

# Sistema de Confiabilidad Integral de Activos (SCIA)

**Ing. Katia Onelia Carralero Almaguer**

Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba, [kocarrarelo@uci.cu](mailto:kocarrarelo@uci.cu)

**Ing. Bernardo Zaragoza Hijuelos**

Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba, [bzaragoza@uci.cu](mailto:bzaragoza@uci.cu)

**Ing. Riolvi Acosta González**

Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba, [riolvis@uci.cu](mailto:riolvis@uci.cu)

**Ing. Dayrien Corrales Díaz**

Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba, [dcorrales@uci.cu](mailto:dcorrales@uci.cu)

## RESUMEN

Producto a las relaciones Cuba-Venezuela, a los proyectos existentes en la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) y a los precedentes proyectos realizados bajo este convenio surge un proyecto llamado "Sistema de Confiabilidad Integral de Activos (SCIA)", desarrollado por un equipo de la UCI y un equipo de PDVSA. Se fundamenta en la integración de conocimientos, disciplinas, métodos, procedimientos y herramientas para optimizar el impacto total de costos, desempeño y exposición al riesgo en la vida del negocio. El objetivo del trabajo es presentar el Módulo de Herramientas Integrales de Confiabilidad Operacional de SCIA. Destacando que el sistema permite homologar metodologías de las diferentes etapas de la confiabilidad operacional, mejorar el proceso de gestión de mantenimiento, realizar análisis probabilístico de riesgo de exploración, perforación y yacimientos petrolíferos mejorando la eficiencia en las operaciones de los procesos realizados en PDVSA.

**Palabras claves:** Confiabilidad Operacional, Metodologías, Gestión de Mantenimiento.

## ABSTRACT

Product to Cuba-Venezuela relations, existing projects at the University of Information Sciences (UCI) and previous projects under this agreement comes a project called "Integrated System Asset Reliability (SCIA)", developed by a team the UCI and a team of PDVSA. It is based on the integration of knowledge, disciplines, methods, procedures and tools to optimize the full impact of cost, performance and risk exposure in business life. The aim of the paper is to present the Comprehensive Tools Module Operational Reliability of SCIA. Stressing that the system allows approved methodologies of the various stages of operational reliability, improve maintenance management process, probabilistic risk analysis for exploration, drilling and oilfield improving operational efficiency of processes performed in PDVSA.

**Keywords:** Operational Reliability, Methodologies, Maintenance Management.

## 1. INTRODUCTION

Cada día las exigencias de la producción y del mercado llevan a la realización de ajustes en los presupuestos y estos deben estar alineados con las políticas de mantenimiento existentes. Para poder realizar las actividades sin afectar los procesos, es necesario establecer patrones y políticas derivadas de herramientas confiables que puedan justificar las inversiones y gastos en un momento determinado dentro de los negocios: Exploración, Producción, Refinación, Comercio.

A través de estudios realizados por especialistas se identificaron algunas inconsistencias que limitaban el correcto y eficiente desempeño de las áreas asociadas a la confiabilidad operacional, resaltando:

- Uso de diversas herramientas privativas con altos costos de licenciamiento, sin derechos de análisis o extensión de sus funcionalidades.
- Desarrollo de soluciones particulares sobre hojas de cálculo del paquete de Microsoft Windows, orientadas a dar resultados a sus procesos de modo independiente y sin relacionarse con otros sistemas externos.
- No se contaba con una fuente de información unificada que permitiera realizar encuestas, análisis, estudios de los históricos de las fallas y los resultados obtenidos.
- Inexistencia de una homologación y validación de los criterios y metodologías utilizadas en las distintas locaciones de la empresa.
- No se aplicaban procedimientos para que las personas vinculadas directamente a la producción aporten sus experiencias a los departamentos de mantenimiento.

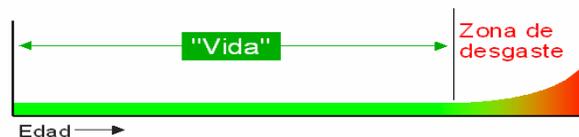
Luego de identificar estas inconsistencias se decidió analizar algunas herramientas existentes en el mercado entre las cuales se evaluó la herramienta APT Maintenance: Herramientas de Optimización Costo Riesgo diseñada por el grupo de mantenimiento del proyecto macro el cual es utilizado para definir intervalos óptimos de mantenimiento, gerencia del deterioro, confiabilidad, desempeño y efectos del ciclo de vida. Está diseñada para calcular el mejor intervalo de mantenimiento preventivo o equipos de sustitución. Utiliza sofisticados análisis para optimizar la fiabilidad, el rendimiento, la eficiencia, los costos de mantenimiento y el impacto. Es una herramienta privativa y con un elevado costo. Buscando la independencia tecnológica, liberándose de la alta demanda de los productos en el mercado se decide desechar la idea de comprar esta herramienta y conformar un equipo multidisciplinario de profesores de la UCI, especialistas e Ingenieros de Confiabilidad del hermano país venezolano.

