

Revisión de herramientas informáticas para el análisis de la fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad (RAMS) de equipos industriales

Carlos PARRA MÁRQUEZ, Luis BARBERÁ MARTÍNEZ, Vicente GONZÁLEZ DÍAZ, Adolfo CRESPO MÁRQUEZ, Pedro MOREU DE LEÓN

Departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresas,
Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla
Camino de los Descubrimientos s/n.
41092 Seville, SPAIN

Phone: +34 954 487327, FAX: +34 954 487327

E-mails: parrac37@yahoo.com, lbm@esi.us.es, v.gonzalez@gdsbs.com,
adolfo.crespo@esi.us.es, pedro@esi.us.es

Resumen

El objetivo de este artículo es hacer una revisión de distintas herramientas software que dan soporte al análisis de la fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad (RAMS) de equipos industriales. Para ello, se describen y enumeran las principales características modulares de hasta tres herramientas representativas del mercado. Se pretende, por un lado, dar a conocer las distintas estructuras operativas en las que se presentan este tipo de software y sus características y, por otro, facilitar la comparación entre todas ellas mediante un análisis tabular descriptivo de los módulos comunes y no comunes. Posteriormente, se proponen un conjunto de factores de caracterización que deben tenerse en cuenta a la hora de analizar detalladamente una herramienta RAMS, ya que pueden determinar en gran medida sus funcionalidades y su adecuación a las necesidades específicas en cada caso.

1. INTRODUCCION

Una de las estrategias más modernas desarrolladas para gestionar el mantenimiento en todos sus aspectos es la basada en los análisis RAMS: Reliability, Availability, Maintainability & Safety, es decir, basada en los análisis de Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad de los equipos, cuatro factores claves a tener en cuenta para realizar una óptima gestión del mantenimiento industrial tanto en la fase preparatoria de un equipo como en su fase de operación.

Los análisis RAMS permiten pronosticar la indisponibilidad de un proceso o equipo, de acuerdo a su configuración, fiabilidad de sus componentes, políticas de mantenimiento, recursos disponibles y filosofía operacional. El análisis tiene en cuenta, entre otros factores: la fiabilidad de los equipos, la configuración del sistema, los fallos aleatorios y sus reparaciones, la influencia del "error humano", las pérdidas de capacidad por degradación, el tiempo fuera de servicio por mantenimiento planificado, la disponibilidad de recursos humanos y materiales y la probabilidad de ocurrencia de eventos especiales no deseados. Estos análisis permiten predecir la mayoría de los

escenarios de paro (fallos) del proceso o equipo e identificar las implicaciones económicas de cada escenario probable, considerando la configuración del sistema, la fiabilidad de los equipos, las políticas de mantenimiento y la filosofía operacional. Asimismo permiten identificar los equipos y sistemas críticos, con el objetivo de proponer acciones de mitigación, basados en un análisis costo-riesgo.

Para posibilitar en la práctica estos análisis sobre los equipos, distintos fabricantes han puesto a punto paquetes informáticos para cubrir y dar soporte a todas las necesidades en este campo. Sin embargo, el conjunto de herramientas software disponibles en el mercado no obedecen a una estructura definida, por lo que su evaluación y posterior comparación tanto a nivel cuantitativo como cualitativo, es compleja. Por este motivo, se ha desarrollado el presente estudio.

Es, por tanto, objeto de este estudio la búsqueda, análisis y descripción de un conjunto de paquetes de software de gestión de la fiabilidad para su aplicación tanto a la fase preparatoria y de diseño de los equipos, como a las operaciones relativas a la fase de operación. Concretamente se cubrirán los siguientes objetivos: revisión de un conjunto representativo de herramientas software de soporte a la gestión de la fiabilidad, utilizando análisis RAMS; descripción modular de cada herramienta, funciones y características más importantes de cada una de ellas para facilitar su comparación.

Conviene mencionar que cada software puede emplear distintas estrategias o metodologías de cálculo, dando origen a módulos o subpaquetes distintos según la estrategia implementada. En general, como se observará más adelante, cada paquete integrado ofrece al usuario varios módulos correspondientes a diferentes estrategias de análisis (por ejemplo, árboles de fallo, FMEA, Weibull, Markov, etc).

En el presente documento, se ha sometido a estudio un total de tres herramientas software de gestión de fiabilidad. Los paquetes informáticos considerados constituyen un conjunto muy representativo de los mismos, habiéndose seleccionado los principales y más importantes. El objetivo no es evaluar un número elevado de herramientas, sino una muestra representativa y accesible de los mismos.

No forma parte del estudio la comparación entre las eficiencias computacionales de los paquetes seleccionados. Asimismo, queda excluida a todos los niveles la valoración económica del uso de estos paquetes informáticos.

2. HERRAMIENTAS SOFTWARE DE ANÁLISIS RAMS

Las herramientas software que se tratan en este estudio y sus módulos (tabla 1), son paquetes informáticos orientados, por un lado, al análisis de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad de los equipos (Análisis RAMS), tanto basados en datos estándares como basados en datos históricos y, por otro, orientados al análisis de optimización de costes y planificación de acciones de mantenimiento. Estas herramientas pueden ser utilizadas tanto en la fase de operación como en la fase preparatoria o de diseño, como soporte a la toma de decisiones en la gestión global del mantenimiento.

Cada una de las herramientas se compone de varios módulos, los cuales se comercializan de forma independiente, es decir, aunque un conjunto de módulos

constituyan un paquete informático integrado, tienen precios individuales, de forma que es posible la adquisición por separado de aquellos módulos que realicen la función que se desee. A continuación, en la *tabla 1* se muestra cada herramienta y se detalla los módulos que ofrece cada una de ellas:

RELEX	ITEM	RELIASOFT
* Fault Tree	* Fault Tree Analysis (FTA)	* XFMEA
* Event Tree	* Event Tree Analysis (ETA)	* FMEA Accelerator
* FMEA	* Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)	* PREDICT
* Reliability Prediction	* Reliability Prediction	* BlockSim
* RBD (Reliability Block Diagram) - OpSim (System Optimization and Simulation)	* Reliability Block Diagram (RBD)	* WEIBULL++
* Maintainability	* Maintainability	* XFRACAS
* Markov	* Markov Analysis	* RCM++
* Weibull	* Spares Scaling and Ranging	* ALTA
* FRACAS		* RENO
* Human Factors		* DOE++
* LCC (Life Cycle Cost)		* MPC
*Phase diagrams		* RGA

Tabla 1. Herramientas y módulos constitutivos (elaboración propia)

2.1 INTRODUCCIÓN A LAS HERRAMIENTAS

** RELEX **

El software RELEX integra un total de doce módulos (tabla 1), centralizados en una misma interfaz desde la que se puede acceder de manera rápida a todos ellos, con posibilidad de simultanearlos dos a dos.

