, 5, 6, 7, 8/ creada por el grupo de trabajo.

Entre los servicios científico técnicos más destacados se encuentran los realizados a instalaciones nucleares /3, 9, 10, 11, 12/, plantas biotecnológicas /13/, centrales eléctricas /14, 15/ e instalaciones petroleras /16, 17, 18/.

Servicios Científico Técnicos

La siguiente cronología de trabajos está organizada en retrospectiva, y tiene como fin mostrar, los principales servicios científico-técnicos prestados por el equipo de trabajo. Con el objeto de uniformar la información cada servicio ha sido documentado siguiendo el siguiente esquema:

Título (Período)	Nombre con el que se identifica el servicio (período en el que se
------------------	-------------------------------------------------------------------

	realizó el servicio).
Instalación	Nombre de la instalación o entidad objeto del servicio.
Sobre la instalación	Detalles descriptivos generales de la instalación que reflejen su objetivo y algunas razones que justifican la selección del objetivo.
Breve descripción	Pautas metodológicas utilizadas durante el servicio y algunas particularidades que lo distinguen en la instalación a la que se aplica.
Resultados	Resultados técnicos más importantes obtenidos del análisis.

A continuación se listan los servicios fundamentales:

1- Título: Programa de Mantenimiento Orientado a la Seguridad (2006, 2008, 2009)

Instalación: Central Nuclear de Embalse (CNE), Córdoba, Argentina

Sobre la instalación: La planta nuclear de Embalse es una central tipo CANDU (reactor de calandria) que genera 640 Mwe. Se ha caracterizado por altos niveles de disponibilidad durante toda su vida útil. Representa una fuente confiable y estable para el sistema electroenergético argentino, no dependiente de factores ambientales, que penalicen su uso, ni climatológicos, que afecten su capacidad. Se encuentra próxima a una inversión para extensión de vida por lo que resultan muy importantes los resultados del análisis de referencia.

Breve descripción: Consiste en la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) /19/ a un grupo de sistemas tecnológicos determinados como importantes por su contribución al riesgo y por su impacto a los mantenimientos preventivos de planta.

Resultados: En la desarrollo de este Programa en CNE se utilizaron las potencialidades del código MOSEG Win Ver. 1.0 /20/. La siguiente tabla es una muestra de los resultados obtenidos para 4 de los sistemas analizados.

Sistema	Predict. Modif.	Predict Redact.	Pls. Modif.	Pls Redact.	Modif. Diseño	Rptos.	Modif. TPs	H-H (%)
43200	1	15	15	1	1 (fondo centralina)	-	1 (aum. a 15 días P107, P107A)	147 (20%)
71300	-	-	3	1	-	-	-	78 (11%)
34320	-	-	8	-	-	-	-	51 (6%)
34610	1	2	2	-	2 (2 PV)	2 Motor Arranq. Diesel, VR de GV	1 (aum. 15 días Diesel)	40.5 (13%)

Sistema	Predict. Modif.	Predict Redact.	Pls. Modif.	Pls Redact.	Modif. Diseño	Rptos.	Modif. TPs	H-H (%)
Total	2	16	28	2	3	6	2	316

Hasta la fecha se han examinado 10 sistemas tecnológicos, lo que reporta como conclusiones globales generales /9/, entre otras, un sobremantenimiento de los sistemas de explotación normal a diferencia de los de seguridad, la necesidad de aplicación de técnicas de predictivo sobre algunos dispositivos no monitoreados (ver Predict. Modif. y Redact.), la detección de varios errores de diseño de sistemas (ver Modif. Diseño), la modificación de procedimientos de mantenimiento (planillas de inspección - PI) y la determinación de un importante ahorro en horas-hombre (H-H), asociados a los cambios sugeridos sobre frecuencia de mantenimiento preventivo.

2- Título: Monitor de Riesgo de Central Termoeléctrica (2007 – 2009)

Instalación: Central Termoeléctrica (CTE) de Mariel, La Habana, Cuba

Sobre la instalación: La planta termoeléctrica de Mariel es una de las mayores de las provincias occidentales del país. Su potencia con todas las unidades en marcha puede alcanzar los 500 Mwe. Se encuentra en una etapa de modernización dado el elevado envejecimiento de sus primeras unidades.

Breve descripción: El Monitor de Riesgo /15/ constituye la aplicación más avanzada de los Análisis Probabilistas de Seguridad (APS) y consiste en el monitoreo de todos los dispositivos incluidos en el modelo de análisis de riesgo de la instalación para evaluar on-line u off-line la influencia sobre la disponibilidad y el riesgo de la instalación, de las diferentes configuraciones de salida de servicio de los equipos.

Resultados: El Monitor de Riesgo On-line Consejero Hablado de la CTE del Mariel /15/ se encuentra en fase de prueba piloto. Será una parte del trabajo en el marco de una próxima defensa de doctorado en ciencias técnicas.

