

RESUMEN DEL CONTENIDO DE TESIS DOCTORAL

1.- Título de la Tesis	
Español/Otro Idioma: EUROCÓDIGO 3: PREDICCIÓN DE DAÑO MEDIANTE UNA INTERPRETACIÓN PROBABILÍSTICA DE LA REGLA DE MINER	Ingles: EUROCODE 3: DAMAGE PREDICTION BASED ON A PROBABILISTIC INTERPRETATION OF THE MINER'S RULE

2.- Autor	
Nombre: ANTONIO SENDÍN ÁLVAREZ	DNI/Pasaporte/NIE:

RESUMEN (en español)

Los modelos empleados en el ajuste del campo S-N permiten extrapolar la información obtenida a partir de de datos provenientes de ensayos de fatiga a la totalidad del dominio de los datos experimentales, y proporcionan la información básica necesaria para realizar el cálculo a fatiga de un elemento. Por otro lado, los modelos de daño permiten cuantificar el nivel de daño acumulado por un elemento sometido a fatiga. La aplicación de un modelo de daño requiere la información proporcionada por el modelo del campo S-N, así como la utilización de un índice de daño. Se han propuesto un gran número de variantes para el índice de daño en la literatura, siendo el índice más conocido y utilizado el número de Miner.

El comportamiento de elementos sometidos a fatiga tiene una elevada componente de aleatoriedad, por lo que, tanto los modelos de ajuste del campo S-N, como los modelos de acumulación de daño, deberían incorporar consideraciones estadísticas en su formulación. No obstante, un gran número de códigos normativos consideran el cálculo de elementos a fatiga únicamente desde un punto de vista determinista, basados en los aspectos fenomenológico y empírico del fenómeno. La principal razón de este hecho radica en la fácil aplicación de los modelos deterministas, que no requieren el conocimiento de consideraciones estadísticas y permiten cuantificar, de forma rápida, el nivel de daño a fatiga de un elemento. Por otra parte, la limitación de estos modelos radica en su incapacidad para realizar análisis rigurosos, así como para establecer un valor de probabilidad de fallo del elemento a partir del índice de daño utilizado.

El Eurocódigo 3 presenta una única curva S-N para cada una de las categorías de elemento consideradas y el tipo de tensión aplicada. El modelo de daño utilizado por el Eurocódigo 3 es la regla de Miner, que propugna (según la interpretación convencional) un aumento de daño lineal en función del número de ciclos transcurridos sobre el elemento. Basándose en el carácter general de aplicación que tiene la norma y en su intento de facilitar su aplicación, el Eurocódigo 3 acepta ciertas hipótesis, no siempre suficientemente fundamentadas, mientras que otras contradicen la realidad física del fenómeno de la fatiga. Asimismo, la norma se aplica bajo una consideración determinista, eludiendo, casi por completo, cualquier concepto estadístico y omitiendo parámetros estadísticos relevantes, como es el de la desviación típica asociado a cada una de las categorías consideradas.

Con el objetivo de analizar las hipótesis propuestas por el Eurocódigo 3, se ha desarrollado un modelo, llamado Modelo de Basquin Normalizado, que permite obtener un campo S-N aplicando las mismas hipótesis consideradas por la norma. A partir de datos experimentales hallados en la literatura, se ha obtenido el campo S-N para diferentes elementos constructivos. Los ajustes realizados muestran cómo las curvas de diseño proporcionadas por el Eurocódigo 3 no son siempre conservadoras, en contra de lo esperado de un código de diseño de aplicación con carácter general. Posteriormente, dichos ajustes se han comparado con los obtenidos mediante el modelo general de fatiga de Castillo y Fernández Canteli. La comparación entre los campos S-N obtenidos por ambos modelos permite establecer que las hipótesis consideradas por el Eurocódigo 3 son admisibles, en aras de una simplificación en la aplicabilidad de la norma, si bien se comprueba la ausencia de rigor para muchas de ellas.

A partir del estudio de una de las hipótesis consideradas por el Eurocódigo 3, como es el

descenso del límite de endurancia para elementos sometidos a tensiones normales de amplitud variable, se han propuesto mejoras para el diagrama de Kitagawa-Takahashi, o diagrama de límite de endurancia variable. Por un lado, se comprueba cómo el parámetro real obtenido en dicho diagrama es un límite de fatiga, asociado a un número finito de ciclos, y no un límite de endurancia, que se corresponde con el valor asintótico. Por otro lado, la utilización de un modelo de ajuste del campo S-N probabilista permite establecer un diagrama Kitagawa-Takahashi probabilista, o campo Kitagawa-Takahashi, donde cada curva del diagrama está asociada a un valor de número de ciclos correspondiente al límite de fatiga considerado, así como a una determinada probabilidad de fallo.