Estos módulos permiten hacer un análisis amplio y preciso de la fiabilidad de un equipo o sistema. Cada uno de ellos puede operar de forma totalmente independiente, pero a su vez, están integrados en una misma plataforma común (Relex Architect) que permite sincronizar los cálculos integrándolos en una misma interfaz. Esta estructura posibilita a cada módulo mostrar datos de forma dinámica, lo que asegura que los resultados de los cálculos realizados en un módulo estén inmediatamente disponibles en los otros. Este único nivel de interactividad proporciona consistencia e incrementa la exactitud en todos los análisis.

Una vez se realizan los diferentes análisis, el software elabora un informe de resultados. La aplicación para elaborar gráficos que posee la herramienta Relex permite elegir entre una amplia variedad de plantillas ya confeccionadas, con la posibilidad de adaptarlas según requerimientos del usuario y visualizar correctamente los resultados que se deseen. Por otro lado, la base de datos común que los distintos módulos de Relex llevan incorporada o que se han ido incorporando, permiten de forma dinámica mostrar y actualizar resultados según se vayan modificando los valores introducidos en dichas

bases. Por ejemplo, la tasa de fallos de los componentes calculada por Relex Reliability Prediction podría ser utilizada en Relex FMEA para obtener automáticamente las tasas de modos de fallos. O bien se podrían utilizar estas tasas de fallo en Relex RBD para tenerlas en cuenta en los resultados de fiabilidad y disponibilidad de componentes.

** ITEM **

El software Item fue diseñado en 1986 con el objetivo de abordar tanto el campo de la Calidad (Quality) como el campo de las evaluaciones RAMS, por ello, este software se utiliza para hacer análisis de fiabilidad (Reliability), disponibilidad (Availability), mantenibilidad (Maintainability) y seguridad (Safety) de equipos industriales, es decir, Item Software es apto para realizar evaluaciones RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety).

La herramienta integra un total de 8 módulos (tabla 1) relacionados con técnicas de Fiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad, Seguridad y Riesgo. Al igual que el software Relex, estos módulos también permiten realizar análisis precisos de la fiabilidad de un equipo o sistema. Cada módulo puede operar de forma totalmente independiente ó de forma integrada, el software permite la integración de los diferentes módulos en función de las necesidades de cada organización.

Item Toolkit utiliza estándares internacionales reconocidos y permite desarrollar análisis integrales de Fiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad, Seguridad y Riesgo a nivel de sistemas, equipos y componentes.

** RELIASOFT**

La compañía Reliasoft ha diseñado un conjunto de 12 herramientas (tabla 1) relacionadas con el área de Fiabilidad y Análisis de Fallos. Reliasoft está centrado en el área de fiabilidad, calidad y planificación de actividades de mantenimiento en equipos y procesos. Este software también utiliza estándares internacionales reconocidos y permite, al igual que Relex e Item, realizar un análisis amplio y preciso de la fiabilidad de un equipo o sistema.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE MÓDULOS COMUNES

Para facilitar el análisis comparativo por parte del lector, a continuación se describen en formato de tabla las principales características de todos aquellos módulos que tienen en común las tres herramientas, ya sean comunes a todas ellas (*tabla 2*) o comunes dos a dos (*tabla 3* y *tabla 4*). Para ello, se ha elaborado una síntesis de las principales funciones que cubre cada uno de los módulos en función del fabricante para, de esta forma, poder valorar la existencia o no de diferencias funcionales entre módulos comunes.

El estudio por comparación de módulos comunes de distintas herramientas software de análisis RAMS, sugiere la existencia de módulos “básicos” para la implementación eficaz y eficiente de dichos análisis utilizando plataformas informáticas de arquitectura modular.