## 2. DESARROLLO

### 2.1 ACTIVOS, VIDA ÚTIL Y CONTEXTO OPERACIONAL

Para las empresas los activos son el elemento fundamental y su utilidad se ve reflejada en la productividad que registra. Ante la confiabilidad un activo puede sufrir consecuencias en dependencia del contexto operacional donde se encuentre y bajos las condiciones ambientales, de seguridad e higiene a las que está expuesto.

El activo en su vida útil está propenso a tener un comportamiento acorde a un patrón de fallas. Muchos fabricantes aseguran que los equipos que ofrecen se comportan como se muestra en la siguiente figura: [1]



**Figura 1: Probabilidad condicional de fallas.**

Acorde a la figura el activo en su vida tiene un comportamiento “estable” con alguna que otra falla aleatoria hasta que llega a un momento en el cual se ha desgastado tanto que es recomendable su reemplazo. Lo cierto es que los activos que se adquieren dentro de las empresas casi nunca tienen el mismo contexto operacional bajo el cual el fabricante definió el comportamiento mostrado en la figura anterior. En muchos de los casos un grupo de equipos o equipo tiene que pasar un proceso de adaptación en el contexto operacional y esto ciertamente puede provocar fallas en su tiempo inicial. [1]

### 2.2 DEFINICIONES Y CONCEPTOS CLAVES

**Activo:** La Norma ISO 14224 lo define como “Término contable para cualquier recurso que tiene un valor, un ciclo de vida y genera un flujo de caja, puede ser humano, físico y financiero intangible”. [2]

**Equipo Principal:** Es aquel activo o Item, que tiene como objetivo principal el cumplimiento de las funciones principales para los sistemas o procesos.

**Equipo Secundario:** Son aquellos equipos que soportan las funciones que un activo físico o sistema principal tiene que cumplir.

**Grupo de Equipo(s) (Equipment Group):** En la norma ISO 14224 se introduce el concepto de Grupo de Equipos o “Equipment Group” y se define como “Nivel jerárquico de caracterización de equipos principales y todos sus equipos soportes que permitan el cumplimiento de la función principal para la cual han sido seleccionados”. [2]

**Mantenimiento:** Es una combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y supervisoras, que pretenden retener o restaurar un ítem en o a un estado en el que pueda ejecutar una función requerida. [3]

**Falla:** Terminación de la habilidad de un ítem para ejecutar una función determinar si ha ocurrido una falla oculta específica. [3]

**Mecanismo de falla:** Proceso físico, químico o de otra índole que ha conducido a una falla.

**Falla Oculta:** Un modo de falla cuyo efecto no es evidente para el personal de operaciones bajo circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado. [3]

### 2.3 HERRAMIENTAS DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL [4]

El sistema está constituido por un grupo de disciplinas, métodos, procedimientos y herramientas para optimizar el Impacto Total de Costos, desempeño y exposición al riesgo en la vida del negocio asociados con confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, eficiencia, longevidad y regulaciones de cumplimiento en seguridad y ambiente de PDVSA, esto beneficiará a todas las áreas de negocio: operaciones, ingeniería, mantenimiento.

El primer módulo del sistema denominado modulo de herramientas originales de confiabilidad operacional como se muestra en la Figura 1. Consiste en un compendio de metodologías organizadas en tres Etapas. Etapa I (Diagnóstico), Etapa II (Control) y Etapa III (Optimización).



Figura 2: Herramientas de Confiabilidad Operacional.

**La etapa I del diagnóstico:** Para el sistema en esta etapa se definió utilizar diferentes métodos de jerarquización, y evaluación. Para la jerarquización de los negocios e instalaciones se utilizó la metodología:

Proceso Analítico de Jerarquización (PAJ). Para el caso de las evaluaciones de las plantas, sistemas y/o subsistemas se utilizara la metodología CDM, ya que esta se sustenta fundamentalmente en determinar el factor de servicio esperado o producción diferida de un proceso basado en la configuración, la disponibilidad de sus componentes y la filosofía de mantenimiento tomando en cuenta las fallas simultaneas o singulares que deriven en la interrupción de la operación a nivel de sistema. Para la estimación de los niveles de criticidad de los Grupos de Equipos y Equipos se realizará mediante la integración de las metodologías de Ciliberti, Mantenimiento Basado en Criticidad y las normas API 580 Y 581 para equipos estáticos. La combinación de todas ellas se unificó en un solo método, que lleva por nombre: Análisis de Criticidad Integral de Activos.

