



3. ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRES Y SENSIBILIDAD EN UN APS NIVEL I

Jorge E. Núñez McLeod y Selva S. Rivera

Instituto CEDIA~~C~~
Capacitación Especial y Desarrollo de la Ingeniería Asistida por Computadora
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Cuyo
Tel. 54.61.205115 int. 2108
Fax 54.61.380120
Casilla de Correo 405
(5500) MENDOZA
ARGENTINA

RESUMEN

En este trabajo se presenta una metodología de análisis de sensibilidad e incertidumbres, aplicable a un Análisis Probabilístico de Seguridad (APS) de nivel I. En el cual se plantea: la adecuada asociación de distribuciones a variables, la importancia y penalización de la opinión de expertos, la generación de muestras y su tamaño, y el estudio de las relaciones entre las variables del sistema y la respuesta de éste. Además durante el desarrollo de la metodología de análisis se recomiendan una serie de técnicas estadístico-matemáticas y tipos de visualización gráfica par el control del estudio.

INTRODUCCIÓN

Los análisis de sensibilidad e incertidumbres cobran día a día mayor importancia, yendo más allá del requerimiento regulatorio y generando nuevas expectativas en las áreas de operación (o explotación) y mantenimiento de una planta.

La determinación óptima de la calidad de un componente y las tareas de mantenimiento sobre éste, dentro de un esquema de producción, genera mayor disponibilidad del sistema y una disminución de los costos asociados al componente en cuestión.

En un cuadro más amplio, el programa de paradas de planta y el esquema general de mantenimiento pueden optimizarse elevando la confiabilidad del sistema y disminuyendo los costos generales.

Los estudios de sensibilidad e incertidumbres se encuentran a la hora de su aplicación, con una serie de inconvenientes entre los cuales podemos mencionar : un número pobre de datos del comportamiento de los componentes de la planta, falta de una metodología clara y consistente, falta de herramientas adecuadas, pobre control de cada etapa del estudio, etc.

En este trabajo se expone una metodología sistemática que permite llevar a cabo un análisis de sensibilidad e incertidumbres en un APS de nivel I.

INCERTIDUMBRE Y SENSIBILIDAD

Los análisis de incertidumbre y sensibilidad son métodos de evaluación que nos brindan gran cantidad de información sobre el comportamiento de sistemas que han sido modelados para poder ser analizados por computadora, ya sean éstos sistemas físicos o modelos de otra índole como sistemas de álgebra de Boole de componentes mecánicos, modelos económicos, circuitos eléctricos, etc. En nuestro caso particular se trata de modelos de álgebra de Boole.

Este tipo de análisis se fundamenta en introducirle al modelo funciones de distribución de probabilidad a aquellas variables donde antes se introducían valores puntuales correspondientes a las medias de dichas curvas. De este modo se pueden considerar de manera realista variables que son estadísticamente "inciertas", ya sea por un desconocimiento de los valores exactos del parámetro, o bien por tratarse de parámetros de naturaleza aleatoria.

El estudio de incertidumbre permite obtener una serie de descriptores estadísticos de la respuesta del sistema, tales como : media, varianza, desviación estándar, percentiles del 5% y 95%, etc.

El estudio de sensibilidad permite observar la existencia de correlaciones entre variables, el grado de las mismas y el impacto de la variación de una determinada variable en la respuesta del sistema. A través de descriptores estadísticos tales como : coeficientes de correlación parcial, de regresión estandarizados, etc.

LAS ETAPAS DEL ANÁLISIS

Se han agrupado las etapas del análisis de incertidumbres y sensibilidad en los siguientes puntos :

- I. Selección de los componentes a muestrear.
- II. Selección de las variables, que definen el modelo e cada componente, a muestrear.
- III. Asignación de distribuciones a las variables.
- IV. Generación de las muestras.
- V. Propagación de las incertidumbres.
- VI. Obtención de los descriptores estadísticos de incertidumbre
- VII. Obtención de los descriptores estadísticos de sensibilidad.

I. Selección de los Componentes. Teniendo en cuenta la gran cantidad de componentes que un árbol de fallas puede tener, y que para la definición del modelo de indisponibilidad de cada uno de éstos se pueden requerir dos variables. Se hace necesario acotar la cantidad de componentes a estudiar.

Para esto se puede recurrir a clasificar los componentes según una medida de importancia como por ejemplo : derivada parcial, medida de criticidad, medida de Fussel-Vessely, medida de Birnbaum, etc.

