

# “Propuesta de Evaluación de la confiabilidad operacional a partir de un sistema serie, primera aproximación”

Montalvo Benítez I.R.<sup>1</sup>, Especialista mecánico en equipos biotecnológicos, CIM, CUBA, reynaldo@cim.sld.cu

Díaz Concepción A.<sup>2</sup> profesor, CUJAE, CUBA, adiaz@ceim.cujae.edu.cu

Pérez Gómez C. K.<sup>3</sup> profesor, Simón Bolívar, VENEZUELA, katerecgp@gmail.com

## Resumen

Desde siempre ha existido la necesidad de evaluar el comportamiento de la actividad de mantenimiento y esta necesidad dio origen a los indicadores (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) que hoy conocemos, a través de los cuales estimamos con un margen de error permisible el estado del activo o sistema.

A partir de la definición de confiabilidad operacional y tomando en cuenta que independientemente del número de variables involucradas en el cálculo de los elementos integrantes de la misma, esta puede dividirse en subsistemas menos complejos que responden a un sistema serie, facilitando así la evaluación de la confiabilidad operacional y aportando criterios para la toma de decisiones.

## Abstract

It has always been a need to evaluate the performance of the maintenance activity and this need gave rise to indicators (reliability, maintainability and availability) we know today, through which we estimate to within allowable error active status or system.

From the definition of operational reliability, taking into account that whatever the number of variables involved in the calculation of the integral elements of the same, this can be divided into less complex subsystems which respond to a series system, thus facilitating the evaluation of the operational reliability and providing criteria for decision-making.

## Palabras Claves: Confiabilidad operacional

## Key Word: Confiabilidad operacional

**Confiabilidad operacional:** La Confiabilidad Operacional se define como la *capacidad* de un sistema productivo para cumplir su *función, sin fallas*, dentro de sus *límites de diseño y operación*, bajo un *contexto operacional* establecido, para un *tiempo definido*, obteniendo *productos* con la *calidad, cantidad* y *oportunidad* requeridas.

## Desarrollo

### Antecedentes

El desarrollo de la actividad de mantenimiento ha atravesado diferentes etapas caracterizadas por un contexto particular en cada una de ellas. El conocimiento adquirido en cada periodo, así como la influencia del desarrollo tecnológico y su aplicación en cada contexto histórico es lo que ha permitido su evolución hasta las tendencias actuales que hoy conocemos. Estas tendencias no se excluyen sino que se complementan y esta complementación es lo que dado origen a la confiabilidad operacional.



Figura 1. Componentes de la confiabilidad operacional

La Ingeniería de Confiabilidad como *disciplina científica* nace en los años 50's del siglo pasado, con aplicaciones muy exitosas en el *análisis* y *evaluación* de diseños relacionados con sistemas no reparables de la industria militar aeronáutica y aeroespacial, así como las aplicaciones civiles en plantas nucleares.

En los 80's se iniciaron las aplicaciones de confiabilidad al análisis y evaluación de los diseños relacionados con sistemas de seguridad en plantas químicas, petroquímicas y offshore en algunos países de Europa y Estados Unidos de América. Se inician los estudios en algunos países sobre la confiabilidad de sistemas reparables

#### Clasificación de los sistemas

- **Series**
- **Paralelos**
- **Complejos**

Un sistema es una colección de componentes/subsistemas dispuestos de acuerdo a un diseño dado con el propósito de lograr el cumplimiento de unas determinadas funciones con una adecuación y fiabilidad aceptables. El tipo de componentes, su cantidad, su calidad y el modo en que están dispuestas tiene un efecto directo en la fiabilidad de sistema.

