



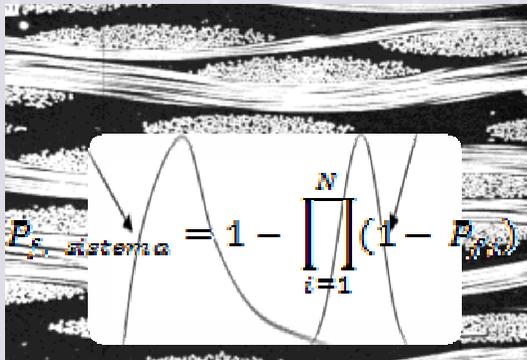
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

X Congreso de Confiabilidad 2008



Escuela Técnica Superior de
Ingeniería Agraria
Universidad de Lleida

MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES



González Díaz, Rafael Eugenio
Alonso Pérez, Jacinto Julio
Tafur Segura, Javier

Departamento de Ingeniería de Organización,
Administración de Empresas y Estadística

LLEIDA, 26 y 27 DE NOVIEMBRE DE 2008



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

Los materiales compuestos son hoy día un material mas a la hora de seleccionar uno en una aplicación concreta.

Su crecimiento ha sido espectacular, especialmente por la I+D realizada en aeronáutica, teniendo aplicaciones en sectores de automoción, naval y bienes de consumo.

Aunque sus propiedades dependen de los materiales de los que estén constituidos, el proceso de producción influye determinantemente en el resultado.

Esto ha llevado a desarrollar nuevos materiales y procesos que den lugar a resultados mas predecibles.



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

Por otro lado la fiabilidad de estos materiales ha pasado a tener un

clausula

de avion

co

La

- [

pr

- [

re

humana.





MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

Pero estas dos líneas no han sido suficientes y los esfuerzos también se han dirigido en desarrollar modelos de fiabilidad de estos materiales. Algunos ejemplos son:

- FFAA de USA en el F-16 y T-38
- NASA Lewis: integrate Probabilistic Analysis of Composite Structures (IPACS), integrated Composite Analyzer (ICAN), Probabilistic Integrated Composite Analyzer (PICAN), adaptive Importance Sampling (AIS), probabilistic Fault Tree Analysis (PFTA),...
- Nessus: Box-Behnken Experimental design procedure
- Grumman Aerospace: ProDeCompoS methodology
- Northrop-Grumman methodology