3- Título: Monitor de Riesgo de Oleoductos (2008, 2009, 2010-2011)

Instalación: Oleoductos de Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo (EPEP) Varadero, Matanzas, Cuba

Sobre la instalación: La zona de Varadero constituye un importante polo turístico de Cuba, pero a la vez se ha revelado como una zona prometedora para la explotación petrolera. Por ello, las instalaciones utilizadas en el Oleoducto son de alto nivel tecnológico y existe un elevado compromiso del personal explotador por el cuidado del medioambiente.

Breve descripción: El Monitor de Riesgo /16/ se ha aplicado también a la explotación de oleoductos, esta vez con la particularidad de que constituye una interfaz para el monitoreo ambiental.

Resultados: El Monitor de Riesgo Consejero del Oleoducto de Varadero /16/ se encuentra operando de manera off-line y permite determinar, según el estado fallado o disponible de sus componentes, los niveles de riesgo que representa la instalación para la seguridad tecnológica y ambiental. Incorpora nuevas metodologías de cálculos y modelos para el análisis de crecimiento de fallas y su predicción, así como la

evaluación de los riesgos laborales e industriales asociados con incendios y derrames en el territorio atravesado por el ducto.

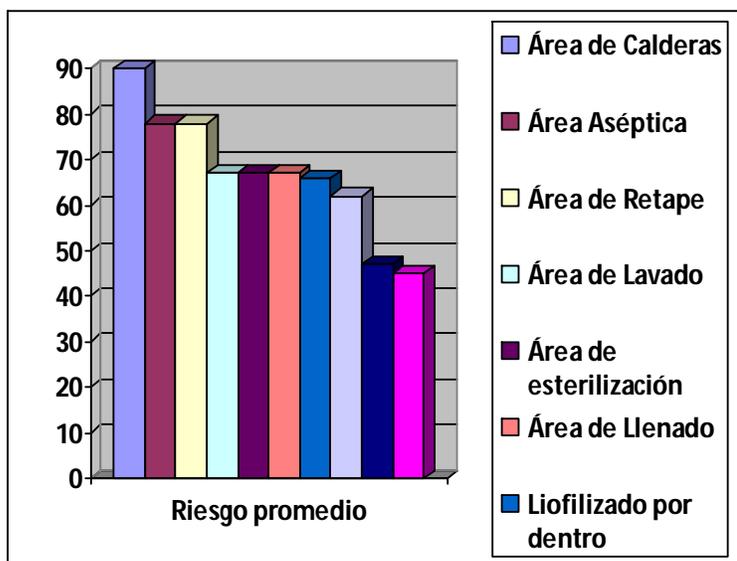
4- Título: Análisis de Tipos y Efectos de Peligro (ATEP) para estudio de riesgos laborales (2009)

Instalación: Laboratorio Farmacéutico Julio Trigo, grupo empresarial QUIMEFA, MINBAS, La Habana, Cuba

Sobre la instalación: El Laboratorio Farmacéutico Julio Trigo produce bulbos inyectables líquidos y liofilizados y colirios en frascos plásticos. Constituye objetivo estratégico por su impacto en el abasto de medicamentos. Su producción se comercializa dentro y fuera de Cuba. Se han detectado algunas deficiencias en las prácticas de seguridad laboral y en el estado de varios puestos de trabajo, factores que constituyen fuente de probables accidentes de trabajo.

Breve descripción: El desarrollo actual de los métodos de medición de riesgo laboral es insuficiente para acometer los análisis de seguridad laboral con el alcance adecuado. En base a ello se diseñó la metodología de Análisis de Tipos y Efectos de Peligros (ATEP) por puesto de trabajo /21/ que constituye un sistema de análisis semicuantitativo que utiliza sistema de listas de chequeo multifactorial para la descripción y evaluación del puesto y dos matrices ordenadas en profundidad, una para determinar la frecuencia de exposición y otra para evaluar el riesgo de cada tipo – efecto de peligro.

Resultados: Se aplicó la metodología ATEP a las áreas de trabajo de la Planta de Inyectables del laboratorio. El siguiente histograma es una muestra de los resultados del estudio.



El estudio /21/ permitió determinar los puestos de trabajo más peligrosos partiendo de su riesgo global y riesgo promedio, resultando en este caso las áreas de retape, de preparación y de caldera las más contribuyentes. En dichas áreas se identificaron, en general, peligros de caídas, atrapamiento, cortes, electrocución, quemaduras, explosión y daños osteomusculares.

Con esta aplicación se optimizan las inversiones en seguridad laboral y se particularizan las medidas y recursos según los riesgos más importantes en cada área. Se recomendaron análisis específicos de inhalación de sustancias contaminantes y de ruido ambiental en algunas áreas, así como ampliar el estudio al resto de la instalación y a la nueva inversión.

5- Título: Análisis Probabilista de Seguridad (APS) de incendios (2006)

Instalación: Central Nuclear de Embalse, Córdoba, Argentina

Sobre la instalación: Ver anterior

Breve descripción: Consiste en la introducción del análisis de sucesos externos al APS de internos¹, previamente ejecutado para la instalación. En el caso del APS de incendios de la planta nuclear de Embalse fue necesario un reanálisis de las afectaciones del incendio sobre los sistemas de I&C.