**La etapa II del control:** El sistema contempla cuatro metodologías las cuales dependen del resultado de la etapa I. El primer método obtiene las mejores políticas de mantenimiento para la familia de equipos críticos Dinámicos, Eléctricos, Electrónicos e instrumentos utilizando la aplicación “Políticas de cuidado integral de activos” (PCIA). El segundo método se basa en establecer planes de inspección para la familia de equipos Estáticos críticos utilizando la aplicación de “Integridad mecánica de equipos” (IME) el tercer método permite establecer acciones de mejoras a problemas crónicos recurrentes a fin de mitigar el riesgo utilizando la aplicación “ Analisis causa raiz” (ACR) y el cuarto y último método “Selección de trabajos basasa en riesgo” permitirá estudiar y optimizar los trabajos de mantenimiento mayor a ejecutar durante una parada de Planta, examinar el alcance planificado y comprobar su consistencia frente a una matriz de “Selección de Trabajos Basada en Riesgo”, la cual se desarrolla especialmente para la Instalación que será objeto del análisis y se aplica a todos los elementos de la Lista de Trabajo que puedan impactar en Seguridad, Ambiente e Integridad Mecánica que se prevén realizar durante la parada con el fin de obtener un alcance de trabajo optimizado..

**La etapa III de Costo-Riesgo Beneficio:** El sistema contempla la fase de Herramientas Costo – Riesgo – Beneficio C.R.B., como una vía altamente efectiva y eficiente para ejecutar estudios en un tiempo relativamente rápido con resultados de gran impacto en el negocio. El Análisis Costo – Riesgo – Beneficio, permite verificar si las consecuencias o pérdidas asociadas a la posible ocurrencia de los eventos o escenarios no deseados, exceden o no los costos de realizar una tarea de mitigación para evitar dicho evento, evaluados ambos desde la perspectiva del ciclo de vida. Los resultados obtenidos en esta Fase se aplicarán en el Módulo de Operación de Mantenimiento, lo cual asegura la continuidad del ciclo del proceso de mejora de la Confiabilidad Operacional.

## 2.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD INTEGRAL DE ACTIVOS (ACIA)

Las metodologías tradicionales para el cálculo de criticidad requieren una gran cantidad de información de fallas y de reparaciones; así como de sus impactos en el proceso. Teóricamente, esta información debería estar disponible en los sistemas de información de cada empresa; pero en la práctica esta información “no siempre” o “casi nunca” está registrada adecuadamente en dichos sistemas o no se dispone por otras razones. Para estos casos el “Análisis de Criticidad Integral de Activo” propone procedimientos especiales para aprovechar fuentes de información alternativas tales como:

- Opinión de Expertos.
- Conocimiento Genérico (Bases de Datos Genéricas de Fallas y Reparaciones tales como OREDA, PARLOC, WELL MASTER, EXIDA, IEEE entre otras).

### 2.4.1 METODOLOGÍAS DE CRITICIDAD DE MÁS AMPLIA ACEPTACIÓN EN LA INDUSTRIA DE PROCESOS.

**Metodología de los Puntos:** Las estructuras de criticidad que provee la llamada “metodología de los puntos” tiene su origen en el movimiento de mejora de la confiabilidad de los procesos productivos que se inició en la industria petrolera del Mar del Norte en la década del 90 [manual de criticidad de PDVSA - CIED] y hoy es ampliamente utilizada en la industria petrolera; por supuesto, con múltiples adecuaciones y modificaciones. La base fundamental de este enfoque es el establecimiento de un sistema de puntos para valorar la criticidad; y de una matriz cuyos rangos de frecuencia y consecuencia se expresan en “puntos”.

**Método de Criticidad de Ciliberti:** El enfoque propuesto por Ciliberti propone un sistema que combina dos (2) matrices de criticidad; una construida desde la óptica de seguridad de los procesos y otra construida desde el impacto en producción. Ambas matrices se integran en una matriz de criticidad global, para obtener la criticidad total del equipo bajo análisis.