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

Descripción detallada del modelo

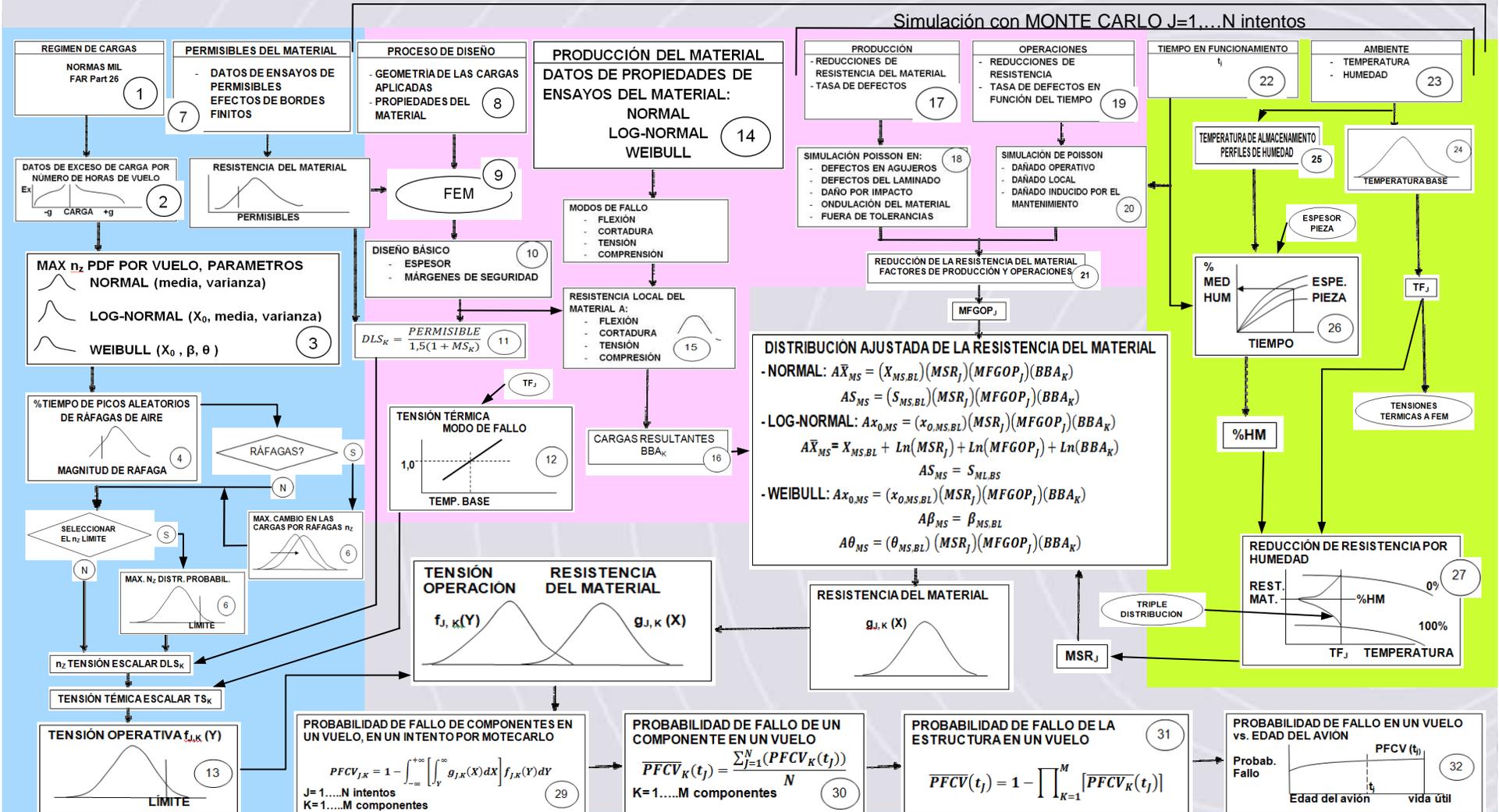
Para una situación dada con un modo potencial de fallo dado, la simulación de Monte Carlo produce lo siguiente :

- Ajusta las distribuciones de probabilidad de resistencia y tensión debido a los efectos seleccionados arbitrariamente
- Calcula la probabilidad de fallo mediante la integración de Romberg
- Calcula la probabilidad media de fallo a partir de todas las pruebas.
- En la dispositiva siguiente podemos ver un diagrama de flujo con las principales partes del modelo.



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

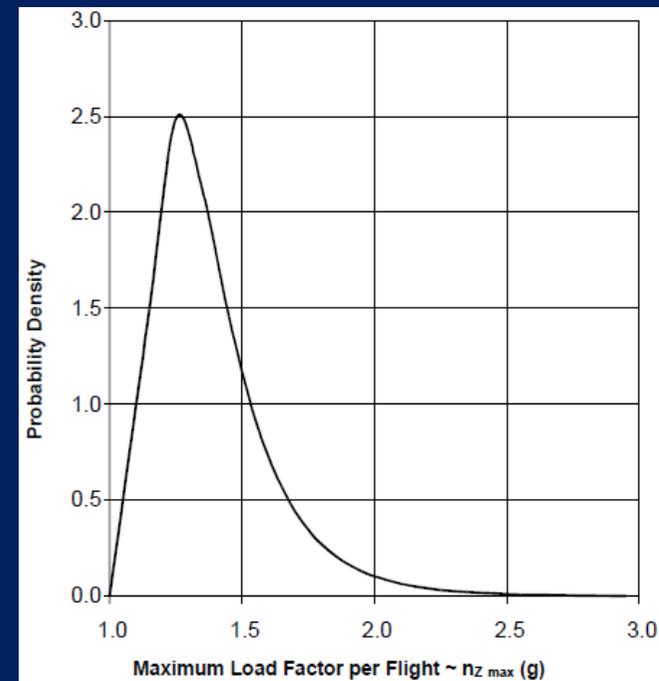
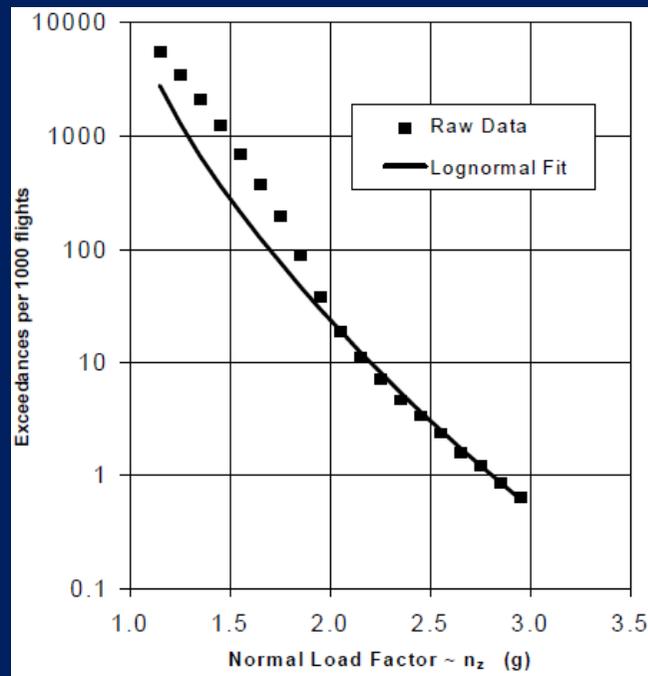
Para cada componente estructural $K=1, \dots, M$





MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

Breve descripción del modelo:



Conversión de ráfagas positivas con su n_z en una distribución de Poisson



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

A	B	C	D	E	F	G
n_z	Nº de excesos por cada 1000 vuelos	Distribución de Poisson	Distribución de Poisson optimizada	Nº de excesos por cada 1000 vuelos	Error	PDF
1	Infinito	0.00000	0	Infinito		0
1.15	5626.69	0.00360	0.06087	2799.04	0.00654	1,49622
1.25	3515.89	0.02972	0.27563	1288.69	0.01511	2,48931
1.35	2126.35	0.11927	0.51235	668.74	0.02279	2,12247
1.45	1237.13	0.29022	0.69117	369.37	0.02882	1,45814
1.55	696.11	0.49852	0.80867	212.36	0.03290	0.92312
1.65	379.17	0.68443	0.88184	125.75	0.03455	0.56712
1.75	199.23	0.81936	0.92659	76.25	0.03291	0.34593
1.85	88.90	0.91494	0.95391	47.19	0.01992	0.21179
1.95	38.38	0.96235	0.97070	29.74	0.00489	0.13084
2.05	18.94	0.98124	0.98113	19.05	0.00000	0.08177
2.15	11.16	0.98890	0.98768	12.39	0.00188	0.05175
2.25	7.27	0.99276	0.99186	8.18	0.00350	0.03318
2.35	4.70	0.99531	0.99455	5.47	0.00950	0.02155
2.45	3.39	0.99662	0.99631	3.70	0.00511	0.01417
2.55	2.39	0.99761	0.99747	2.53	0.00444	0.00943
2.65	1.63	0.99837	0.99825	1.75	0.02231	0.00635
2.75	1.22	0.99878	0.99877	1.23	0.00067	0.00432
2.85	0.87	0.99913	0.99913	0.87	0.00108	0.00297
2.95	0.65	0.99935	0.99938	0.62	0.01445	0.00206
Error Sum					0.26139	
Parametros					$\mu = -1.0664$	$\sigma = 0.5368$

A y B son los datos iniciales

C es el parámetro λ de la distribución de Poisson
 $= e^{-0,001*B}$

D es un ajuste con una distribución Log-Normal para optimizar C

$E = 1000 * \ln D$

$F = \text{error} = (\ln B - \ln E) / \ln B$

G es la distribución

Resuelto con Solver-Excel



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

- Caja 4 : Cargas de ráfagas: se introducen como una

Para tratar los datos con MonteCarlo, si la probabilidad de que haya una ráfaga es un 10% y que, de las que ocurren, el 20% son positivas hacemos una distribución uniforme de $[0,1]$ equivalente a 0 a 0,1 y otra con límites 0 a 0,2 para si son positivas o negativas

- Hay que tener en cuenta el valor real de la distribución de la ráfaga, ya que aunque el pico pueda llegar a $2g$ el valor medio y la varianza deben ser los datos a emplear

factor de cargas en dirección positiva o negativa.