Resultados: El análisis realizado /10/ consistió en la determinación de los sucesos iniciadores producto de la interacción de los incendios con los sistemas de instrumentación y control (cables y dispositivos de I&C). El análisis incluyó la identificación de los posibles focos de fuego, su propagación y los efectos asociados considerando las recorridas de cables vinculados a los sistemas de explotación normal (por lo general generadores de sucesos iniciadores de averías) y los de seguridad (que fungen como sistemas mitigadores). Como resultado final del análisis se reasignaron nuevos sucesos iniciadores de avería debidos a daños por incendio de la I&C en 8 zonas de fuego, inicialmente concebidas como fuentes del suceso iniciador Transitorio Genérico.

6- Título: Análisis de Riesgo Tecnológico e Informático de Centrales Diesel Eléctricas (2005)

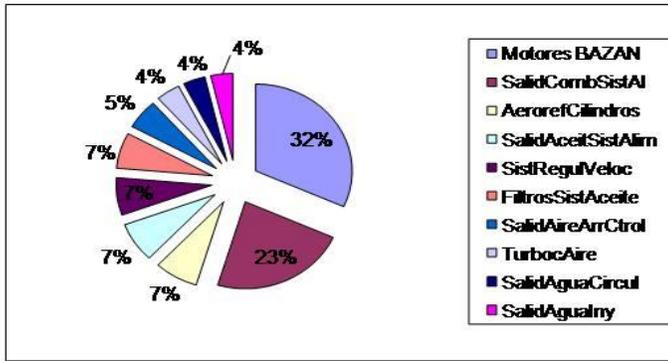
Instalación: Centrales Diesel Eléctricas (CDE) de Cayo Coco y Cayo Guillermo, Ciego de Ávila, Cuba

Sobre la instalación: Las CDE de Cayo Coco y Cayo Guillermo garantizan la energía eléctrica indispensable para el desarrollo de estos polos turísticos de la isla. Se caracterizan por la limpieza de los procesos de generación a pesar de que se encuentran dispuestas a baja altura para no afectar la geografía de los cayos.

Breve descripción: El análisis de referencia incluyó la evaluación de los riesgos tecnológicos e informáticos relacionados con la explotación de las CDE. En general, para realizar el estudio fueron empleadas técnicas de análisis de riesgo cualitativas, tipo listas de chequeo, y semicuantitativas, tipo Análisis de Criticidad de Modos y Efectos de Fallos (FMECA), las cuales han sido automatizadas posteriormente a través del código ASeC (Análisis de Seguridad mediante Técnicas de Evaluación Cualitativa) /22/.

Resultados: El estado general de las instalaciones de las CDE de Cayo Coco y Cayo Guillermo mostró una preocupación de su gerencia y sus trabajadores por mantener adecuados niveles de seguridad ambiental, para la salud y los medios informáticos. Algunos aspectos de seguridad aún quedan por solucionar /14/. Entre ellos están las deficiencias de diseño actuales de los sistemas de seguridad contra incendio (completamiento del sistema en algunas áreas, alejamiento de las tomas contra incendio de los focos de peligro y automatización de la detección y extinción) y el importante impacto para los fallos de las CDE de algunos contribuyentes. Un resultado gráfico de esta distribución porcentual en la central de Cayo Coco lo muestra el siguiente gráfico.

¹ El APS de internos elaborado para Embalse aparece más adelante en este mismo documento.



La carencia de piezas de repuesto para garantizar la disponibilidad de los motores tipo BAZAN, así como los salideros de combustible, los fallos del aerorefrigerador de los cilindros y los salideros de aceite, son los contribuyentes más importantes para la disponibilidad de las CDE.

Además, se reportaron deficiencias en la defensa en profundidad durante algunas Vías Libres y la carencia de un Análisis de Riesgo o Estudio de Vulnerabilidad en el Programa de Seguridad Informático.

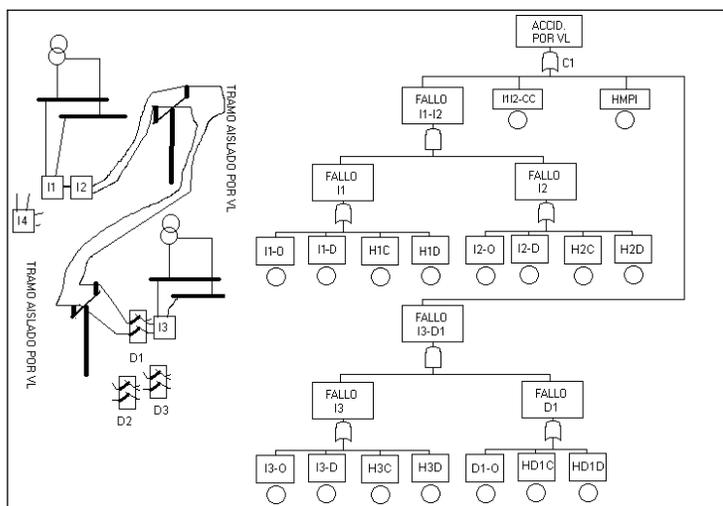
7- Título: Optimización de Seguridad de Personal durante vías libres para mantenimiento de líneas eléctricas (2004)

Instalación: Departamento de Seguridad e Informática. Unión Eléctrica (UNE), MINBAS, La Habana, Cuba

Sobre la instalación: La necesaria disponibilidad del sistema electroenergético obliga a realizar manipulaciones de aislamiento para garantizar sectores desenergizados de las líneas y ejecutar de esta forma los mantenimientos. Sin embargo, problemas de negligencias, comunicación u otros son causa frecuente de accidentes.