**Análisis de Criticidad Basada en API 581:** Este análisis de criticidad se basa en la aplicación de la etapa inicial (Fase de Análisis Cualitativo) del estudio de IBR (Inspección Basada en Riesgo), fundamentada en las normativas API RP-580 y API PUB-581. Esta metodología permite calcular la criticidad (riesgo) con base en el análisis del comportamiento histórico, modos de degradación o deterioro, características de diseño, condiciones de operación, mantenimiento, inspección y políticas gerenciales tomando en cuenta al mismo tiempo la calidad y efectividad de la inspección, así como las consecuencias asociadas a las potenciales fallas. Esta es una metodología especial de análisis de criticidad para equipos estáticos y solo aplica para aquellos equipos cuyo principal mecanismo de deterioro es la corrosión.

**Análisis de Criticidad para Propósitos de Mantenimiento según NORSOK STANDARD Z-008 Rev. 2, Nov. 2001:** El propósito del estándar NORSOK Z-008 es mucho más amplio que el de las metodologías de criticidad previamente expuestas, ya que no solo permite establecer las criticidades de los componentes de un sistema de producción, sino que dentro de la misma norma incluye un procedimiento para la optimización de programas de mantenimiento para facilidades nuevas y en servicio, ubicadas en tierra y costa afuera, considerando los riesgos relacionados con personal, ambiente, pérdida de producción y costos económicos directos (todos los costos aparte de los costos de la pérdida de producción).

El objetivo principal de la norma NORSOK es establecer las bases para el diseño y optimización de los programas de mantenimiento para plantas de petróleo y gas nuevos y en servicio, basados en la criticidad de sus componentes. El estándar NORSOK Z-008 aplica para Equipos Mecánicos (estáticos y rotativos), Instrumentos y Equipos Eléctricos. Están excluidos del alcance de esta Norma las Estructuras de Carga Rodante, Estructuras flotantes, Raisers y gasoductos/oleoductos.

#### 2.4.2 FUNCIONALIDADES DE ACIA EN EL SISTEMA

El ACIA es una metodología “semi-cuantitativa” para dimensionar el riesgo que permite establecer jerarquías o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos (ISGEE), de acuerdo a una figura de mérito llamada “Criticidad”; que es proporcional al “Riesgo”: La Criticidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$CRITICIDAD = Frecuencia\ de\ Falla \times Impacto.$

$RIESGO = Prob.Falla \times Consecuencia.$

La Frecuencia de Falla es proporcional a la probabilidad de falla y el Impacto es proporcional a la Consecuencia de una falla; en consecuencia; Criticidad es proporcional al Riesgo. El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus impactos o consecuencias. Ambas magnitudes; frecuencias e impactos; se llevan entonces a una matriz; que tiene un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo relacionado con la instalación, sistema, equipo o dispositivo bajo análisis.

#### Los productos del Análisis de Criticidad son:

- Lista jerarquizada por “criticidad”.
- Matriz de Riesgo; con la calificación del riesgo asociado a cada ítem analizado.

La aplicación de ACIA del sistema está basada en un diseño propio tomando como base los mejores criterios de los métodos de Ciliberti, Mantenimiento Basado en Criticidad, las normas API 580 y API 581 para equipos estáticos, y experiencias en el desarrollo de este tipo de estudios.

SCIA utiliza un Repositorio de Información Unificado (RIU) el cual será el insumo principal de esta aplicación; este repositorio está desarrollado bajo un formato estandarizado según los requerimientos del software y es creado por los usuarios debidamente autorizados para el acceso a la creación y/o modificación de la data.

Este sistema alimentará con la lista jerarquizada de activos a la aplicación de Políticas de Cuidados Integral de Activos (PCIA).

## 2.5 POLITICAS DE CUIDADO INTEGRAL DE ACTIVOS (PCIA)

### 2.5.1 METODOLOGÍAS PARA EL DISEÑO DE PLANES DE MANTENIMIENTO

**Metodología Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC):** Es un proceso analítico y sistemático basado en el entendimiento de la función de los sistemas, las fallas funcionales y las fallas de los componentes, cuya finalidad es identificar las políticas para manejar los modos que pueden causar fallas funcionales a cualquier activo físico en un contexto operacional. De este análisis se desprenden las posibles causas y mecanismos de fallas, y en consecuencia pueden inferirse las actividades preventivas, predictivas, detectivas y/o correctivas requeridas para evitar las fallas y/o mitigar sus consecuencias. El MCC incorporó por primera vez los principios de Ingeniería de Confiabilidad y los concepto de “falla oculta y Mantenimiento Detectivo” a las metodologías de generación de planes de mantenimiento. [3]