RELEX	ITEM	RELIASOFT
<p>* FMEA</p> <p>Este módulo realiza un análisis de los modos de fallo y sus efectos, es decir, analiza los potenciales modos de fallo de un sistema y los efectos resultantes de esos fallos. Soporta la mayoría de estándares industriales y permite realizar el diseño y la ejecución de análisis FMEA a nivel sistema (bloque funcional), grupos de piezas y a nivel componente. Las tasas de fallo calculadas por el módulo de Predicción de Fiabilidad se actualizan constantemente, y de forma instantánea en Relex FMEA. Combinando el módulo de Relex Fault Tree con el de FMEA se puede generar un árbol de fallos mostrando todos los modos de fallo que contribuyen a producir un efecto.</p> <p>Este módulo organiza y almacena la información en una tabla y permite definir las consecuencias del fallo, realizando también valoraciones de la criticidad a través de números de prioridad del riesgo (RPN=Risk Priority Number) y cálculos probabilísticos de los modos de fallo.</p>	<p>* FMECA</p> <p>Este módulo identifica los modos de fallo, sus efectos y realiza un análisis de criticidad para clasificar los modos de fallo en función de su gravedad y probabilidad de ocurrencia real. Proporciona una interfaz gráfica intuitiva con múltiples opciones para construir y realizar un análisis, facilitando la entrada de datos. Soporta los estándares de fiabilidad: MIL-STD-1629^a, IEC-61508 FMEDA, ISO9000/QS9000 y BS5760Part 5. Adicionalmente, el módulo incluye una librería de modos de fallos procedentes del estándar MIL-HDBK-338.</p>	<p>* XFMEA - * FMEA Accelerator</p> <p>El módulo XFMEA posee una interfaz personalizable (también los informes) y se integra con Weibull++, ALTA y BlockSim. Permite enlazar o adjuntar archivos al análisis (diagramas de flujo, etc.), copiar/pegar e importar/exportar secciones enteras entre análisis diferentes, así como importar modos de fallo desde Excel. El software viene con una matriz de escalas predefinidas de severidad, ocurrencia y detección, que permite la creación de escalas propias. Define y gestiona las acciones recomendadas e identificadas por el análisis FMEA, incluyendo el envío de notificaciones vía e-mail y la creación de informes y gráficos. El módulo posibilita a múltiples usuarios trabajar cooperativamente en el análisis, así como restringir el acceso a usuarios no autorizados.</p> <p>El módulo FMEA Accelerator permite elaborar un análisis FMEA de manera rápida y simplificada mediante el uso de plantillas preparadas, que proporcionan una descripción general de las funciones típicas, fallos, efectos y causas. Estas plantillas sirven como punto de partida para posteriores análisis específicos y ayudan a identificar, evaluar y atacar los modos de fallo críticos. Posee una amplia colección de plantillas para una gran variedad de componentes y se integra con los módulos Xfmea y RCM++.</p>
<p>* Reliability Prediction</p> <p>Realiza un análisis cuantitativo para predecir la tasa de fallo de un sistema en función de sus componentes y condiciones de funcionamiento. La predicción de la fiabilidad se realiza mediante un cálculo matemático utilizando ecuaciones referenciadas a un estándar y desarrolladas con técnicas estadísticas para completar la posible falta de datos existente en el funcionamiento de equipos reales. En primer lugar se define el sistema y todos sus componentes, a continuación, se determina la tasa de fallo de cada componente y se suman para obtener la tasa de fallo del sistema.</p>	<p>* Reliability Prediction</p> <p>Predice las frecuencias de fallos y MTBF en equipos existentes. Utiliza 5 modelos de predicción de fiabilidad: MIL-HDBK-217 F Notice 2 US Military(Electronic), Telcordia TR-332 & SR-332 US Telecom (Electronic), IEC62380 European Telecom(Electronic), China(GJB/Z) 299B Chinese Military(Electronic), NSWC06/LE1US Naval(Mechanical).</p>	<p>* PREDICT</p> <p>Identifica las áreas de fallos potenciales para mejorar la fiabilidad global del sistema. Este módulo se basa en los principales estándares de fiabilidad (MIL-217, Bellcore, NSWC, RDF 2000 y China 299B) y ofrece una colección extensa de librerías de componentes predefinidas, y la posibilidad de crear librerías propias con el objetivo de ahorrar tiempo en análisis futuros. En líneas generales, permite: crear una configuración del sistema, definir las características de cada componente y condiciones operativas, calcular resultados (Tasas de Fallo, etc.) a cualquier nivel, generar diagramas, gráficos, tablas e informes personalizables y exportar/importar datos.</p>

Tabla 2. Descripción de módulos comunes entre las herramientas Relex, Item y Reliasoft.

RELEX	ITEM	RELIASOFT
<p>* RBD – OpSim</p> <p>Permite hacer análisis de diagramas de bloques de fiabilidad, es posible dibujar una distribución visual del sistema en pantalla y realizar cálculos de disponibilidad, fiabilidad, indisponibilidad, MTBF, tasa de fallo, indisponibilidad media, tiempo total de inactividad y tasa de riesgo.</p> <p>El módulo determina si los resultados pueden ser obtenidos a través de una solución analítica y, si es así, los calcula. No obstante, si requiere una solución simulada, automáticamente emplea el sistema de simulación por Monte Carlo para completar el análisis. De esta manera, el módulo emplea técnica más eficiente para analizar cada diagrama de bloques en particular. Incluye varios tipos de distribuciones de fallos y reparaciones: exponencial, lognormal, normal, Rayleigh, Weibull y otras. Este sistema de simulación también soporta numerosos tipos de diagramas incluyendo series simples, operación en paralelo, redundancias y otros tipos de configuraciones. Por otra parte, el módulo permite personalizar los diagramas de bloques a las necesidades del usuario: imágenes externas, control de fuentes, etc.</p> <p>Relex OpSim amplía las funciones del módulo RBD para modelar escenarios de la vida real. Permite incorporar actividades de mantenimiento y evaluar su influencia en la fiabilidad, así como gestionar la disponibilidad de piezas de repuesto y recursos de reparación de componentes críticos. Elimina la suposición (respecto a costes) de que todas las reparaciones resultan exitosas al 100%, se pueden especificar factores de degradación en todos los componentes reparados.</p>	<p>* RBD</p> <p>Este módulo de análisis de fiabilidad de diagramas de bloque, permite analizar la fiabilidad y la disponibilidad de sistemas y subsistemas. Permite diseñar de forma sencilla la configuración lógica de bloques (serie–paralelo), a su vez, utiliza álgebra Booleana para determinar las frecuencias de fallos de los sistemas y modelos de Markov.</p> <p>Permite estimar la degradación del rendimiento debido a la falta de disponibilidad de uno o más bloques en el sistema. Esta característica permite al usuario asignar la capacidad de procesamiento a cada bloque en el modelo, y calcular el rendimiento reducido del sistema en caso de fallo parcial del mismo.</p> <p>Los índices que permite calcular por cada bloque son: tasa de fallo, MTBF, Fiabilidad y Disponibilidad.</p>	<p>* BlockSim</p> <p>El módulo proporciona una plataforma para realizar análisis utilizando Diagramas de Bloque de Fiabilidad (RBD). Realiza análisis de sistemas utilizando técnicas analíticas y simulación de eventos discretos para predecir determinados parámetros de un sistema como la fiabilidad o disponibilidad del mismo. Este módulo ofrece facilidades para modelar los siguientes escenarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento Correctivo. - Mantenimiento Preventivo. - Intervalos de inspección. - Bloques de reparto de carga. Cada bloque soporta un porcentaje de la carga total. - Bloques de reserva, disponibles para activarse en situaciones específicas. - Configuraciones K-out-of-N, que es un tipo de puerta lógica que simplifica la representación de un modelo complejo de combinaciones de fallos. Por ejemplo, si para que funcione un sistema de 5 bombas necesitamos que estén funcionando 4, tendríamos que modelar exclusivamente 2 de ellas. Este tipo de configuraciones aplican este razonamiento, por lo que sería K=2 y N=5. - Gestión de piezas de repuesto y plantilla de mantenimiento. <p>El módulo posee plantillas predefinidas y la opción para importar/exportar datos. Además, permite activar bloques individuales para efectuar análisis de tipo "qué pasaría". BlockSim incorpora análisis de árboles de fallos, pudiéndose integrar ambos en el mismo análisis, copiando eventos de un árbol de fallos y agregándolos como bloques en un diagrama de bloques y automáticamente convirtiendo los árboles de fallos en diagramas de bloques.</p>

Tabla 2. Descripción de módulos comunes entre las herramientas Relex, Item y Reliasoft.