[1]

#### Sistemas Series

Los sistemas en serie se caracterizan por que el funcionamiento de cada ítem que lo compone depende directamente del funcionamiento del componente que lo antecede y precede; es decir, si uno de los componentes falla, falla todo el sistema. Véase la figura 2

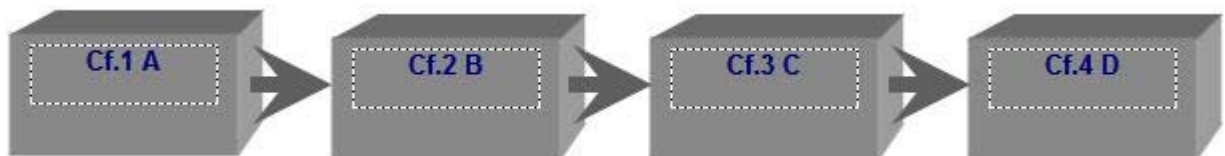


Figura 2. Sistema serie

#### Sistema paralelo

La confiabilidad final de un conjunto de equipos, será obtenida por la suma de los productos de las confiabilidades de cada ítem por sus capacidades de producción, dividido por la suma de las capacidades de producción de esos ítems. Véase la figura 3.

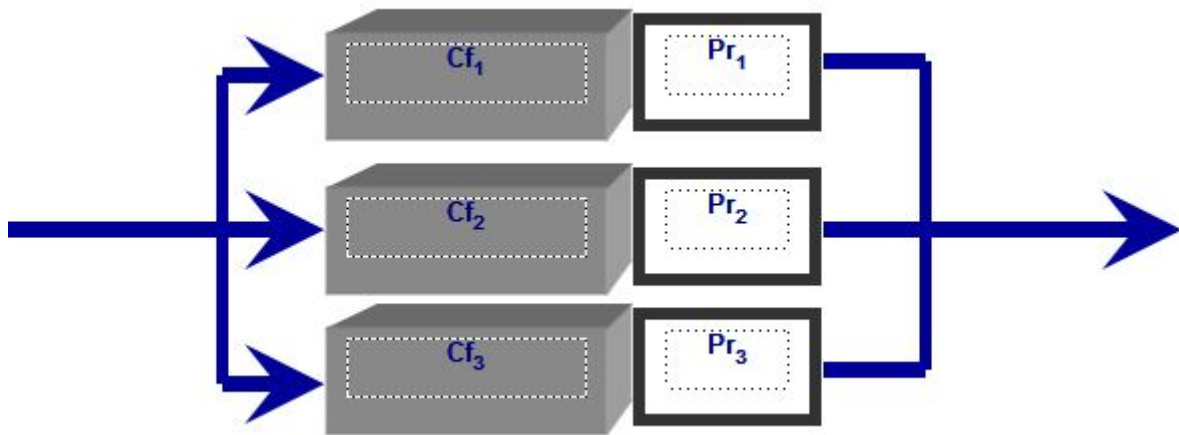


Figura 3. Sistema paralelo

[ 2]

### Sistemas complejos

Sistema complejo es todo aquel que posee más de dos posibles verdades, caminos u opciones (genéricas "resultantes o variables dependientes") para un solo hecho, encrucijada o pregunta ("causantes o variables independientes"). Además, mientras mas posibles resultantes tenga un causante, mas complejo se vuelve el sistema en el que este circunscrito. Esto no excluye la posibilidad que dos o mas causantes posean el mismo o parecido resultante, o que un suceso no se repita, sea virtual solamente o que no posea causante o resultado. Este tipo de sistema es comprensible solamente por otro sistema complejo y no por sistemas de ninguna, una o dos posibles soluciones o resultados, pero si puede darse el caso contrario.

[ 3]

Un **sistema complejo** está compuesto por varias partes *interconectadas* o *entrelazadas* cuyos vínculos crean información adicional no visible antes por el observador. Como resultado de las interacciones entre elementos, surgen propiedades nuevas que no pueden explicarse a partir de las propiedades de los elementos aislados. Dichas propiedades se denominan [propiedades emergentes](#).