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

- Caja 6: Truncamiento de la carga: podemos encontrar distribuciones de carga que se truncan a un valor de carga máxima. En el Lear Fan 2100 se utilizó un truncamiento al valor de la máxima carga, que correspondió a unas 5g en el CG. De cualquier forma es interesante plantearse esta opción como primera observación sobre el comportamiento del avión.
- Caja 6A: Conversión a tensiones: Normalmente consiste en multiplicar por un factor K introduciendo un factor de seguridad. Debido al carácter anisótropo de los composites, la dificultad de ensayo, especialmente a compresión, y la presencia de las variables de producción, hay variaciones significativas entre lote y lote. Los coupon test requieren a menudo ajustes.
- Caja 6B: Importancia del número de muestras por lote.



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

- Cajas 8 v 9 : Proceso de diseño y FEM : el modelo de diseño utilizado por FEM para determinar la respuesta de la estructura.
 - 1) Identifica los modos previstos de fallo y las cantidades de los márgenes entre las cargas y tensiones aplicadas y las cargas y tensiones permisibles.

El paso de hacer FEM se considera **diseño detallado**.
 - 2) El margen de seguridad se establece desde este paso entre las tensiones y las performances de avión como la n_z . Además el FEM es útil ya que un estado de tensiones en todo el componente con lo que se pueden **establecer mas fácilmente**
 - 3) **los lugares críticos para el análisis probabilísticos.**
 - 4) para determinar la flexibilidad estructural.



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

Ca

El espesor resultante y margen de seguridad para los modos de fallo serán los datos base para el análisis probabilístico.

- Cala 11 : Cálculo de la tensión límite de diseño: con los permisibles del material y el margen de seguridad en cada punto de análisis probabilístico se calcula el DLS. Este valor conjunto con n_z constituyen los valores límite del diseño. Con ello obtenemos la PDF de las tensiones que consiste en dividir el DLS/n_z , de forma que convertimos la PDF de n_z en una de tensión.



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

- Caja 12 : Tensiones debidas a la temperatura: se incluyen en el cálculo a diferentes niveles. Se hace una simulación por Monte Carlo para cada temperatura aleatoria, introduciendo la influencia sobre la PDF de tensiones mediante un factor de escala TS. Hace falta disponer inicialmente de una tabla de datos de resistencia. La MIL-HDBK-17 describe los 30 datos necesarios para determinar una media y desviación estables.
- Ca Una vez se han obtenido los datos, se estudia el ajuste estadístico más adecuado. Este estudio se denomina Anderson-Darling para el ajuste y generación de las permisibles del diseño.
- Ca Se pueden utilizar hojas EXCEL para optimizar los datos.
- fall Una dificultad en usar las distribuciones Log-normales y Weibull son los tres parámetros, concretamente, definir el tercero, donde empieza la distribución, es decir, donde la probabilidad es cero para la resistencia.



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

- Caja 15 : Distribución espacial de la resistencia del material : los modos de fallo a cortadura, tracción o compresión se modelan mediante test coupons. No hay un ensayo directamente relacionado con el fallo a pandeo, pero se puede aproximar mediante $E_c * t^2$. Esta distribución puede escalarse y sumarse para tener en cuenta los problemas de producción, operación, temperatura y humedad.
- Caja 16 : Ajuste por agujeros cargados : Si existe la presencia de zonas con gran cantidad de agujeros y la tensión se concentra, habrá que introducir un factor de reducción de la resistencia del material, que se puede escalar fácilmente en la PDF. Además se debe de tener en cuenta la posición de éstos en lugares críticos.



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

- Cajas 17 y 18 : Simulación de los defectos de

Para determinar el factor se utiliza una distribución de Poisson:

Por ejemplo, si tenemos que un defecto de fabricación viene dado por 0,02 defectos por pie cuadrado, y el área de interés de localización es de 2 pies cuadrados, la probabilidad de tener uno o más defectos será :

$$P = 1 - e^{-0,02 \cdot 2} = 0,0392$$

Ahora mediante una simulación de Monte Carlo tendremos datos que irán desde 0 hasta 0,0392, con lo que obtendremos el factor de reducción de resistencia.

frecuencia, efecto medio y localización en el avión. Estos datos se basan en los datos del fabricante.