RELEX	ITEM
<p>* Fault Tree</p> <p>Este módulo realiza Análisis de Árboles de fallos y permite identificar sucesos importantes, por ejemplo, aquellos que pueden tener consecuencias críticas. Realiza los análisis utilizando una aproximación “por encima o por debajo”. Se comienza determinando el evento del nivel más alto y después se van evaluando todos los eventos que pueden contribuir a la ocurrencia del mismo. El diagrama del árbol de fallos resultante es una representación gráfica de la cadena de eventos de un determinado sistema o proceso, construida utilizando configuraciones de puertas lógicas.</p> <p>Posee una interfaz totalmente personalizable y permite definir puertas, eventos, asignar prioridades, cortar, copiar y pegar elementos del diagrama, elegir títulos, fuentes, imágenes, colores y otros parámetros para que el diagrama se adecue a las especificaciones del usuario. Además, la interfaz proporciona una vista simultánea del árbol de fallo en una vista gráfica estándar así como una vista en forma de tabla. La tabla puede ser plegable y desplegable, lo cual simplifica la visualización y edición de las propiedades de distintas puertas y sucesos, especialmente en árboles grandes. La representación de un árbol de fallos puede ser exportado como un mapa de caracteres o como un archivo *.jpeg para ser incluido en documentos, presentaciones o páginas Web.</p>	<p>* Fault Tree Analysis (FTA)</p> <p>Este módulo de análisis de árbol de fallos (FTA) permite descomponer los sistemas en el nivel más bajo de posibles eventos de fallos, a través de puertas lógicas (modelo de lógica Booleana). Ayuda a identificar la probabilidad de fallo y los efectos que pueden generar éstos sobre la seguridad de las operaciones.</p> <p>Permite realizar análisis cualitativos y cuantitativos de riesgo (probabilidad de fallos x consecuencias), con el objetivo de analizar las posibles causas de eventos catastróficos que puedan afectar a la seguridad de las personas, ocasionar daños o impactos de gran magnitud en el sistema.</p>
<p>* Event Tree</p> <p>El módulo Relex Fault Tree se completa con el módulo Event Tree, cuya interfaz puede ser utilizada para visualizar las cadenas de eventos usando una serie de ramas o divisiones que representen los fallos de sucesos y la ruta correcta. Al final de cada ruta, se pueden determinar las consecuencias sobre sistema. El dispositivo de cálculo de Relex Event Tree puede procesar la probabilidad real de ocurrencia de las consecuencias.</p> <p>Ambos módulos se enlazan de forma automática con el resto de módulos de Relex. El usuario puede generar de forma automática un árbol de fallos completo a partir de un FMEA. Esta característica, permite determinar visualmente qué modo de fallo es el responsable de que se produzca un determinado efecto.</p>	<p>* Event Tree Analysis (ETA)</p> <p>Este módulo permite determinar la consecuencia de un modo de fallo y la frecuencia con la que se espera que ocurra cada consecuencia.</p> <p>Eventos catastróficos tales como: roturas de tuberías, alarmas y shutdowns que no funcionaron así como errores humanos, son escenarios en los cuales el método ETA es muy apropiado. Este módulo se puede conectar con los módulos FTA y RBD.</p>

Tabla 3. Descripción de módulos comunes entre las herramientas Relex e Item Software.

RELEX	ITEM
<p>* Maintainability</p> <p>Este módulo realiza análisis de mantenibilidad y, mediante estadísticas de evaluación, minimizar los tiempos de reparación de un sistema aumentando la disponibilidad del mismo. Permite definir las tareas de reparación y reutilizar esta información a través del diseño. Utilizando estas pautas, el módulo calcula parámetros de mantenimiento incluido el MTTR (Mean Time To Repair), el Tiempo Medio de Mantenimiento Correctivo, el Tiempo Medio de Mantenimiento Preventivo y el Máximo Tiempo de Mantenimiento Correctivo.</p> <p>El usuario puede definir tareas de reparación según sus requerimientos, de acuerdo a un mayor o menor nivel de detalle. Este módulo está integrado con el resto de módulos de Relex y puede ser utilizado de forma independiente o junto con Relex Reliability Prediction y/o Relex FMEA. Asimismo, genera informes del análisis adaptados a las necesidades propias del usuario.</p>	<p>* Maintainability</p> <p>Este módulo permite estimar el número de horas que un sistema o dispositivo estará inoperante mientras está sometido a acciones de mantenimiento. Permite realizar diagnósticos sobre los tiempos medios de reparación (tiempos de indisponibilidad). Cumple con el estándar de mantenimiento: MIL-HDBK-472, Procedure V, Method A. En términos generales, con este módulo se pueden analizar principalmente: problemas de mantenibilidad, procesos de asignación de recursos económicos y horas hombre en la ejecución del mantenimiento, impactos económicos por horas de reparación, problemas de logística y asignación de repuestos. Para un componente o grupo de componentes pueden calcularse: Tiempo medio de reparación (Mean Time To Repair, MTTR), Tiempo medio de mano de obra (Mean Man Hours, MMH) y Tiempo medio de mano de obra por reparación (Mean Man Hours per Repair, MMHR).</p> <p>Además, identifica las áreas con problemas potenciales de mantenimiento, realiza una evaluación inicial del tiempo de inactividad y necesidades de personal e identifica elementos reemplazables (RIS).</p>
<p>* Markov</p> <p>Este módulo realiza análisis de fiabilidad para sistemas con causas de fallos comunes, degradación, fallos dependientes o inducidos. Los análisis realizados utilizan diagramas de transición de estados, es decir, representaciones gráficas que muestran tanto los estados de fallo y operación de un sistema como las transiciones entre ellos, mediante un editor de gráficos que ayuda a la elaboración de los mismos. Una vez que las figuras de un determinado diagrama de estado están en el lugar apropiado y correctamente conectadas, el usuario debe definir los rangos/tasas de transición, que son generalmente rangos de fallos o reparación entre las figuras. Además, realiza cálculos del MTBF, MTTF y MTTR, ofreciendo también la posibilidad de obtener informes predeterminados de los análisis realizados así como de adaptarlos según los requerimientos del usuario.</p>	<p>* Markov Analysis</p> <p>Este módulo permite realizar simulaciones avanzadas de fiabilidad y disponibilidad basadas en datos de tiempo. El modelo de Markov, ayuda a representar diferentes estados de un determinado sistema (operación y mantenimiento). Adicionalmente, este módulo permite simular datos de funciones continuas y discretas.</p>