Breve descripción: Partiendo de las desfavorables estadísticas de accidentes por electrocución durante mantenimiento de líneas eléctricas, se realizó el análisis preventivo de varias configuraciones típicas de aislamiento durante vías libres para intervenciones de mantenimiento de líneas eléctricas. El análisis está soportado por facilidades de análisis creadas dentro del código MOSEG /20/.

Resultados: El análisis realizado /23/ consistió en la modelación de varias configuraciones típicas de vías libres para mantenimiento de líneas eléctricas y la determinación de los principales contribuyentes en cada caso. Uno de los casos modelados y su árbol de fallos correspondiente se muestra en la siguiente figura.



Los resultados demostraron el elevado impacto de los errores humanos, en el uso de los medios de protección individual (HMPI) y en las operaciones de alineamiento de los dispositivos de aislamiento (H1C, H2C, H3C, HD1C) para lograr las vías libres, relegando a un segundo plano los fallos propios de los equipos (I1, I2, I3, D1).

Adicionalmente, resaltó la potencialidad de la herramienta para detectar fallos de causa común de equipos (I1I2-CC), como contribuyentes importantes a los accidentes, aspecto no resuelto a través de análisis estadísticos tradicionales.

8- Título: Gestión de Mantenimiento Orientado a la Seguridad en Empresa de Mantenimiento (2003 - 2004)

Instalación: Empresa de Mantenimiento de Perforación y Extracción de Petróleo (EMPEP) Occidente, La Habana, Cuba

Sobre la instalación: La EMPEP es una empresa de carácter nacional que garantiza el mantenimiento de todas las instalaciones de CUPET.

Breve descripción: La gestión tradicional del mantenimiento adolece de interacción con herramientas avanzadas de optimización basadas en análisis de confiabilidad y riesgo. La gestión de mantenimiento orientada a la seguridad /24/ compensa este problema introduciendo coherentemente estas posibilidades a la gestión e interactuando con áreas como la seguridad del personal mantenedor durante las intervenciones, la creación de modelos probabilistas de evaluación del mantenimiento a nivel de sistemas, el análisis probabilista de la programación del mantenimiento, la incorporación de parámetros probabilistas al control de repuestos y la determinación automatizada de tareas de mantenimiento centradas en la confiabilidad (RCM). Dada la complejidad de estas tareas, las mismas se realizan dentro del código MOSEG /20/.

Resultados: Para la realización de esta tarea /17/ fue necesario un curso de instrucción previo, que capacitó al personal futuro explotador del sistema de gestión de mantenimiento orientado a la seguridad, el desarrollo de ejemplos de gestión de mantenimiento basados en sistemas tecnológicos mantenidos por la entidad, la adaptación del sistema de gestión a las particularidades del proceso y, finalmente, la instalación y explotación del sistema en la red informática de la empresa.

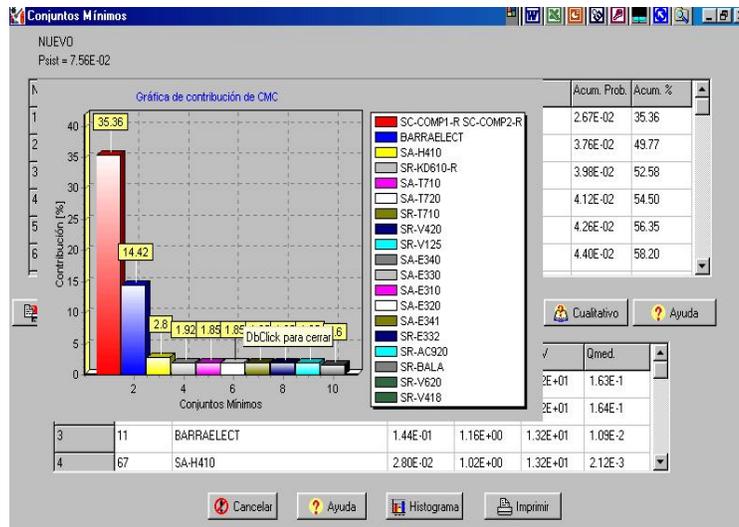
9- Título: Gestión de Mantenimiento Orientado a la Seguridad de Planta de Gas (2003)

Instalación: Planta de Gas Boca de Jaruco, Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo (EPEP) de Cuba-Petróleo (CUPET) Occidente, La Habana, Cuba

Sobre la instalación: La EPEP es una empresa de carácter nacional que se ocupa de la prospección y perforación de pozos, así como de la extracción y tratamiento de los derivados extraídos del petróleo.