Para nuestro caso elegimos la medida de Fussel-Vessely la cual es igual al incremento de la probabilidad de falla del sistema, debida a la falla del componente considerado, multiplicado por la indisponibilidad del componente.

Utilizando esta medida (u otra que se ajuste más a los objetivos del trabajo en particular) se pueden seleccionar aquellos componentes que representan una contribución del 60%-80% a la indisponibilidad del sistema.

Si bien en árboles de fallas grandes, esto disminuye sensiblemente la cantidad de componentes a tener en cuenta, se deberán realizar tareas adicionales. Así por ejemplo la posibilidad de dividir en árboles más pequeños grupos seleccionados para el análisis de importancia menor, extraer del análisis todos los componentes duplicados y aún los sistemas redundantes (aunque manteniendo presente su influencia en el sistema a través de una distribución que represente su comportamiento), etc.

II. Selección de las Variables. Cuando hablamos de variables nos referimos a las que definen el modelo para el cálculo de la indisponibilidad del componente en cuestión.

En modelos como el de componente reparable monitoreado durante la operación, se requiere asignarle valores a tres variables : tiempo medio hasta la reparación, tasa de falla e intervalo de la prueba. En cambio en un modelo de componente no reparable en operación se le asignan valores a dos variables : tiempo de misión y tasa de falla.

Cuando se ve lo anterior, se advierte la duplicación o triplicación del esfuerzo necesario para llevar adelante el análisis de incertidumbre y sensibilidad. Es por esto que se necesitará seleccionar cuidadosamente las variables que se analizarán. Algunos criterios utilizados han sido : esquemas de mantenimiento rígidos, esquemas de operación rígidos, variación del tiempo de reparación despreciable, eliminación de variables por estar fuera del alcance del estudio, etc.

III. Asignación de las Distribuciones. Los valores de las variables y sus distribuciones asociadas (en los casos de interés), pueden provenir normalmente de las siguientes fuentes : datos de planta, base de datos y opinión de expertos.

Datos de Planta. Si se dispone de estos datos, previamente seleccionados y clasificados, se puede proceder a ajustarlo a una distribución y probar el ajuste mediante un test de la chi-cuadrado [1].

Esta es la mejor de las opciones, cuando la cantidad de datos de planta es significativo, caso contrario es contraproducente su uso.

Base de Datos. Al no disponer de datos de planta o siendo estos escasos o de baja significación, se debe recurrir al uso de bases de datos, con información similar a la necesaria o genérica [2].

Este paso parte de la suposición que las condiciones de calidad de fabricación, operación, mantenimiento, etc. de los componentes de la planta son similares a los de la Base de Datos, con lo que se le añade un cierto grado de incertidumbre al análisis. Dependerá del analista utilizar en todo el estudio la misma calidad de datos, de tal manera de no enmascarar los resultados con datos de componentes que no se ajustan a la realidad de la planta.

La penalización por el uso de datos que no coinciden acertadamente con la planta, queda a criterio del analista.

Opinión de Experto. Este último paso es el menos recomendable y si debe ser llevado a cabo en general un factor de error 10 debe tenerse en cuenta.

La opinión concurrente de más de un experto puede ayudar a disminuir la penalización.

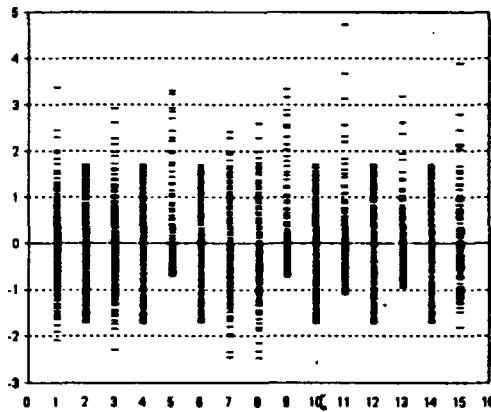
IV. Generación de las Muestras. La generación de las distribuciones de probabilidades para cada variable puede ser efectuado con distintos métodos. Como herramienta para la generación de las muestras puede utilizarse un método Montecarlo, aunque mejores resultados son obtenidos aplicando el Muestreo por Hipercubo Latino (Latin Hipercube Sampling, LHS) [3], el cual es una modalidad del Montecarlo.