Tabla 3. Descripción de módulos comunes entre las herramientas Relex e Item Software.

RELEX	RELIASOFT
<p>* Weibull</p> <p>Este módulo de análisis proporciona una herramienta estadística capaz de predecir tendencias y analizar la fiabilidad de un sistema, ofreciendo la posibilidad de examinar cualquier dato de fallo.</p> <p>Una vez introducidos los datos, determina la distribución de probabilidad más conveniente en función de los datos introducidos. Relex Weibull soporta la distribución Weibull entre otras distribuciones, como por ejemplo la distribución exponencial, Normal, Logarítmica, etc., de esta forma asegura que el análisis sea lo más preciso posible. El usuario puede elegir el tipo de distribución o permitir que sea el software quien elija la más óptima.</p> <p>Una vez realizado el análisis, el módulo elabora gráficos con la información obtenida y se pueden observar los puntos correspondientes a los datos introducidos a lo largo de la curva de distribución. Además, los gráficos pueden ser personalizados según requerimientos del usuario definiendo, por ejemplo, colores, fuentes, títulos, ejes y, también, filtrar los resultados que se desean mostrar.</p>	<p>* WEIBULL++</p> <p>Weibull++ está diseñado específicamente para análisis de datos de fiabilidad. Las funcionalidades más importantes que incluye este módulo son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad de varias distribuciones de probabilidad, entre las que destacan: Weibull, Mixed Weibull, Normal, Lognormal, Exponencial y Gamma. - Posee líneas de regresión para estimación de parámetros. - Calcula límites de confianza. - Ofrece un asistente de ayuda a la selección de la mejor y más adecuada distribución de probabilidad para cada caso. - Ofrece facilidades gráficas y de trazado. Genera automáticamente una matriz de gráficas personalizables de fiabilidad. También dispone de una opción de autogeneración de informes. <p>Este módulo, a su vez, proporciona herramientas adicionales y asistentes para facilitar, mejorar y complementar el análisis. Estos incluyen hojas de cálculo, asistentes de comparación estadística, ayudantes de ecuaciones, entre otros.</p>
<p>* FRACAS (Failure Reporting Analysis and Corrective Action System)</p> <p>Este módulo permite la entrada de datos, almacenamiento y análisis para la medida de la fiabilidad, cuyo fin es la mejora mediante acciones correctivas. Existen varios acrónimos para herramientas de acciones correctivas que son sinónimos: FRACAS, DRACAS y PRACA. Relex FRACAS permite localizar datos de pruebas, datos de campo o información de mantenimiento e identificar problemas, editarlos y corregirlos, mejorando la fiabilidad de los mismos y su gestión. Así mismo, el módulo puede incorporar datos y experiencias de proyectos pasados en futuros diseños para asegurar que los problemas no vuelvan a ocurrir. Puede conectarse con el resto de módulos de Relex y posee numerosas opciones para editar documentos, gráficos e informes. También puede cuantificar los resultados de las acciones correctivas, ya que, a través del cálculo del MTBF se puede demostrar la efectividad de dichas acciones y detectar qué eventos o sucesos han sido corregidos.</p>	<p>* XFRACAS</p> <p>Este módulo da soporte al proceso de gestión de incidentes y a las actividades de FRACAS con una serie configurable de procesos para la resolución de problemas.</p> <p>Provee un servicio completo de informe de incidentes (fallos), análisis y actividades de acción correctiva (FRACAS) en cualquier etapa del ciclo de vida del equipo. Además, facilita la gestión de actividades de resolución de problemas a través de la asignación de acciones a personal especificado y del seguimiento del desarrollo de la resolución. El módulo posibilita un acceso rápido a la información y la posibilidad de generar notificaciones automatizadas vía correo electrónico.</p>

Tabla 4. Descripción de módulos comunes entre las herramientas Relex y Reliasoft.

2.3 Características de módulos adicionales (no comunes)

Una vez realizada la descripción de las funcionalidades modulares comunes entre las herramientas objeto de análisis (*tabla 2, tabla 3 y tabla 4*), se procede a continuación a describir una serie de módulos adicionales que, no siendo comunes, confieren a cada herramienta en cuestión una serie de funcionalidades específicas que pueden resultar de interés en la valoración global de la herramienta software. Así, se describen en las *tablas 5, 6 y 7* las características propias de los módulos específicos del software Relex, Item y Reliasoft, respectivamente.