Breve descripción: La planta de Boca de Jaruco suministra gas a la Ciudad de la Habana a través de un gasoducto. La materia prima de la instalación es el gas acompañante de petróleo proveniente de pozos cercanos que, dada su alta concentración en productos pesados y sulfurosos, debe ser tratado en la planta. El tratamiento debe ser continuo y está vinculado con varios procesos peligrosos. La Gestión de Mantenimiento Orientado a la Seguridad se realizó anexo a un servicio de Análisis de Confiabilidad /18/ para la planta.

Resultados: La tarea comprendió la aplicación del Sistema de Gestión de Mantenimiento Orientado a la Seguridad /18/ utilizando el código MOSEG /2/, incluyendo la modelación por árboles de fallos de la planta de gas. Una corrida resultante de la aplicación del código MOSEG al esquema de la planta de gas se muestra en el siguiente gráfico.



Los resultados demuestran el alto impacto de los compresores redundantes del Skid de Compresión (COMP1 y COMP2), y de los componentes únicos: Barra Eléctrica (BARRAELECT), Hervidor (H410), Compresor Mycom (KD610) y Torre Absorbadora (T710).

Adicionalmente, se evaluaron las seguridades del personal mantenedor durante vías libres y varias estrategias de mantenimiento comprobando, mediante evaluaciones probabilistas, las más recomendables para realizar el mantenimiento de la instalación.

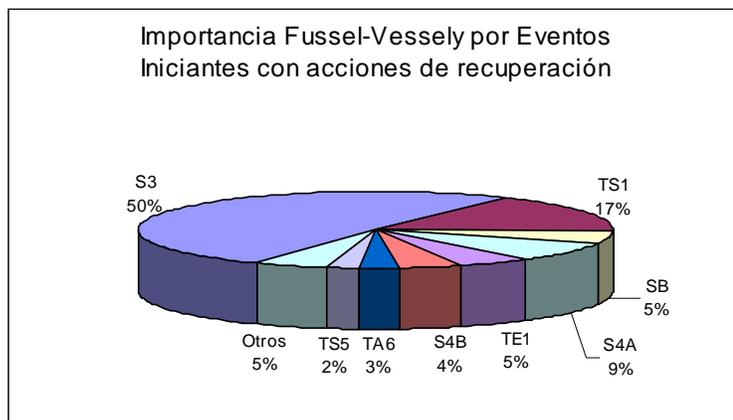
10- Título: Análisis Probabilista de Seguridad (APS) de internos (1997 – 2001)

Instalación: Central Nuclear de Embalse, Córdoba, Argentina

Sobre la instalación: Ver anterior

Breve descripción: Durante el período mencionado fue ejecutado por un equipo multidisciplinario y con cooperación internacional (Rumania, Cuba) el Análisis Probabilístico de Seguridad de sucesos iniciadores de avería internos para régimen de Alta Potencia (100 %) de la Central Nuclear de Embalse /11/.

Resultados: Para ilustrar la magnitud del estudio /11/ se muestran los siguientes datos representativos del APS: 31 sucesos iniciadores de avería modelados, 144 árboles de fallos de sistemas mitigadores, 229 árboles de fallos de sistemas soportes, 76 errores humanos en cabeceros y 87 en árboles de fallos, 348 fallos de causa común y 1200 secuencias accidentales. Una representación gráfica de los principales contribuyentes por iniciador lo muestra la siguiente figura.



Los principales contribuyentes al riesgo de fusión del núcleo fueron errores humanos de alineamiento de sistemas de seguridad o soportes de funciones de seguridad en algunas secuencias de LOCA pequeño (S3) o de pérdida de agua de proceso (TS1).

Partiendo del estudio se realizaron importantes aplicaciones que incluyeron modificaciones de diseño de sistemas, completamiento de manuales de operación, actualización de procedimientos y modificaciones a documentación de planta.

11- Título: Análisis de Confiabilidad de Sistemas de Seguridad (1995-1997)

Instalación: Central Electronuclear (CEN) de Juraguá, Cienfuegos, Cuba

Sobre la instalación: La CEN de Juraguá es una instalación que produciría 417 Mwe por bloque. Se basaba en reactores VVER 440. Se caracterizó por ser una de las más avanzadas de su tipo por el nivel de seguridad. Su construcción fue detenida en 1992.

Breve descripción: El Análisis de Confiabilidad de los Sistemas de Seguridad de las Centrales Nucleares constituye uno de los requisitos a incluir en los Informes de Seguridad para licenciamiento de las plantas nucleares. El equipo de APS utilizando el código ARCON /1/, realizó estos estudios y documentó los resultados.

Resultados: El estudio concluyó con una voluminosa documentación que formó parte del Informe de Seguridad en su versión cero (Revisión 0) mediante el cual se completaban requisitos respecto al licenciamiento de la planta. Los resultados /12/ incluyeron la modelación por árboles de fallos y la obtención de valores absolutos y relativos de confiabilidad.