El LHS consiste básicamente en la estratificación del eje de ordenadas del gráfico de distribución acumulada en sectores adyacentes y disjuntos. A continuación se genera una muestra aleatoria dentro de cada sector ; obteniéndose en el eje de abscisas los valores de la variable. Este proceso se realiza con todas las variables a estudiar y posteriormente se realiza un apareamiento aleatorio que deberá cumplir con un bajo nivel de correlación para ser aceptado. Al concluir con este último paso se han obtenido las diversas muestras que se introducirán en el modelo.

El tamaño de las muestras es un dato crítico para la correcta interpretación de los resultados, ya que el uso de muestras más pequeñas que la necesaria provocan resultados que van desde comportamientos enmascarados hasta resultados ilógicos (en el mejor de los casos, ya que estos son fácilmente detectables).

Un tamaño razonable para Montecarlo es del orden de las 1 000 muestras, para el caso de LHS ese valor disminuye a 400 muestras. Comprobable en parte a través de los test de aceptación de muestras.

Figura 1. Valores Normalizados de las Muestras



Se puede ver en la Fig. 1 un tipo de gráfico que ha demostrado ser útil para un último control de la muestra a utilizar. En el eje de abscisas se agrupan las muestras (X1, X2, X3, ... ;X 15 es la incertidumbre del sistema) y el eje de ordenadas se colocan los valores normalizados de las muestras. Obsérvese como cada guión horizontal nos indica un valor y en los lugares donde estos se encuentran no se distingue uno de otro. Se puede ver rápidamente las características de cada distribución y sobre las cuales se pueden realizar algunos comentarios. Por ej. : las distribuciones de las muestras X7 y X8 tienen una alta densidad entre 0 y -1. De la base de datos para estas variables obtuvimos la media y los percentiles del 5% y del 95%, se generó una muestra, que cumple con los datos, pero que nos es del todo correcta.

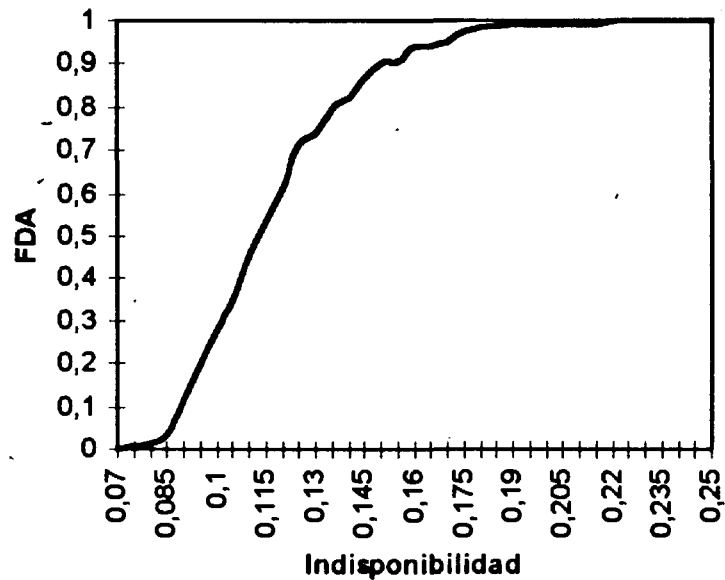


Figura 2. Distribución de la Indisponibilidad del Sistema

V. Propagación de Incertidumbres. La propagación de las incertidumbres es una tarea iterativa del programa que resuelve el modelo del sistema.

Cada muestra se ingresa en el modelo obteniéndose el o los resultados al resolverlo. A continuación se ingresarán los valores de la siguiente muestra y se procede como en el anterior caso. Una vez que se ha resuelto el modelo para todas las muestras con todos los resultados se puede trabajar con estos datos para graficar la función de distribución acumulada de la respuesta del sistema.

La idea conceptual del trabajo realizado se basa en el ingreso de distribuciones de las variables y la obtención de una distribución del resultado, que para nuestro caso es la indisponibilidad total del sistema. En la Fig. 2 puede verse un caso típico. En el cual existe una probabilidad de aproximadamente el 60% de que la Indisponibilidad Total del Sistema sea menor o igual al 0,2

VI. Obtención de los Descriptores de Incertidumbre. Para el estudio de incertidumbres se utilizan las siguientes medidas: media, varianza muestral, desviación estándar muestral, valores máximos y mínimos y percentiles del 5% y del 95%.