RELEX	
MODULOS PROPIOS	CARACTERISTICAS
* Human Factors	<p>Este módulo está basado en un proceso FMEA a partir del cual, modela un proceso humano y utiliza este formato para obtener lo que se denomina un HF-PFMEA (Human Factors Process Failure Mode and Effect Analysis). Los PFMEAs son principalmente utilizados para valorar la seguridad y fiabilidad de un proceso analizando modos potenciales de fallo de dicho proceso. Llevando esto al siguiente nivel, HF-PFMEAs pueden ser utilizados para valorar la seguridad y fiabilidad humana analizando procesos o cuestiones realizadas por personas.</p> <p>El análisis comienza por descomponer un proceso en tareas discretas a fin de que las acciones asociadas con cada tarea puedan ser analizadas como potenciales fallos humanos. Basándose en la información de los errores, el efecto resultante de un error puede ser determinado y puede también definirse su severidad y probabilidad. Este módulo ofrece también la posibilidad de obtener informes que pueden ser modificados según requerimientos del usuario.</p>
* LCC (Life Cycle Cost)	<p>Este módulo calcula el coste de un equipo en relación a su tiempo esperado de vida., incluyéndose para ello diferentes tipos de costes como los de mantenimiento, entre otros. De esta forma, permite realizar estudios de varias alternativas de adquisición en términos de costes globales del equipo. Por ejemplo, puede que se desee comparar un ítem con coste inicial más elevado y costes de reparación más bajos con respecto a un ítem con un coste inicial más bajo y costes de reparación más elevados.</p> <p>Permite definir un amplio rango de costes variables incluyendo las dependientes del tiempo. Se pueden incluir aspectos como tasa de fallos, MTBF, MTTR, fiabilidad y disponibilidad, datos que se obtienen con otros módulos de Relex Software.</p>
*Phase diagrams	<p>Simplemente permite la edición de diagramas de fase.</p>

Tabla 5. Módulos propios de la herramienta Relex.

ITEM	
MODULOS PROPIOS	CARACTERISTICAS
* Spares Scaling and Ranging	El módulo de Spares Scaling and Ranging, permite realizar análisis de optimización de inventarios. Utiliza algoritmos diseñados por el Ministerio de Defensa de los Estados Unidos (Optcost & Repstock). En términos generales, este módulo puede ayudar a: definir el stock de repuestos óptimos en función del riesgo, identificar el número mínimo y máximo de repuestos, definir los repuestos críticos y evaluar los tiempos de reposición de los mismos.

Tabla 6. Módulos propios de la herramienta Item

RELIASOFT	
MODULOS PROPIOS	CARACTERISTICAS
* RCM++	<p>Este módulo incluye los estándares industriales de RCM más conocidos a nivel mundial: ATA MSG3, SAE JA1011, SAE JA1012, SAE J1739, AIAG FMEA-3/4 y MIL-STD-1629A. Utiliza las distribuciones Weibull, exponencial, normal, lognormal o Weibull mixto para describir el comportamiento de los fallos en equipos y utiliza matrices de cálculo y simulación disponibles en el módulo BlockSim, con el objetivo de estimar el nivel (intervalo) óptimo de mantenimiento y comparar los costos operacionales de varias estrategias de mantenimiento.</p> <p>Facilita la creación de paquetes de tareas de mantenimiento y la agrupación de tareas individuales en paquetes basados en intervalos o equipos. RCM++ contempla todas las etapas propuestas por la metodología Reliability Centered Maintenance y está integrado con los módulos Xfmea, Weibull++, ALTA y BlockSim. Además, proporciona un conjunto de informes prediseñados para su posterior análisis, que pueden ser generados directamente en formato Word o Excel y también muestra la información de análisis en forma gráfica. En términos generales, este módulo permite: planificar las reuniones de trabajo del proceso de implantación del RCM, incluir información básica sobre el contexto operacional, describir la configuración del equipo o sistema a evaluar, desarrollar el FMEA, definir las funciones, fallos funcionales y modos de fallos del sistema, desarrollar un proceso de evaluación de la criticidad de los modos de fallos, jerarquizar los modos de fallos a partir del factor RPN (Risk priority number), definir las estrategias de mantenimiento en función de la lógica de decisión del RCM, incluir y comparar los costes de las actividades de mantenimiento seleccionadas a partir del análisis RCM e introducir datos relacionados con el historial de fallos, con el objetivo de realizar evaluaciones básicas de indicadores de fiabilidad.</p>

<p>* ALTA</p>	<p>Este módulo permite realizar análisis de datos Quantitative Accelerated Life Testing (QALT), es decir, Prueba Cuantitativa de Envejecimiento Acelerado. En este tipo de análisis, las tensiones que provocan el fallo del equipo están aceleradas bajo condiciones controladas para provocar el fallo en un periodo de tiempo más corto sin introducir mecanismos adicionales de fallo que no ocurrieran en condiciones de uso normal. Los análisis QALT proporcionan información relacionada con el tiempo entre fallos y permite estimar la vida esperada del equipo en condiciones normales de uso. Mediante este análisis se puede determinar la fiabilidad, probabilidad de fallo, tiempo de garantía, vida promedio y toda la información referente a la vida esperada del equipo.</p> <p>Este módulo está disponible en dos versiones: Standard y PRO. La versión estándar se considera una herramienta básica que permite realizar análisis QALT. La versión PRO (Professional) incluye todas las características de la versión estándar y, además, técnicas avanzadas de análisis QALT. Alta PRO permite analizar el efecto de hasta ocho tipos de presión sobre la vida de los productos, por ejemplo, realiza análisis de datos de pruebas con presión o estrés variable en el tiempo tales como modelos de step-stress, es decir, niveles de estrés.</p> <p>Este módulo permite la entrada de datos a partir de hojas de cálculo y admite el análisis de datos con Weibull, distribución Log-Normal y distribución exponencial. Admite también modelos de tensiones múltiples y variables en el tiempo incluyendo el Modelo de Riesgo Proporcional y Daño Acumulativo. El módulo Alta se integra fácilmente con el Weibull++ y se pueden acceder a los resultados de su análisis desde BlockSim, RENO, Xfmea y RCM++.</p>
<p>* RENO</p>	<p>RENO es un módulo de simulación para análisis de riesgo y toma de decisiones, capaz de modelar eventos/escenarios complejos de probabilidad utilizando un diagrama de flujo. Una vez que el modelo (diagrama de flujo) se construye, se puede simular. Todos los resultados de las simulaciones están disponibles para el usuario a través de una interfaz de hojas de cálculo.</p> <p>Este módulo permite ejecutar/simular modelos generando una amplia variedad de resultados, incluyendo medias y valores mínimos/máximos, entre otros. Los resultados se pueden visualizar durante la ejecución/simulación en hojas de cálculo y/o en representaciones gráficas. Además, el módulo es capaz de determinar qué valor minimiza o maximiza un resultado específico.</p>