El MCC es una metodología ampliamente estudiada, sobre la que existe muchísima literatura, libros, buenas prácticas, normas y estándares; etc, sin embargo, para unificar criterios, en años recientes se publicó la Norma SAE JA 1012: “A Guide to the Reliability Centered Maintenance (RCM) Standard” que se ha convertido en la guía fundamental para las aplicaciones de MCC en todo el mundo. [5]

Con el advenimiento del nuevo siglo, nuevas dificultades afloraron en el plano de negocios y rentabilidad, y el exitoso del MCC comenzó a afrontar nuevos retos:

La rigurosa metodología del MCC consume tiempo y recursos, cada vez más escasos en las empresas. El MCC requiere un intenso trabajo en equipo, lo que lo hace exigente en términos de “dinámica de trabajo”. La automatización de los sistemas hace cada vez más complejos los análisis e incrementa el número de equipos “críticos” a analizar. Se detectan debilidades en el MCC para generar tareas de mantenimiento que atiendan los modos de falla asociados a mecanismos de deterioro como la corrosión y paralelamente surge las Normas API 580 y 581 que proponen una metodología específica para este fin.

El cambio del paradigma de “maximizar la disponibilidad” hacia “maximizar la rentabilidad” exige mayor profundidad en el análisis económico para sustentar las recomendaciones que se generan del MCC.

Los resultados de los análisis del MCC deben ser migrados a los sistemas de administración de mantenimiento como SAP y MAXIMO que regulan la gestión de mantenimiento, lo que resulta en una tarea compleja y tediosa que genera una gran carga de trabajo administrativo a los programadores de mantenimiento.

Estas nuevas dificultades, además del avance en herramientas computacionales, bases de datos y sistemas de información, han impulsado el nacimiento de nuevas metodologías que pretenden resolver estas dificultades y que han resultado en “evoluciones del MCC”. Entre las más importantes podemos mencionar la metodología propuesta por la Norma NORSOK Z-008 y la metodología de Políticas de Cuidado Integral de Activos (PCIA), utilizada para el desarrollo del Sistema que tratamos en el trabajo.

**Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM):** Una de las herramientas que actualmente se usa. Herramienta de software que facilita la gestión de datos y presentación de informes para el análisis de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Este software proporciona una interfaz flexible e intuitiva para la definición de la configuración del sistema y el registro de los análisis de fallas funcionales. La herramienta de software incluye la selección de equipos configurables, la falta de categorización efecto y la tarea de las capacidades de mantenimiento de selección. RCM también proporciona la simulación basada en los cálculos que se pueden utilizar para comparar los costos de posibles estrategias de mantenimiento y una calculadora para calcular el intervalo de mantenimiento óptimo para las reparaciones preventivas o reemplazos.

Alguno de los beneficios potenciales del uso de la herramienta RMC es que, incluye la capacidad de:

Desarrollar un plan de mantenimiento programado para un activo físico que proporcione un nivel aceptable de funcionalidad, con un nivel aceptable de riesgo, de manera eficiente y costo-eficacia.

Evaluar si el mantenimiento preventivo (PM) es adecuado y determinar los intervalos óptimos de mantenimiento preventivo.

Promover los procesos de análisis que son más eficientes y más eficaz, utilizando las lecciones aprendidas de los análisis anteriores, cuando proceda. RCM proporciona un conjunto completo de impresión de los informes preparados para su análisis, que pueden ser generados directamente en Microsoft Word, Excel. El software también ofrece una variedad de Pareto (bar), los gráficos circulares y de matriz para demostrar gráficamente la información de análisis, así como una herramienta de consulta flexible.

**Microsoft Office Excel 2007:** Es una herramienta eficaz que se puede usar para crear y aplicar formato a hojas de cálculo, para analizar y compartir información y para tomar decisiones mejor fundadas. Excel incorpora un potente instrumento "El Solver". Este instrumento hace lo que los técnicos llaman "optimización": calcular el mejor valor de una función sometida a unas restricciones o a ninguna. Se pueden introducir muchas restricciones y la velocidad con la que calcula las soluciones es asombrosa. Puede crear fórmulas para realizar cálculos tan simples como sumar los valores de dos celdas, o tan complejos como encontrar la desviación de un valor concreto con respecto a un conjunto de valores. La utilización de las casillas del excel para realizar evaluaciones de una misma función con diferentes valores, es una de las características principales de esta herramienta. En excel podemos insertar y/o eliminar celdas, filas y columnas, diferente si trabajamos manualmente, ya que tendríamos que realizar el trabajo casi completo nuevamente si necesitáramos una fila o una columna. Podemos crear gráficos. Un gráfico es la representación gráfica de los datos de una hoja de cálculo facilitando de esta manera su interpretación. A la hora de crear un gráfico, Excel dispone de un asistente que nos guiará en la creación de éste. Puede crear gráficos de dos formas: en la misma hoja que sus datos o en una hoja de gráfico aparte en el mismo libro de trabajo.