En contraposición, el [sistema](#) complicado también está formado por varias partes pero los enlaces entre éstas no añaden información adicional. Nos basta con saber cómo funciona cada una de ellas para entender el sistema. En un sistema complejo, en cambio, existen variables ocultas cuyo desconocimiento nos impide analizar el sistema con precisión. Así pues, un sistema complejo, posee más información que la que da cada parte independientemente. Para describir un sistema complejo **hace falta no solo conocer el funcionamiento de las partes sino conocer como se relacionan entre sí.**

[ 4]

### Sistemas complejos adaptativos

Un CAS es una compleja y [autosimilar](#) colección de agentes adaptativos interactuando. Los estudios de CAS se enfocan en la [complejidad](#), las propiedades [emergentes](#) y macroscópicas de los sistemas.

Un CAS es una red dinámica de muchos agentes (los cuales pueden representar [células](#), especies, individuos, empresas, naciones) **actuando en paralelo, constantemente** y reaccionando a lo que otros agentes están haciendo.

John H. Holland<sup>1</sup>

Un CAS se comporta/desarrolla de acuerdo con tres principios claves: **el orden es emergente como posición de lo predeterminado** (c.f. [Red neuronal](#)), **la historia de los sistemas es irreversible**, y **el futuro de los sistemas es a menudo impredecible**. Los bloques constitutivos básicos de los CAS son agentes. Los agentes exploran su ambiente y desarrollan representaciones esquemáticas interpretativas y reglas de acción. Estos esquemas están sujetos al cambio y la evolución.

Kevin Dooley<sup>2</sup>

[ 5]

Para Stephanie Forrest los Sistemas Complejos Adaptables se componen de elementos que interactúan y se adaptan en un entorno operativo. Los agentes actúan y están influenciados por su entorno local. No hay control global sobre el sistema (Fuente: Forrest, 1990).

[ 6]

### **Simplificación de sistemas complejos**

La simplificación es un concepto indisoluble de la complejidad. Si se admite la existencia de una cierta complejidad en los sistemas o en los objetos, hay que pensar en formas de reducirla para poder abordar los problemas asociados. Cualquier proceso de diseño es un proceso de tratamiento de complejidad en el que las ideas se van refinando sucesivamente hasta llegar a un modelo más o menos simplificado de lo que es la realidad. Dado que la simplificación es inevitable en todo proceso epistemológico, es conveniente analizar cómo se puede realizar preservando la mayor cantidad posible de significado y relevancia del problema.

### **Principios para la simplificación de un sistema complejo**

#### **Aspectos formales**

Principios generales de la complejidad de los sistemas

- 1.- La complejidad de un sistema, sea del tipo que sea, debe ser proporcional a la cantidad de información necesaria para describir el sistema.
- 2.- La complejidad de un sistema debe ser proporcional a la cantidad de información necesaria para resolver cualquier incertidumbre asociada con dicho sistema.

Una forma genérica de simplificación es eliminar variables. Según sea el tipo de sistema con el que se trabaje así será la eliminación que se haga.

- Complejidad descriptiva: Eliminar directamente variables o reducir el nivel de resolución de sus valores.
- Complejidad dependiente de la incertidumbre: Reducir el número de estados posibles de un sistema generativo.

El método más común de reducir la complejidad descriptiva de un sistema es descomponerlo en subsistemas, lo que conlleva un aumento (o, en el caso mejor, una estabilización) de la

complejidad dependiente de la incertidumbre, dado que el sistema es más que la suma de las partes.

Un método muy en boga para reducir la complejidad relacionada con la incertidumbre es disminuir la precisión exigida y utilizar la teoría de conjuntos borrosos que permite manejar un grado de incertidumbre mayor. Evidentemente, introducir la borrosidad en un sistema complica mucho su descripción y por tanto aumenta la complejidad de este tipo.