* DOE++	Este módulo da soporte a las técnicas tradicionales del Diseño de Experimentos (DOE) con el objetivo de estudiar los factores que puedan afectar a un equipo o proceso, identificarlos y optimizar los diseños. Posibilita el análisis detallado de los resultados experimentales, aportando información sobre el Análisis de Varianza (ANOVA), información específica según el nivel, comparaciones para diseños de un factor individual y análisis de la importancia de factores individuales e interacciones, entre otras posibilidades de análisis. Ofrece una amplia variedad de gráficos y diagramas de tipo diagnóstico e interpretativo para un mismo resultado (los diagramas múltiples facilitan la comparación entre análisis). También es posible especificar el valor objetivo de respuesta para cada análisis (valor objetivo, valor máximo o valor mínimo) para que el módulo busque distintas combinaciones de ajuste, mostrndado las soluciones en forma gráfica o numérica.
* MPC	Este módulo es específico para ayudar a la gestión exhaustiva y eficiente de los sistemas de los aviones y aeronaves y análisis de centrales eléctricas de acuerdo con las recomendaciones de la ATA (Air Transport Association's). MPC se ha sido diseñado con especial énfasis en análisis MSG-3 realizado en dos ambientes de grupos de trabajo, por equipos o de forma individual. Guía a lo largo de todo el proceso de análisis MSG-3 y ayuda a identificar el mantenimiento de elementos significativos (MSI), haciendo fácil de definir y gestionar tanto los sistemas, como los subsistemas y piezas que se incluirán en el análisis. Para cada MSI, permite definir y modificar sus funciones, fallos, efectos y causas, así como categorizar el efecto de cada fallo.
* RGA	Este módulo permite determinar el tiempo óptimo de reparación sin el conjunto de datos que serían normalmente necesarios. Al igual que el módulo ALTA, RGA está disponible en dos ediciones: estándar y profesional (PRO). Los resultados de análisis incluyen: MTBF, tasa de fallo y el tiempo necesario para conseguir un MTBF o tasa de fallo determinada. RGA PRO proporciona además la metodología para combinar datos de sistemas reparables y estimar el tiempo óptimo de reparación (con determinados costes de reparación y revisión).

Tabla 7. Módulos propios de la herramienta Reliasoft.

2.4 FACTORES DE CARACTERIZACIÓN A CONSIDERAR

A la hora de analizar con detalle una herramienta software de apoyo a la gestión de la fiabilidad mediante análisis RAMS, hemos de considerar y valorar ciertos criterios que pueden determinar en gran medida sus funcionalidades y su adecuación a las necesidades específicas en cada caso.

Independientemente de las características propias de una herramienta que puedan resultar interesantes o necesarias a un determinado usuario (análisis específicos) en función de sus necesidades y contexto, en este apartado se comentan una serie de atributos de índole general intrínsecos del producto que, una vez realizada la revisión de las tres herramientas, podemos considerarlos de ayuda al usuario a la hora de elegir el mejor producto de entre varios que cumplen unas determinadas expectativas funcionales.

A continuación se proponen y explican de forma breve y sencilla un conjunto de criterios generales a tener en cuenta en el proceso de evaluación de una herramienta, que permiten valorar de manera general la facilidad que ofrece dicho software a la hora de implementarlo en una organización, atendiendo a las características y necesidades propias de la misma.

- Flexibilidad: facilidad para adaptarse a posibles cambios y procesos en la organización, sin que afecte a la totalidad del sistema.
- Modular: facilitar la gestión, el mantenimiento y las actualizaciones.
- Facilidad de uso: favorecer su comprensión y evitar la complejidad. El sistema debe eliminar tareas redundantes y reducir la carga administrativa.
- Integridad entre módulos: a modo de ejemplo, hemos visto como la herramienta Relex e Item poseen una interfaz común desde la que se cargan la totalidad de sus módulos. Reliasoft, sin embargo, no tiene una interfaz común sino que es cada módulo el que tiene su interfaz propia.
- Tipo de formación requerida: nivel de formación que requiere la herramienta y posibilidad o no de impartir cursos de capacitación de personal.
- Confidencialidad y Disponibilidad: de uso y acceso al sistema y a la información en función del usuario (seguridad). Posibilidad de utilización de la herramienta por parte de distintos usuarios simultáneamente siempre mediante autenticación.
- Configurable: posibilidad de configurar las aplicaciones de cada módulo en varios niveles: a nivel de sistema (administrador) y a nivel de usuario, con distintas opciones de aplicación.
- Accesibilidad: enlace directo o no a bases de datos.
- Ergonomía: ¿Es intuitivo? ¿La aplicación informática utiliza una interfaz de operación estándar similar a la de aplicaciones ofimáticas?
- Rendimiento computacional: tiempo de respuesta aceptable en sus funciones.
- Visualización gráfica: permite o no la visualización de los datos en formato gráfico.

- Importación/exportación: permite o no la exportación/importación de datos en otros formatos (Word, PDF, Excel, etc.).
- Integración global de la herramienta: facilita o no la integración con otros sistemas (SAP, Oracle, etc.).
- Productos que incluye: módulos disponibles de gestión que ofrece la suite y configuran el software.
- Demostración previa: posibilidad o no de probar la herramienta en funcionamiento.
- Instalación/implantación: posibilidad o no de visitas guiadas para la adopción del software.
- Servicio de consultoría: asesoramiento en la propia gestión y utilización del software.
- Servicio de apoyo técnico: ubicación zona geográfica, medios de soporte, tiempos de espera.
- Requisitos de implementación: actividades necesarias previas a la implantación.

Con respecto a los factores económicos de coste global, debe tenerse en cuenta al menos los siguientes factores:

- Coste del producto: precio del software.
- Coste de implementación: instalación propiamente dicha.
- Coste del mantenimiento del software: coste/año.
- Coste de formación: precio de los cursos de formación/capacitación de personal.