#### 2.5.2 LAS SIMILITUDES FUNDAMENTALES DE LAS PCIA CON EL MCC

- Parte de un análisis de criticidad de los activos, el cual es desarrollado con la finalidad de obtener una lista jerarquizada de equipos y sistemas de acuerdo a su impacto en el proceso.
- Se sustenta en un análisis sistemático de los modos y efectos de falla que pueden presentarse en un equipo o sistema específico dentro de su contexto operacional (AMEF).
- Se basa en el diagrama lógico de la norma SAE JA 1012 para la selección de tareas de mantenimiento preventivas, predictivas, detectivas y/o correctivas requeridas para evitar las fallas y/o mitigar sus efectos.

#### 2.5.3 LAS MEJORAS FUNDAMENTALES DE LAS PCIA RESPECTO AL MCC

- El Análisis Funcional, parte del concepto de "Equipment Group" claramente establecido en la Norma ISO 14224, que facilita la división de un sistema en "funciones".
- El AMEF se realiza con la estructura y codificación de modos de falla de la Norma ISO 14224, lo cual estandariza las nomenclaturas y permite el manejo de bases de datos.
- La información "base" de fallas y reparaciones se extrae de reconocidos bancos de datos de la industria tales como OREDA 2002, PARLOC 2001, SINTEF, WELL MASTER, IEEE y se adecua a la realidad operacional del análisis con las "evidencias o datos propios" que puedan recolectarse.
- Incluye una "criticidad de tareas de mantenimiento", lo que permite identificar necesidades de adiestramiento y facilita la toma de decisiones en escenarios de recortes presupuestarios.
- Contempla la generación de los planes de mantenimiento en una plataforma adecuada que permite su migración, sin traumas, a los sistemas de información y administración de mantenimiento como SAP o MAXIMO.

PCIA es una evolución de las metodologías clásicas para el desarrollo de planes de mantenimiento basados en confiabilidad, como el MCC, y permite completar el diseño de planes óptimos de mantenimiento en tiempos "razonablemente prácticos" (50% del MCC), con un 60% de los recursos. En otras palabras, las PCIA es una "optimización" del MCC clásico.

#### 2.5.4 FUNCIONALIDADES DE PCIA EN EL SISTEMA [6]

Uno de los pilares fundamentales de PCIA es la generación de planes de mantenimiento y planes de mantenimiento genéricos, capaces de mitigar los modos de falla que se presentan en un entorno o contexto operacional específico, para que los activos cumplan con los requerimientos de desempeño, costos, seguridad y regulaciones ambientales.

PCIA puede mostrar la información generada por otra de las aplicación de SCIA, por ejemplo el análisis de criticidad de Grupo de Equipos y Equipos bajo análisis, resultado de la aplicación Análisis de Criticidad Integral de Activos (ACIA) del SCIA.

Se sustenta en un Análisis de los Modos y Causas de Falla (AMEF) que pueden presentarse en un grupo de equipo o equipos específicos dentro de su contexto operacional y en la aplicación del diagrama lógico de decisiones de John Moubray (John Moubray 200x) para la selección de la estrategia de mantenimiento requeridas para evitar las pérdidas funcionales, la ocurrencia de los modos de fallas y/o mitigar sus efectos.

Con el objetivo de optimizar el uso de los recursos, la aplicación de PCIA tiene una interfaz con el Repositorio de Información Unificada (RIU) de donde se extrae los planes de mantenimiento genéricos de las clases y tipos de equipos que conforman el grupo de equipo y equipos bajo análisis, con la finalidad de obtener la adaptación de los planes de mantenimiento. Brinda la posibilidad de crear los planes en caso de que estos no existan.

#### 2.6 METODOLOGÍA OPTIMIZACIÓN COSTO-RIESGO [7]

La Optimización Costo Riesgo (OCR) es una técnica o metodología con el fin de evitar la ocurrencia de eventos no deseados y/o mitigar las consecuencias de estos mediante la aplicación del mantenimiento (ya sea preventivo, predictivo, etc.), el cual se logra a través de un plan y programa que contemple la frecuencia óptima del mismo, evadiendo las fallas en los activos que pueden tener lugar debido a su contexto operacional.