Es para este punto necesaria una correcta graficación de los resultados y de las muestras, con lo cual se facilita el proceso de interpretación de los resultados.

Los datos calculados se pueden graficar como se ve en la Fig. 3. La línea del 0 (cero) marca los valores de las medias. Las cajas grises limitan los percentiles del 5% y del 95%, mientras que la línea continua vertical recorre la ordenada desde el valor mínimo hasta el valor máximo para cada distribución.

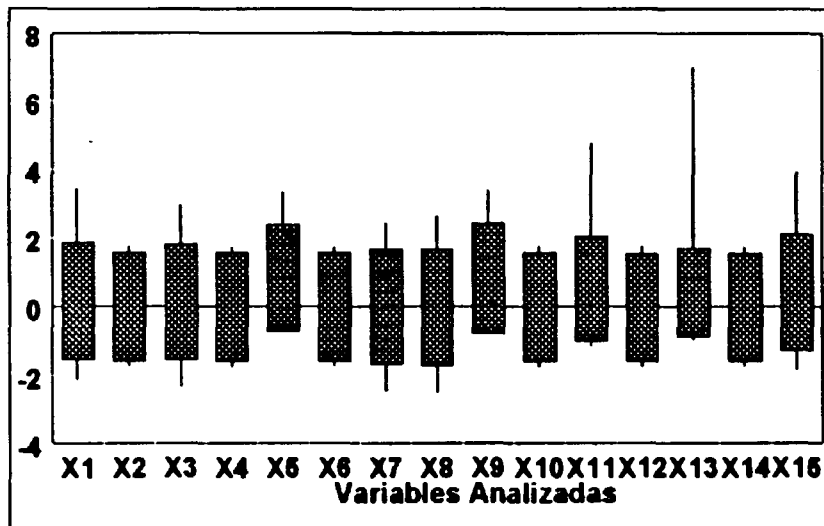


Figura 3. Gráfica de la media, percentiles del 5% y 95% y valores máximos y mínimos

VII. Obtención de los Descriptores de Sensibilidad. Para estos recurriremos a los coeficientes de correlación parcial y los coeficientes de regresión estandarizados [4].

Coefficientes de correlación parcial. (Partial Correlation Coefficients, PCC). Donde estos explican la contribución aislada de cada variable. Podemos decir que estos coeficientes indican cuánto de la variación de la variable de salida se debe a la variación de cada una de las variables de entrada. El coeficiente de correlación global nos dice cuánto de la variación de la variable de salida es atribuible a la variación en conjunto de las variables de entrada aplicando para este caso una regresión lineal. El coeficiente de correlación parcial indica correctamente que al sacar la variable que tiene coeficiente de correlación parcial más alto causa la mayor disminución en la potencia explicativa del modelo (al eliminar la variable mejor correlacionada).

Coefficientes de regresión estandarizados. (Standardized Regression Coefficients, SRC). Donde estos indican qué variable tiene la mayor derivada parcial del modelo de regresión lineal con el cual se ha trabajado. Da una medida cuantitativa de la sensibilidad, lo que permite realizar una clasificación de importancias de las variables por su nivel de sensibilidad. El concepto de sensibilidad nos da una interpretación de cuán lenta (ó rápida) es la variación de la respuesta del sistema a la variación de la variable en cuestión.

Se ven en la Fig. 4 los valores ordenados de los coeficientes de correlación parcial y de regresión estandarizados para cada variable.