3. CONCLUSIONES

En este estudio se ha realizado una revisión de los paquetes informáticos de análisis RAMS (Reliability, Availability, Maintainability & Safety), aunque algunos de ellos realizan, además, otros tipos de análisis también útiles para la toma de decisiones en el campo de la fiabilidad y la gestión global del mantenimiento, como por ejemplo los análisis de costes, repuestos, factor humano, RCM, etc.

No ha sido objeto de esta revisión el incluir un gran número de paquetes software, sino dar a conocer una selección representativa de los mismos. Esta selección incluye una gran variedad de características, de tipos de análisis que pueden realizarse y de estándares de los que pueden extraerse los datos necesarios para ejecutar los análisis. Paralelamente, otro propósito ha sido mostrar la forma en la que este tipo de herramientas se estructuran y se comercializan.

Esta revisión puede resultar especialmente útil, para cualquier organización industrial interesada en adquirir una licencia de algún software que realice este tipo de análisis, ya que permite determinar qué paquete se adecua más a sus requerimientos y necesidades reales con objeto de realizar una inversión más segura y fiable, reduciendo considerablemente las posibilidades de equivocación.

Existe una falta de normalización en la estructura y organización de estos paquetes informáticos, de forma que cada uno integra un número distinto de módulos, los cuáles realizan análisis muy específicos y distintos unos de otros. Cada módulo se comercializa normalmente por separado, con precios independientes, permitiendo que una empresa pueda contratar sólo aquellos que más le interesen sin necesidad de tener que adquirir la licencia del paquete completo.

Para el análisis de equipos existentes, se pueden emplear tanto datos procedentes de estándares como datos procedentes de archivos históricos (bases de datos). Se puede estudiar de este modo el estado en que se encuentra un determinado equipo desde el punto de vista de su fiabilidad, mantenibilidad, etc., en un momento concreto de su vida operativa, como consecuencia de su entorno operacional o condiciones de trabajo y rendimiento, que pueden haber cambiado desde su instalación.

Como se ha puesto de manifiesto en este estudio, existen una serie de características y módulos comunes entre las herramientas tratadas, las cuales se han descrito y clasificado de forma tabular para facilitar su comparación. También se han abordado cada uno de los módulos, características y funcionalidades propias de cada software que facilitan la diferenciación funcional de los mismos.

En todos los casos, los resultados obtenidos en los diferentes módulos pueden presentarse en informes con formatos personalizados por el usuario, adecuándose a sus requerimientos, y pueden a su vez almacenarse en la base de datos gestionada por el propio software que irá constituyendo el histórico de datos de los activos industriales de la empresa, para futuros análisis.

También se han propuesto una serie de criterios que van mas allá de las características o funcionalidades propias de la herramienta, pero que deben igualmente de tenerse en cuenta a la hora de evaluar cualquier herramienta software de análisis RAMS, por tratarse de factores que pueden determinar de manera directa la funcionalidad real en operación del propio software, así como su implementación a nivel operativo y organizacional.

En definitiva, los paquetes informáticos tratados están orientados a dar apoyo a la problemática que deriva de la gestión del mantenimiento desde el punto de vista de la fiabilidad, siendo a su vez poderosas herramientas para conocer el estado de las instalaciones con respecto a las necesidades de mantenimiento que pueden requerir.

Como conclusión final, debe señalarse que esta revisión permite observar con cierta perspectiva técnica y comparativa, la diversidad de enfoques, posibilidades de uso y opciones de aplicación que presentan algunos de los software de análisis RAMS existentes en el mercado actual, en función de la naturaleza de los activos industriales y sus condiciones reales de trabajo.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Andrews, J.D., Morgan, J. M. 1986. "Application of the diagraph method of fault tree construction to process plant". Reliability Engineering and System Safety. 14 (2). 85 - 106.
- [2] Andrews, J.D., Brennan, G. 1990. "Application of the diagraph method of fault tree construction to a complex control configuration". Reliability Engineering and System Safety. 28. 357 – 384.
- [3] Bowles, J.B., Bonnell, R. D. 1996. "Failure mode, effects and criticality analysis (What it is and how to use it)". IEEE, January.
- [4] Ernest J. Henley, Hiromitsu Kumamoto. "Probabilistic Risk Assesment, Reliability Engineering, Design and Analysis". IEEE Press. 1992. ISBN 0-87942-290-4.
- [5] David J. Smith. "Reliability, maintainability, and risk: practical methods for engineers". Newnes. 2001. ISBN 0-75060-854-4.
- [6] M. Vintr. "Reliability Assessment for Components of Complex Mechanisms and Machines". Brno University of Technology, Czech Republic. 12th IFToMM World Congress, Besançon (France), June 18-21, 2007.
- [7] Carlos Parra Marquez, Adolfo Crespo Marquez, Pablo Cortés Achedad, S. Fygueroa. "On the Consideration of Reliability in the Life Cycle Cost Analysis (LCCA). A Review of Basic Models". Safety and Reliability for Managing Risk. Londres, Reino Unido. Taylor & Francis. 2006. Pag. 2203-2214. ISBN: 0-415-41620-5.
- [8] Cepin, M., Mavko, B. 1999. "Fault Tree developed by an object-based method improves requirements specification for safety-related systems". Reliability Engineering and System Safety. 63 (2), 111- 125.
- [9] Abernethy, R.B. 1996. The New Weibull Handbook. 2ª Ed. Gulf Publishing.
- [10] Peters R. W. (2002) The RCM Benchmarking System. The Maintenance Excellence Institute & the Society of Maintenance and Reliability Professionals (SMRP).
- [11] Forrester Research, Inc. (2006). Forrester SOA Web Services Management Wave. <http://www.forrester.com/rb/research>
- [12] NORMA EN-UNE-13306:2002 Mantenimiento – Terminología del mantenimiento.
- [13] RELEX Software Corporation: www.relex.com
- [14] RELEX Software Demo.
- [15] Item Software: www.itemsoft.com
- [16] Item Software. (2007). Manual Item Toolkit v7. USA.
- [17] Item Software Demo.
- [18] Reliasoft: www.reliasoft.com
- [19] Reliasoft Corporation Demo.