12- Título: Análisis de Confiabilidad de Sistemas Críticos de Planta de Producción de productos biotecnológicos (1995)

Instalación: Planta de Producción del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (PP-CIGB), La Habana, Cuba

Sobre la instalación: El CIGB es un centro de investigación y producción que se ocupa de investigaciones de avanzada en el campo de la ingeniería genética y la biotecnología.

Breve descripción: La PP-CIGB se dedica a la producción de productos de gran importancia para la salud humana como la vacuna recombinante de la Hepatitis tipo B.

Regímenes			fase I (dos días)		fase II (dos días)		fase III (dos días)	
mínima	media	máxima	mínima	media máxima	mínima	media máxima	mínima	media máxima
mínima			10		15		20	
media			10		20		10+15	
máxima				15		10+15		20+10

Para este proceso son necesarias grandes capacidades de enfriamiento de manera confiable por lo que, los sistemas encargados de esta misión fueron objeto de análisis. El árbol de eventos fue utilizado como alternativa para representar los variados regímenes de enfriamiento en los que puede fallar el sistema de enfriamiento de 10-15 grados.

Resultados: Partiendo del estudio /13/ ejecutado con el código ARCON /1/ se realizaron conclusiones relativas a la priorización de sistemas con mayor influencia en la fiabilidad de la planta de acuerdo a los resultados cuantitativos, al incremento de atención sobre inspección y mantenimiento a dispositivos eléctricos cuyos fallos únicos comprometen el funcionamiento de los sistemas de enfriamiento simultáneamente, al registro preferente de datos de mantenimiento y fallos de los componentes abarcados en el estudio y al formato de almacenamiento general de los registros de fallos. Finalmente, se realizan sugerencias respecto a la consideración de los errores humanos y sus efectos probables sobre la disponibilidad de los sistemas.

13- Título: Análisis Probabilista de Seguridad (APS) preoperacional

Instalación: Central Nuclear de Juraguá, Cienfuegos, Cuba

Sobre la instalación: Ver anterior.

Período: 1991 - 1995

Breve descripción: El APS de referencia /3/ constituye el punto de despegue del equipo de APS de Cuba. El mismo comprendió la modelación de 15 sucesos iniciadores y de los árboles de fallos de los sistemas mitigadores y soporte. También incluyó las tareas de datos de confiabilidad, fallas dependientes y errores humanos. La cuantificación se realizó utilizando el código ARCON /1/.

Resultados: El estudio /3/ concluyó con importantes aportes para el perfeccionamiento del diseño de la planta nuclear de Juraguá, así como con recomendaciones para los manuales de operación y procedimientos de emergencia de la planta. Resultó coherente en cuanto a la determinación de los errores humanos y los fallos de causa común como contribuyentes importantes en este tipo de análisis. Finalmente, descubrió la elevada importancia de las secuencias accidentales relacionadas con la pérdida de energía eléctrica exterior y constituyó pauta para el mejoramiento de la estabilidad del sistema electroenergético nacional.

Conclusiones

Durante los años de existencia del equipo de trabajo, nacido en 1988, hasta la fecha se han prestado varios servicios científico – técnicos. La siguiente tabla resume las características esenciales de los mismos:

Tipo de Servicio	Sector- Período de ejecución	Tipo de Metodología	Herramientas	Resultados
Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)	Nuclear – 2006, 2008, 2009	Cuantitativa	Sistema de Gestión de Mantenimiento Orientado a la Seguridad (MOSEG)	Optimización de mantenimiento de varios sistemas tecnológicos de planta
Monitor de Riesgo	Central Eléctrica (CTE) – 2007-2009	Cuantitativa	Monitor Consejero Hablado	Control de riesgo de operaciones y pronóstico de estado
	Petróleo (Oleoducto) – 2008 – 2011	Cuantitativa	Monitor Consejero Hablado	Control de riesgo de operaciones y pronóstico de estado

Tipo de Servicio	Sector- Período de ejecución	Tipo de Metodología	Herramientas	Resultados
Análisis de Riesgo Laboral	Tecnología para la Salud (Laboratorio Farmacéutico)- 2009	Semicuantitativa	Análisis de Tipos y Efectos de Peligro por puestos de trabajo (ATEP) – técnica tabular	Determinación de puestos de trabajo más peligrosos
	Líneas eléctricas de transmisión y distribución (Vías libres para mtto.) - 2004	Cuantitativa	MOSEG	Determinación de vías libres más peligrosas y principales contribuyentes
Análisis Probabilista de Seguridad (APS)	Nuclear - 2006	Cuantitativa	Código de APS Risk Spectrum y de propagación de fuegos COMPBR	Determinación de sucesos iniciadores inducidos por el fuego en la I&C (nivel APS – 1 externos)
	Nuclear – 1997-2001	Cuantitativa	Risk Spectrum	Determinación de perfil de riesgo de la planta (nivel APS-1 internos)
	Nuclear – 1995-1997	Cuantitativa	Análisis de Riesgo y Confiabilidad (ARCON)	Análisis de Confiabilidad de sistemas de seguridad (nivel APS – 0)
	Nuclear – 1991-1995	Cuantitativa	ARCON	Determinación de perfil de riesgo de la planta (nivel APS-1 internos)
	Tecnología para la Salud (Biotecnología)- 1995	Cuantitativa	ARCON	Análisis de Confiabilidad de sistemas tecnológicos (nivel APS – 0)
Evaluación de riesgo mixto (tecnológico, laboral e informático)	Centrales Eléctricas (Central Diesel Eléctrica - CDE) - 2005	Semicuantitativa	Análisis de criticidad de modos y efectos de fallos (FMECA) y listas de chequeo (técnicas tabulares)	Determinación de perfil de riesgo ambiental, tecnológico y para la salud, y riesgo informático
Gestión de mantenimiento orientado a la seguridad	Petróleo (Empresa de mtto. De perforación y extracción) – 2003 - 2004	Cuantitativa	MOSEG	Instalación y aplicación de sistema de gestión de mantenimiento.
	Petróleo (Planta de producción de gas) – 2003	Cuantitativa	MOSEG	Informe de aplicación de sistema de gestión de mantenimiento.