- La complejidad se puede manejar muy eficientemente, aunque no en todos los casos, por medio de módulos o jerarquías

[ 7]

## Confiabilidad Operacional

### Tipos de modelos de confiabilidad

- Modelo de contar partes
- Modelo combinacional
- Modelo de espacio de estado o Harkov

**Modelo de contar partes:** Puede dar una primera aproximación de la confiabilidad en un sistema a través del cálculo de su tasa de falla. En este modelo la falla de cualquier componente provocaría la falla del sistema. La tasa de falla es calculada como la suma de todas las tasas de falla de cada componente o parte. El modelo generalmente provee una estimación adecuada de la confiabilidad. Sin embargo, el método no sería útil si el equipo o sistema presenta algunas características de tolerancia a fallas.

Este modelo de predicción es aplicable durante la fase inicial del proyecto, cuando hay insuficiente información como para estimar la confiabilidad del componente.

**Modelo combinacional:** El modelo combinacional incluye a los modelos llamados "fallas o árboles de éxitos" diagramas de bloques de confiabilidad. Este modelo puede capturar algunos aspectos de tolerancia de fallas en el sistema pero no aquellos como reparación y reconfiguración del sistema.

**Modelo de espacio de estado o Harkov:** Esta basado en un modelo de espacio de estado, donde las transiciones entre estado se basa en probabilidades, el que puede capturar muchas características importantes de tolerancia de fallas del sistema que otros no podrían. Este modelo es útil para calcular la disponibilidad en sistemas complejos.

[ 8]

## Elementos integrantes de la confiabilidad operacional

### Confiabilidad de sistemas

El *propósito* en el análisis de la *confiabilidad de sistemas* es *adquirir información* acerca del sistema de interés, para *toma de decisiones* basadas en confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad. Es común orientar el análisis de la confiabilidad de sistemas a las *fallas*. Existen varias etapas para dichos análisis:

- **Análisis inductivo.** Esta es la parte más difícil del análisis de sistemas. Requiere recopilar y organizar la información disponible. Preguntar *¿Qué puede suceder?* y así formular las *hipótesis* y contestarlas. En esta etapa es útil emplear el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (FMEA) sobre los componentes críticos.
- **Análisis deductivo.** Esta parte es la más sencilla del análisis de sistemas. Requiere preguntar *¿Cómo puede el sistema fallar?* y determinar la confiabilidad del sistema, a través de la construcción y simulación de diagramas de bloque de confiabilidad o de

arboles de falla. En algunos sistemas se pueden emplear modelos de Markov o Redes de Petri.

### Confiabilidad humana

Incluye varios elementos que permiten mejorar las competencias laborales asociadas con los conocimientos, las habilidades y las destrezas de cada uno de los miembros de la organización en su puesto de trabajo con la finalidad de general capital intelectual. Ver figura 4

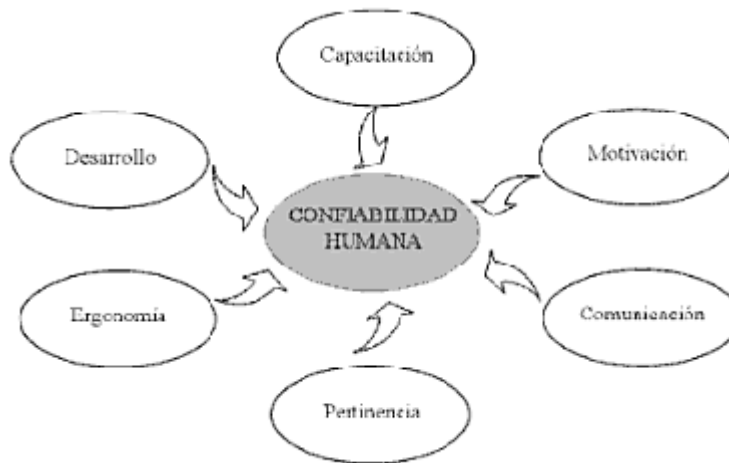


Figura 4. Elementos de la confiabilidad humana

[9], [10]