La gestión del mantenimiento de los activos controlada mediante planes de mantenimiento, se componen por tareas que llevan implícito valores económicos que deben manejarse con mucho cuidado a nivel empresarial. La realización de una tarea de mantenimiento trae consigo un costo por la ejecución de la misma, así como un riesgo medible de lo que puede ocurrir al omitir la aplicación de la tarea en cuestión.

Con OCR se logra una combinación óptima entre el costo destinado para una actividad (toma de decisión), los riesgos implícitos y los beneficios esperados que se generan con la realización de la actividad. El factor fundamental de esta metodología es proporcionar el mínimo impacto total en el negocio. Sobre todo los especialistas en la gerencia de activos, tienen la posibilidad de velar por que el nivel de productividad se conserve con una relación Costo-Riesgo óptima, tales que representen el valor más bajo posible para las organizaciones en las cuales se aplique con la frecuencia determinada.

Esta técnica proporciona la posibilidad de contar con excelencia en los procesos medulares de las organizaciones, en cuanto a calidad y costos. A partir de su surgimiento se pueden realizar toma de decisiones tales como:

Cuando hacer mantenimiento, cuando hacer inspecciones, cuando hacer una parada de planta, cuando reemplazar un equipo, cuando realizar una inversión.

##### **Dentro de sus características generales se encuentran:**

- Permitir evaluaciones en un corto plazo con resultados certeros.
- Optimizar frecuencias y costos de actividades.
- Permitir evaluar posible extensión de vida útil de activos.

La toma de decisiones hasta ahora se había manejado basándose en la experiencia o en el sentido común, o en recomendaciones del fabricante. Las 2 primeras pueden fallar ya que el ser humano no está capacitado para solo dejarse llevar por su instinto y la tercera no es recomendable pues el fabricante no conoce el contexto operacional ni las limitaciones en el cual está inmerso el equipo.

#### 2.6.1 LOS COSTOS DE LA ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO [8]

Los costos de la actividad de mantenimiento están conformados por los costos que implican los elementos implícitos en el mismo y que a continuación se describen:

- **Mano de obra:** Representa la fuerza laboral propia y/o contratada.
- **Materiales:** Incluye lubricantes, piezas de repuestos, herramientas, partes de equipos, etc.
- **Transporte:** Camiones, lanchas, barcos, avión, elevadores, etc.
- **Gastos generales:** Servicios, edificaciones, talleres, logística, etc.

Asimismo hay que tener en cuenta la duración de la actividad de mantenimiento ya que no se puede perder el control de cuanto tiempo de producción se va a perder.

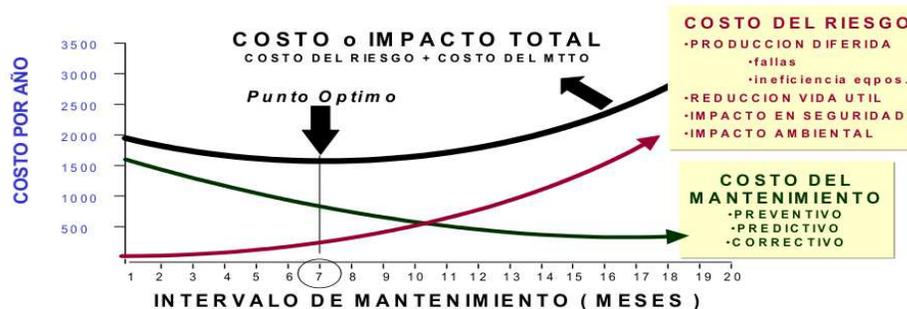
### 2.6.2 LOS COSTOS DEL RIESGO

Los elementos que se identifican como costos del riesgo se pueden agrupar en el concepto de penalizaciones. Estas definen cualquier beneficio perdido debido al riesgo de ocurrir un evento no deseado mientras se realiza la actividad de mantenimiento para restablecer la condición deseada. En algunos casos estos costos también son conocidos como costos indirectos.

Estas penalizaciones pueden listarse como características que se identifican dado un problema puntal, considerando la dimensión de los costos que implican las mismas. Ejemplo de algunas de ellas son: Costos por pérdida de producción, costos de calidad, costos de servicio y costos de implicaciones legales.

### 2.6.3 IMPACTO TOTAL EN EL NEGOCIO.

Para calcular el impacto en el negocio hay determinar el rango de tiempo para el cual se va a realizar al análisis. Luego se deben obtener el comportamiento del costo total de las actividades de mantenimiento para las frecuencias definidas en el tiempo dado. Como tercer paso indispensable se necesita conocer de qué manera va aumentando el riesgo de la ocurrencia de eventos no deseados para cada frecuencia definida en el tiempo previamente definido. Finalmente se puede obtener el impacto total en el negocio como se representa graficamente en la figura 3.