Lo que representado en cifras aporta que se han prestado servicios científico- técnicos con las siguientes características:

- Por tipo de servicio: 1 en RCM, 2 sobre monitores de riesgo, 2 en riesgo laboral, 5 de APS, 1 mixto (riesgo tecnológico, laboral e informático) y 2 de gestión de mantenimiento.
- Por sector: 5 en el área nuclear, 2 en centrales eléctricas, 3 en el área del petróleo, 2 en tecnologías para la salud, 1 en el área de transmisión y distribución de energía.
- Por período de ejecución: la distribución de trabajos por años muestra la prestación ininterrumpida de servicios desde, prácticamente, la propia creación del grupo de análisis hasta la actualidad, así como una continuidad que ya se aprecia en las nuevas demandas.
- Por tipo de metodología: 11 cuantitativas y 2 semicuantitativas
- Por herramientas: 3 con ARCON, 2 con Monitor Consejero Hablado, 4 con MOSEG, 2 con técnicas tabulares y 2 con Risk Spectrum.
- Por resultados: Se ha trabajado en los frentes de seguridad ambiental, seguridad y confiabilidad tecnológica, salud ocupacional y optimización del mantenimiento, obteniéndose resultados que permitieron a las gerencias de las instalaciones analizadas centrar los esfuerzos en los aspectos más trascendentes derivados de cada uno de los análisis.

Estos datos demuestran la diversidad de sectores en los que se ha incursionado y la variedad de técnicas utilizadas. También son muestra del amplio uso de herramientas desarrolladas por el propio grupo de trabajo. Es necesario hacer notar que solo se documentan servicios concluidos y no se mencionan las aplicaciones docentes y otros desarrollados a través de asesoría técnica de personal del equipo, lo que haría innecesariamente extensa esta lista.

En la actualidad el equipo de trabajo se mantiene laborando en frentes de prestación de servicios y además, completa los desarrollos de herramientas de evaluación de nivel de seguridad de tipo semicuantitativo /25/, monitores de riesgo cooperativos /26/, así como metodologías de análisis de seguridad ocupacional y de percepción de riesgo laboral /27/

Bibliografía

- 1- Rivero, J., Salomón, J., Torres, A. "El sistema ARCON 5.0 para Análisis Probabilista de Seguridad de nivel I", Memorias del I Taller sobre la Evaluación de la Seguridad y Prevención de Accidentes (Centro Nacional de Derechos de Autor Depósito Legal No. 01164-1164), Habana, Cuba, 7-9 Agosto de 1995.
- 2-OIEA, Taller sobre evaluación de árboles de sucesos y de fallos, Sofía, Bulgaria, 1988.
- 3- Grupo de Desarrollo y Aplicaciones de APS, Reporte técnico, APS preoperacional CEN Juraguá, Proyecto CUB/9/008, OIEA, La Habana, Cuba, 1995
- 4- G. Mozquera, J. Rivero, J. Salomón, C. Valhuerdi, A. Torres, M. Perdomo, R. Ferro, Disponibilidad y Confiabilidad de sistemas industriales, Ediciones Universitarias UGMA "Gran Mariscal de Ayacucho", Barcelona, Venezuela, (ISBN 980-00-0889-6), 1995,
www.lacatedra.com/isisd/lacatedra/file.php/1/Biblioteca/_Librodispo.pdf
- 5- J. Salomón, M. Perdomo, A. Torres, C. Valhuerdi, otros, Análisis de Riesgo Industrial, Editorial de Altos Estudios Gerenciales, Instituto Superior de Investigación y Desarrollo, Colección Monografías No 69, 2000 (ISBN 980-00-1491-8, 980 07 5679-