### Confiabilidad de procesos

Desde el punto de vista de la ingeniería, la confiabilidad de procesos es la probabilidad de que un conjunto de actividades o eventos (coordinados u organizados) que se realizan o sucedan (alternativa o simultáneamente) bajo ciertas circunstancias con un fin determinado. Ver figura 5

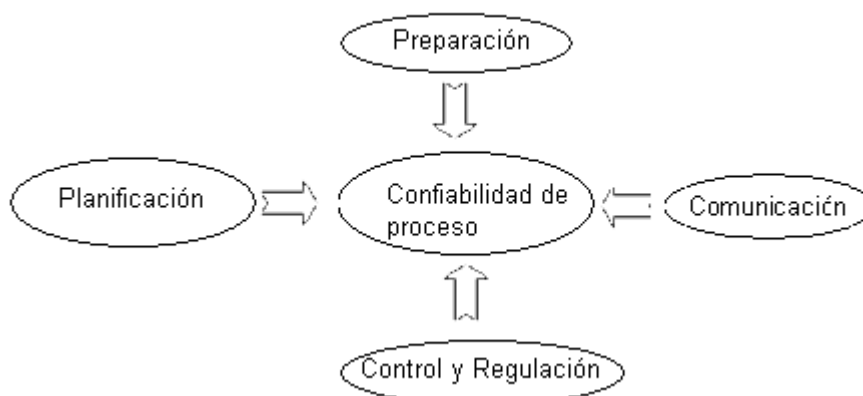


Figura 5. Elementos integrantes de la confiabilidad de procesos

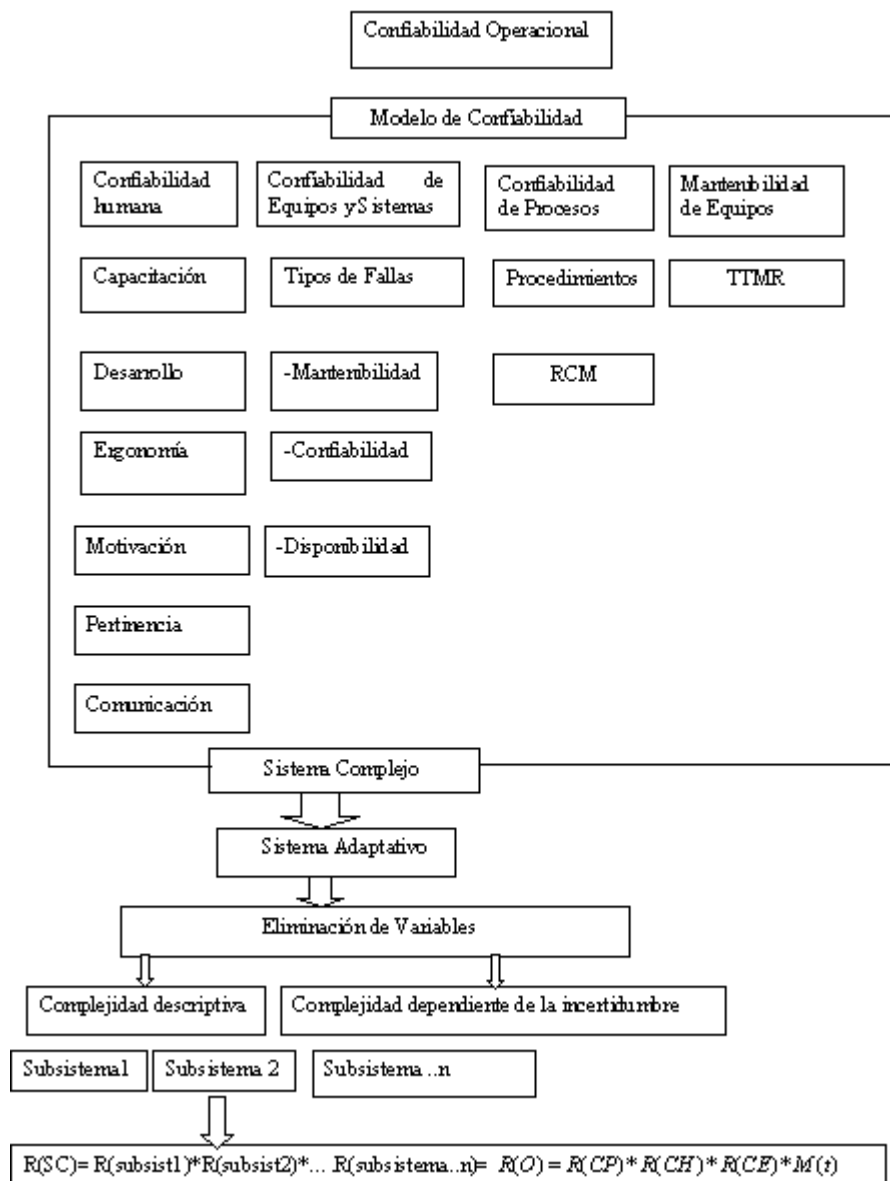


Figura 6. Modelo de confiabilidad operacional

### Conclusiones

A través de este estudio se establecen los requisitos necesarios para simplificar un sistema complejo, los tipos de modelos de confiabilidad que pueden ser usados en dependencia de la información disponible, así como se plantea un modelo de confiabilidad operacional y la estructura de simplificación para evaluarla.

### Nomenclatura

- R(O)-confiabilidad operacional
- R (CE)-confiabilidad de equipos
- R ((CH)-confiabilidad humana

R (CP)-confiabilidad de procesos

CAS- sistema adaptativo complejo

## Bibliografía

1. <http://www.unavarra.esestadisticaLADEM.O.C.Tema4.PDF.PDF>
2. [<http://confiabilidad.net/articulos/el-calculo-de-la-confiabilidad/>]
3. [http://es.wikibooks.org/wiki/Sistemas\\_Complejos/Definicion](http://es.wikibooks.org/wiki/Sistemas_Complejos/Definicion)
4. [http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_complejo](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_complejo)
