

Confiabilidad estructural de componentes
mecánicos con daño -
Resumen general de aplicación de Monte Carlo

R. Mussini & H. Cancela

2020

Etapas para aplicar el método de Monte Carlo a la evaluación de confiabilidad estructural

1. Definir el problema de interés a estudiar
2. Modelado: definición de modelo de daño, función de estado límite, parámetros de los materiales y configuración
3. Implementación de Monte Carlo (programa o planilla)
4. Validación del modelo implementado
5. Plan de experimentos y resultados numéricos
6. Análisis de sensibilidad
7. Elaboración de conclusiones del estudio

1. Definir el problema de interés a estudiar

Si bien puede parecer la etapa más trivial, es la más importante.

Debe quedar claro cual es el objeto de estudio, qué tipo de componente y daño se desea estudiar, cual es el objetivo del estudio (se busca dado un componente en uso y un daño existente calcular la probabilidad de falla para ver si es conveniente sustituirlo? Se busca definir frente a ciertos daños teóricos, por ejemplo vistos históricamente, ver cual es el comportamiento de un componente en uso o uno que se adquirirá? Se busca comparar distintos componentes posibles, o elegir materiales o en general diseñar un componente?).

2. Modelado

Partiendo del problema que se desea estudiar, es necesario analizar/determinar el modelo detallado: comportamiento del componente, modelo de daño, función de estado límite. Para esto puede recurrirse a la literatura y a la aplicación de las propiedades de comportamiento de los materiales.

Es necesario también determinar los parámetros del componente (dimensiones y materiales) y del daño (sea valores numéricos si son determinísticos, o tipo y parámetros de distribución de probabilidad si son aleatorios). Es posible partir de datos existentes en la literatura, o determinar experimentalmente estos valores, utilizando métodos estadísticos para estimar los estadísticos y para ajustar las distribuciones de probabilidad más adecuadas.

3. Implementación de Monte Carlo

- Se debe programar el método de Monte Carlo para reflejar el modelo preparado en la etapa anterior. Como visto en el curso, es posible programar utilizando un lenguaje o paquete, utilizar una planilla electrónica, o también utilizar un programa comercial específico para simulación.
- Se debe determinar adecuadamente la función de estado límite y su dependencia de los distintos parámetros y variables aleatorias.
- Se debe tener en cuenta el sorteo de esas variables, según las distribuciones elegidas.
- Conviene que el modelo sea fácilmente reusable (por ejemplo teniendo de manera claramente identificada y fácil de modificar, o como entrada de usuario, los parámetros numéricos que pueden cambiar de una a otra configuración del sistema).

4. Validación del modelo implementado

- Es preciso ganar confianza en que el modelo implementado es correcto. Para esto, se recomienda hacer algunas pruebas/ensayos numéricos con casos sencillos donde sea posible hacer un cálculo analítico, o al menos donde sea posible tener un orden de magnitud del resultado esperado.
- Otra forma alternativa de validación es verificar resultados entre dos implementaciones distintas (por ejemplo una programada y otra en una planilla electrónica), o con resultados tomados de la literatura de casos similares.

5. Plan de experimentos y resultados numéricos

Una vez validado el modelo, se debe determinar qué experimentos se desea realizar (por ejemplo teniendo en cuenta distintas dimensiones del daño, o configuraciones del componente), y el tamaño muestral de cada experimento.

Es posible para esto hacer pruebas preliminares y determinar un tamaño muestral adecuado según la precisión que se desea obtener.

En otros casos el tamaño muestral queda definido por los tempos de cálculo aceptables.

En el caso de planillas electrónicas, una implementación del estilo “una fila por cada muestra” tiene la limitante de la memoria de la computadora, y puede acotar el número de experimentos.

El utilizar un programa para implementar permite el realizar experimentos más rápidamente y com mayor tamaño muestral.

Es importante si se hacen varios experimentos el prever la forma de guardar y sistematizar resultados (estimaciones, intervalos de confianza, tempos de cálculo).

6. Análisis de sensibilidad

Dado que los parámetros de entrada también están sujetos a incertidumbre, es interesante hacer pruebas subsidiarias (otros experimentos) cambiando por ejemplo la forma de distribución de probabilidad de los parámetros que más impactan en los resultados, para ver si los valores de probabilidad de falla obtenidos son relativamente robustos frente a estos cambios, o si tienen grandes variaciones.

Si los modelos son robustos es posible utilizarlos con mayor confianza. Si la sensibilidad frente a estos cambios es muy grande, puede ser necesario el realizar una mayor inversión en la recolección de datos para la estimación de estos parámetros.

7. Elaboración de conclusiones del estudio

Una vez concluido el análisis de Monte Carlo, se debe presentar las conclusiones en términos del problema inicial que motivó el estudio, para permitir una clara interpretación de los resultados que permita “responder las preguntas” iniciales.

Métodos de Monte Carlo – ventajas y desventajas

Ventajas

- Flexibilidad, posibilidad de estudiar casos que no se pueden resolver analíticamente
- Permiten tener en cuenta incertidumbre en parámetros, modelar mediante distribuciones de probabilidad diferentes comportamientos
- Permiten determinar la precisión con que se desea tener el resultado (con mayor costo computacional cuanto mayor sea la precisión requerida)
- Es fácil reusar modelos para adaptarlos a distintas configuraciones

Desventajas

- En caso de modelos con probabilidades de falla muy bajas (p.ej centrales nucleares) el tiempo de cálculo puede ser demasiado alto (inviabile), requiriendo métodos de Monte Carlo con reducción de varianza para poder estimar los valores.
- Es difícil garantizar, cuando las probabilidades de falla son bajas, la consistencia de los intervalos de confianza.
- Si se comenten errores en el modelado puede ser difícil detectarlos y corregirlos.