- 5), Caracas, Venezuela, 2001, [www.lacatedra.com/isid/lacatedra/file.php/1/Biblioteca /libroriesgo.pdf](http://www.lacatedra.com/isid/lacatedra/file.php/1/Biblioteca/libroriesgo.pdf)
- 6- M. Perdomo, R. Ferro, Tratamiento de fallas dependientes y las acciones humanas en los análisis de confiabilidad y riesgo de la industria convencional, Universidad Central de Venezuela, Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares, La Habana – Caracas, ISBN-980-00-1689-9, <http://books.google.com.ar/books?id=BXwlWb1OWFAC>
- 7- A. Torres, Mantenimiento Orientado a la Seguridad, CUBAENERGIA, (ISBN 959-7136-10-4), 2000
- 8- M. Perdomo, A. Torres, Análisis de Seguridad de Instalaciones con Riesgo Asociado utilizando técnicas con enfoque preventivo, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 2008, www.efn.uncor.edu/investigaciones/reactor/CHARLASEG.pps
- 9- A. Torres, M. Perdomo, R. Corcuera, D. Fornero, Aplicación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a la Central Nuclear de Embalse, Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, Nov. 2008.
- 10- A. Torres, M. Perdomo, Reporte técnico: Fallas inducidas por incendio en los sistemas de instrumentación y control como fuentes de eventos iniciantes, CNE.APS.IT.1207, 2006
- 11- Central Nuclear Embalse, Reporte técnico: Análisis Probabilista de Seguridad, Informe Resumen de la fase 1, CNE.APS.IF.101, Nov. 2003.
- 12- Grupo de Desarrollo y Aplicaciones de APS, Reporte técnico: Análisis de Confiabilidad de Sistemas de Seguridad, Informe de Seguridad Rev. 0, CEN Juraguá, 1995
- 13- Grupo de Desarrollo y Aplicaciones de APS, Reporte técnico: Análisis de Confiabilidad de Sistemas Críticos de Planta de Producción del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, La Habana, Cuba, 1995
- 14- M. Perdomo, A. Torres, Reporte técnico: Evaluación de seguridad tecnológica e informática en Planta Diesel Eléctrica de Cayo Coco y Cayo Guillermo, Mayo - Junio 2005.
- 15- Autor: Vicente Rodríguez, Tutor: J. Salomón, Monitor de Riesgo Consejero Hablado aplicado a CTE del Mariel, Tesis de doctorado, 2009
- 16- Autores: Joycel Verde, Ruslán de Diego, Tutor: J. Salomón, Monitor de Riesgo Consejero Hablado aplicado a Oleoducto de Varadero, Tesis de Ingeniería Nuclear, 2008
- 17- Consultoría ARIES, Instalación y Aplicación del software MOSEG en la Empresa de Mantenimiento de Perforación y Extracción de Petróleo (EMPEP) División Habana, Contrato No. IG-AR-140-03, Centro Nacional de Seguridad Nuclear, Mayo 2003.
- 18- Consultoría ARIES, Reporte técnico: Análisis de Confiabilidad Planta de Gas de Boca de Jaruco, Contrato No. IG-AR-8903, p. A5-1, Centro Nacional de Seguridad Nuclear, Agosto 2003.
- 19- Torres, A., Rivero, J., Identificación de Tareas de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, *Memorias Congreso Internacional Conjunto Cancún 2004 LAS/ANS-SNM-SMSR*, Cancún, Q.R., México, 11-14 de Julio 2004.
- 20- Torres, A.; Código MOSEG para la Gestión de Mantenimiento Orientada a la Seguridad, International Nuclear Atlantic Conference, Santos, Brasil, 2005.
- 21- Autor: Camilo Torres, Tutores: Antonio Torres, Ana Teresa Carbonell, Análisis de Tipos y Efectos de Peligro por Puesto de Trabajo. Aplicación a la Planta de Inyectables del Laboratorio Julio Trigo, Tesis de Ingeniería Industrial, CUJAE, La Habana, Cuba.
- 22- M. Perdomo, J. Salomón, Evaluación de Seguridad por técnicas cualitativas y semicuantitativas, III Taller de la Cátedra de Seguridad y Riesgo, LABIOFAM, Habana, Cuba, Noviembre 2008.
- 23- Torres, A.; Rivero, J., Análisis Preventivo de Riesgo del Personal durante Mantenimiento, Simposio Internacional de Salud Laboral, Complejo Turístico Atlántico, Playas del Este, Habana, Cuba, 23-26 Abril 2005.

- 24- A. Torres, J. Rivero, Gestión de Mantenimiento Orientado a la Seguridad, *Revista Ingeniería Mecánica*, Vol. 7, Número 2, ISSN 1029-516X, Mayo / Agosto 2004
- 25- M. Perdomo, Análisis de Seguridad a través de métodos con enfoque cualitativo y semicuantitativo, tesis de doctorado en preparación, 2009.
- 26- J. Salomón, M. Perdomo, A. Torres, Del APS a los Monitores de Riesgo, Ciclo de Innovación Tecnológica, III Taller de la Cátedra de Seguridad y Riesgo, LABIOFAM, Habana, Cuba, Noviembre 2008.
- 27- Autor: Ana Teresa Carbonell Siam, Tutores: Antonio Torres, Silvio Viña, Análisis Selectivo de Percepción de Riesgo. Aplicación a la Planta de Inyectables del Laboratorio Julio Trigo, tesis de Maestría de Gestión de Recursos Humanos (en preparación), Ministerio de Informática y Comunicaciones, La Habana, Cuba, 2009.