**Figura 3: Curvas representativas de la metodología OCR.**

La frecuencia óptima para la ejecución de las tareas de mantenimiento está dada por el valor mínimo representado en la curva de impacto total.

## 2.7 TÉCNOLOGÍAS UTILIZADAS EN EL DESARROLLO DEL PRODUCTO.

El sistema se desarrolló a partir de las herramientas que brinda el software libre. Buscando la independencia tecnológica que este brinda al posibilitar la libertad de uso y distribución de los programas sin incurrir en litigios de licenciamiento o asuntos legales, que permiten mejorar los procesos en la confiabilidad operacional y gestión de mantenimiento de forma escalable y distribuida con un enfoque a la soberanía tecnológica bajo la coordinación de PDVSA. Se realizó un análisis de los métodos, técnicas y herramientas para la selección de la tecnología de lo cual se decidió utilizar: Sistema Operativo GNU/Linux, Distribución de Linux: Debian GNU/Linux, Herramientas

para el Modelado UML: Net Beans, Plataformas para el Diseño de Prototipos No Funcionales: QT Designer, Lenguaje de Programación: PyQT, Entorno Integrado de Desarrollo: Eclipse, Sistema Gestor de Bases de Datos: PostgreSQL, Framework o Componentes: Zend Framework, Doctrine, ExtJs.

### 3. CONCLUSIONES

Cuando hablemos de confiabilidad debemos pensar en un concepto con un entramado de recursos y herramientas que permiten determinarla, predecirla y mejorarla. Es importante hacer notar, que se requiere cuantificar la confiabilidad del activo para poder evaluar si es necesario invertir en mejorarla o en mantenerla. No es posible el tratamiento integral de la confiabilidad de los activos si no se estudian las relaciones entre las diferentes variables que influyen en la confiabilidad intrínseca, la confiabilidad en el contexto real de operación, la confiabilidad humana y la gestión de la confiabilidad. Los costos de la confiabilidad se ven justificados porque reducen los costos por fallos y defectos crónicos que son, en una gran cantidad de casos, muy superiores a los costos de evaluación y prevención necesarios para reducir o eliminar las consecuencias de los primeros mencionados.

La evidencia abrumadora de la necesidad de una elevada confiabilidad en las funciones de los activos para producir y poder hablar de competitividad empresarial, es hoy un hecho innegable. Por ello, están dadas importantes condiciones objetivas para desterrar las viejas ideas y transitar hacia otros paradigmas. La confiabilidad debe incorporarse dentro de cada diseño y cada proceso. No se puede crear mediante inspecciones, ni tampoco a través de pasivas declaraciones y buenos deseos. Si verdaderamente deseamos y necesitamos eficacia y eficiencia en el mantenimiento, entonces la confiabilidad integral de los activos, será parte implícita de la estrategia que se trace y se reflejará explícitamente en las tecnologías que se utilicen.

### 4. AUTORIZACIÓN Y DIVULGACIÓN

Los autores autorizan a LACCEI a publicar el artículo. Ni los editores ni LACCEI son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que se expresa en el artículo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Amendola, L., *Confenciabilidad Operacional*. 2011.
2. *Industrias de petróleo y gas natural -Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. NORMA INTERNACIONAL ISO 14224*. 1999.
3. Edwin Gutierrez, E.T., Robinson Medina, Michele Leccese, “*Metodologías para el diseño de planes de Mantenimiento Ópticos Basados en Confiabilidad y Riesgo*”. 2010.
4. Guillermo Becerra Solórzano, O.G.P., *Sistema Integrado de Confiabilidad Operacional para el área de servicios industriales de Bavaria* 2005.
5. Cela Andagoya Rommel, T.V.L., *MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)*. 2005.
6. *Especificación técnica Políticas de Cuidado Integral de Activos (PCIA)*. Entregable según Anexo 21 del convenio Marco PDVSA ALBET, 2010.
7. Durán, J.B., *Optimización de Estrategias en Mantenimiento: Proyecto MACRO*. IV Congreso Costarricense de Mantenimiento, Costa Rica, 2000.
8. José Duran, J.P., Luis Sojo, *Aplicación de la técnica “Optimización Costo-Riesgo”. Soporte efectivo con el uso de los softwares APT – Integrated Toolkit*. . The Woodhouse Partnership LTD, AIR Services C.A., Reliability Center Inc., 2010.