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

- Casos 19 y 20 : Simulación del dañado operativo : la

DAÑADO OPERATIVO DE DOS AEROLINEAS DE USA

	AEROLINEA A	AEROLINEA B	TOTAL	PROBABILIDAD
Nº HORAS DE VUELO	2005896	1691775	3697671	
Nº DE DAÑOS INDUCIDOS POR EL MANTENIMIENTO	585	491	1076	0,000290994
Nº DE IMPACTOS DE RAYOS	60	51	111	3,00189E-05
Nº DE IMPACTOS DE PÁJAROS	4	3	7	1,89308E-06
Nº DE DAÑOS POR TORMENTA	5	1	6	1,62264E-06

INV

cas

res

que

Co

una

Por ejemplo, si la tasa de defectos operacionales por impacto de pedrisco es 10^8 defectos por cada pie^2 por hora de vuelo, y el área de localización posible es 2 pie^2 , y el tiempo de análisis son 20000 horas de vuelo, la probabilidad de tener uno o más defectos defecto será

$$P(1 \text{ o mas defectos}) = 1 - e^{-1E-08 \cdot 2 \cdot 20000} = 0,0004$$

Ahora con la simulación de Monte Carlo tendremos números entre 0 y 0,0004, que indicarán el daño en esa localización.



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

- Caja 21 : Factores de reducción de resistencia del material: como pueden ocurrir mas de un defecto en una misma localización se introducen factores en la simulación de Monte Carlo para tenerlo en cuenta. Con ello se obtiene el MFGOP.
- Caja 22 : Edad del avión : se tienen en cuenta cualquier dato sobre edad del avión, introduciendo factores como por ejemplo la absorción de humedad de la resina. Un problema que se plantea es la dificultad de introducir daños producidos por fatiga y plantear un factor de reducción progresivo de la resistencia del material en composites.



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

- Caja 23 : Ambiente de operación : los composites son susceptibles a la humedad y temperatura, que pueden causar significativas reducciones de las propiedades mecánicas. Una estructura de pequeño espesor puede estar saturada superficialmente en pocos años. Por otro lado la temperatura se difunde mucho mas rápidamente que la humedad pero afecta a la velocidad de difusión de la humedad. La cantidad a la que puede llegar es 1%.
- Caja 24 : Distribución de temperatura de vuelo : las altitudes a cada segmento del vuelo pueden ser útiles para el cálculo. Podemos encontrar distribuciones continuas o discretas que hay truncar en sus extremos. Ya que todas las temperaturas pueden ocurrir para el n_z máximo Monte Carlo hace la simulación incluyendo esta variable. Esta temperatura sirve para calcular la tensión térmica e introducir el valor de pérdida de resistencia a compresión por efectos higrotérmicos.



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

- Caja 25 : Ambiente de almacenamiento : podemos calcular mediante las Leyes de Fick el efecto de la humedad en función de la temperatura y el tiempo en función del espesor del laminado.
- Caja 26 : Modelo de absorción de humedad : con los datos anteriores se obtienen condiciones de seco y saturación del tiempo de uso del material lo que llevamos al modelo probabilístico. Podemos interpolar
- Caja 27 : Reducción de resistencia debida al ambiente : se utiliza un modelo parecido a una distribución beta.



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

- Caja 28 : Ajuste de la distribución de resistencia del material: es un proceso aditivo con los datos correspondiente a agujeros cargados, temperatura y humedad y producción y operación.
- Caja 29: Probabilidad de fallo del componente : consiste en la comparación entre las PDFs de resistencia y tensión, si bien se puede integrar las funciones. El número de integraciones es igual a MC pruebas por número de localizaciones por número de fallos por valores de sensibilidad de espesores.
- Caja 30: Probabilidad de fallo del componente : se obtiene una media aritmética de los resultados anteriores
- Caja 31 : Probabilidad de fallo de la estructura : la probabilidad se calcula por asociaciones de tipo booleano.



MODELIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN APLICACIONES ESTRUCTURALES

Caja 32 : Probabilidad de fallo vs. edad del avión:
ejecutando el programa una vez tras otra e introduciendo las PF
obtenidas podemos ir viendo el envejecimiento del avión, y
calcular la PF vs. tiempo.

EJEMPLO

“La máxima tensión durante un vuelo para un componente estructural de un avión es una cantidad aleatoria que sigue una distribución normal de media 2000 psi y desviación 500 psi. La resistencia del componente también está distribuida normalmente con una media de 4000 psi y desviación 1000 psi. Hay un 50% de ráfagas positivas que provocan un incremento de tensión de 200 psi. El número esperado de defectos de producción no detectados es 1 y si existiera 1 la resistencia del material disminuiría un 20%”.

¿Cuál es la probabilidad de fallo del componente en un vuelo, si se define el fallo como que se supere la tensión a la resistencia del material ?





MUCHAS GRACIAS ¿PREGUNTAS?



Info:
rafaeleugenio.gonzalez@upm.es