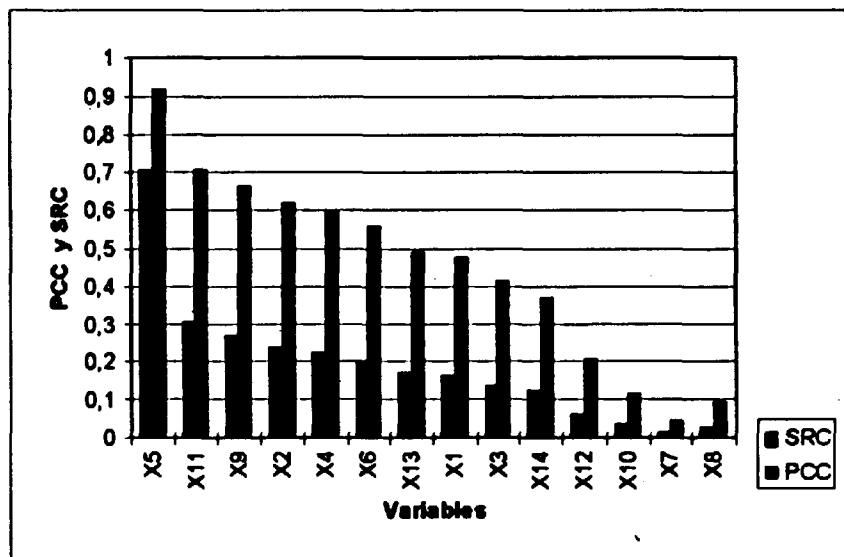


Figura 4. Comparación de los Valores de PCC y SRC

Obsérvese como variables de componentes idénticos (de sistemas redundantes) que deberían tener los mismos valores en sus coeficientes de correlación y regresión son diferentes (ej. X1 y X3). Esto se debe a que si bien los parámetros que determinan la forma de las distribuciones de estas son iguales, cada conjunto de muestras para cada variable es diferente e inclusive con grado de correlación muy bajo entre si. Por lo que la diferencia en los valores de los coeficientes de correlación parcial y de regresión estandarizados se debe a que el tamaño de muestra utilizado está por debajo de valores tales, que ambos grupos de muestras generadas en forma aleatoria y con niveles bajos de correlación, sean equivalentes.

Por otro lado esta diferencia en los valores de los coeficientes de correlación parcial y regresión estandarizada nos están brindando una medida del nivel de resolución obtenido con el tamaño de muestra utilizado. Es decir, que para este caso componentes de condiciones idénticas (componentes de subsistemas redundantes) son clasificados en posiciones adyacentes. Con un tamaño pequeño de muestras, entre estas variables podrían surgir otras, generándose una paradoja

CONCLUSIONES

Se han utilizado diversas herramientas estadístico-matemáticas, algunas disponibles en la mayoría de los paquetes de software comercial y en otros casos se da una referencia de los autores de herramientas específicas.

Cabe recalcar que la cantidad de variables que intervienen en un estudio de incertidumbre y sensibilidad, hacen del uso de gráficos algo obligatorio, tanto para el control de las distintas etapas como para la interpretación de los resultados. Es importante hacer un uso correcto de cada tipo de gráfico, así por ej. en el caso del gráfico de la Fig. 3 no se advierte la diferencia de densidad, que si aparece en la Fig. 1.

En este trabajo se ha presentado una metodología de análisis de sensibilidad e incertidumbres, aplicable a un Análisis Probabilístico de Seguridad de Nivel I. Esta metodología desarrollada y aplicada en convenios con la Comisión Nacional de Energía Atómica [5] y actualmente con Nucleoeléctrica Argentina S.A. tiene un enfoque netamente práctico, que esperamos haber podido plasmar en estas pocas hojas.

REFERENCIAS

- [1] Garcia Gay, j.; Ortega Prieto, P. y Mira Mc Williams, J., **Manual de Usuario del Código Ajuste**, PIACR - ISI -3410/88, CTN - 74/88. Universidad Politécnica de Madrid. Octubre de 1988.
- [2] IAEA, **Component Reliability Data For Use In Probabilistic Safety Assessment**, - TECDOC - 478.
- [3] Garcia Gay, j.; Ortega Prieto, P. y Mira Mc Williams, J., **Manual de Usuario del Código LHSCN**, PIACR - ISI -3408/88, CTN - 74/88. Universidad Politécnica de Madrid. Octubre de 1988.
- [4] Iman, R.; Shortencarier, M.; Johnson, J., **FORTRAN 77 Program and User's Guide for de Calculation of Partial Correlation and Standardized Regression Coefficients**, NUREG/CR-4122, SAND85-0044, RG.
- [5] Núñez Mc Leod, J. y Vinante, H., **Análisis de Importancias, Sensibilidad e Incertidumbre en el Sistema de Conmutación de 132kv de la Central Nuclear de Atucha I**, Informe CCC-01-003/93

ABSTRACT

This work presents a methodology for sensitivity and uncertainty analysis, applicable to a Probabilistic Safety Assessment Level I. The work contents are : correct association of distributions to parameters, importance' and qualification of expert opinions, generations of samples according to sample sizes, and study of the relationships among system variables and system response.

A series of statistical-mathematical techniques are recommended along the development of the analysis methodology, as well as different graphical visualization for the control of the study.