5. [http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_adaptativo\\_complejo](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_adaptativo_complejo)
6. [http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_Complejo\\_Adaptable](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Complejo_Adaptable)
7. [http://www.gsi.dit.upm.es/~fsaez/intl/libro\\_complejidad/7-tratamiento-de-la-complejidad.pdf](http://www.gsi.dit.upm.es/~fsaez/intl/libro_complejidad/7-tratamiento-de-la-complejidad.pdf)
8. [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/electronica/Setiembre\\_1999/pdf/3\\_metodologia.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/electronica/Setiembre_1999/pdf/3_metodologia.pdf)
9. <http://confiabilidadpep2012.comwordpresswp-content/uploads/2012/06/14.pdf.pdf>
10. [http://books.google.com/cu/books?id=4ahVVXPe-nUC&pg=PA309&lpq=PA309&dq=elementos+que+componen+la+confiabilidad+humana&source=bl&ots=LKE\\_bSdGqP&sig=AfEv7L7Qb3f7S9eNCUeLYOer\\_bY&hl=es-419&sa=X&ei=v\\_eYULb\\_JOji0gHUulHICA&ved=0CDEQ6AEwBA#v=onepage&q=elementos%20que%20componen%20la%20confiabilidad%20humana&f=false](http://books.google.com/cu/books?id=4ahVVXPe-nUC&pg=PA309&lpq=PA309&dq=elementos+que+componen+la+confiabilidad+humana&source=bl&ots=LKE_bSdGqP&sig=AfEv7L7Qb3f7S9eNCUeLYOer_bY&hl=es-419&sa=X&ei=v_eYULb_JOji0gHUulHICA&ved=0CDEQ6AEwBA#v=onepage&q=elementos%20que%20componen%20la%20confiabilidad%20humana&f=false)