Asimismo, en la presente Tesis Doctoral se ha desarrollado una interpretación estadística del Eurocódigo 3, con el objetivo de mantener la simplicidad en la aplicación de la norma pero dotándola de herramientas estadísticas que permitan la obtención de valores de probabilidad de fallo de un elemento. A partir de la consideración estadística del tiempo de vida a fatiga, se ha obtenido una distribución de probabilidad para el rango de tensión. La consideración estadística de ambas variables permite asimilar el efecto de los coeficientes parciales de seguridad γ_{Mf} a la utilización de un curva S-N de referencia asociada a una probabilidad de fallo menor que la original. La compatibilidad existente entre ambas distribuciones, permite la generación de un campo S-N, a partir de la curva de diseño del elemento y manteniendo las hipótesis consideradas por el Eurocódigo 3.

De forma similar, la consideración estadística del tiempo de vida a fatiga permite deducir distribuciones estadísticas del número de Miner y del rango de tensión equivalente, lo cual permite asociar un determinado valor de número de Miner a una probabilidad de fallo del elemento. El modelo estadístico propuesto para el campo S-N permite utilizar como referencia cualquier curva percentil generada, sin que ello afecte al valor de probabilidad de fallo obtenido. El modelo de daño propuesto se ha validado mediante la consideración de 3 espectros de tensiones aplicados sobre un detalle de categoría 112. Se ha comprobado cómo la utilización de diferentes curvas de referencia y coeficientes parciales de seguridad no afecta a la probabilidad de fallo final obtenida.

RESUMEN (en Inglés)

The fatigue models considered to analyze the S-N field allow us to extrapolate the information provided by the fatigue tests to the whole range of the field, providing the basic information for the fatigue design. On the other hand, the fatigue damage models allow us to quantify the accumulated damage in an element under fatigue loading. The application of a damage accumulation model requires the information provided by the S-N field model, and the consideration of a damage index. Some damage indexes have been proposed in the literature, whereas the Miner's number is the most well known.

A high level of scatter is expected in elements subject to fatigue loading. For this reason, both the S-N fields and the damage fatigue models should consider statistical aspects in their formulations. Nevertheless, most of the fatigue codes consider the fatigue design from a deterministic point of view, based on the phenomenological and empirical considerations of the phenomenon. The main reason for this is that the deterministic models are easy to use, they don't need any statistical knowledge, and allow quantifying quickly the damage level of an element. On the other hand, an important drawback of these models is that it is not possible to associate any probability of failure to the damage index value.

The Eurocode 3 proposes a unique fatigue strength curve for any constructive detail handled and the fatigue load applied. The damage index considered by the Eurocode 3 is the Miner's rule, which proposes, according to a conventional interpretation, a lineal damage accumulation. Based on the general nature of the code, and in order to facilitate an easier application, the Eurocode 3 assumes some hypothesis that contradict the physics of the fatigue phenomenon, whereas others are not based on statistical considerations. On the other hand, the code is applied considering a deterministic point of view, avoiding any statistical concept and omitting important statistical parameters, such as the standard deviation of the S-N curves associated to the different categories.

In order to analyze the hypothesis accepted in the Eurocode 3, a new statistical fatigue model,

called Normalized Basquin Model is developed. This model allows us to get a S-N field, considering the Eurocode 3 assumptions. From experimental data obtained from the literature, the S-N fields for different detail categories have been obtained. The analysis shows that the design curves proposed by the Eurocode 3 are not always conservative for all the categories, contrary to what is expected from a fatigue code. Then, these S-N fields are compared to those obtained from the general fatigue model of Castillo & Fernández Canteli. The comparison of the analysis obtained from both S-N models shows that the hypothesis considered by the Eurocode 3 are acceptable, in the application of the code for simplicity reasons, but again it lacks scientific rigor.

One of the hypothesis assumed by the Eurocode 3 is the decrease of the endurance limit for elements subject to variable amplitude normal stresses. In this Doctoral Thesis, some improvements for the Kitagawa-Takahashi diagram are proposed. On one side, it is proved that the parameter obtained in the Kitagawa-Takahashi diagram is a fatigue limit, related to a finite number of cycles, but not the endurance limit, which is related to the asymptotic value. On the other side, the consideration of a statistical fatigue model allows us to consider a probabilistic Kitagawa-Takahashi diagram, or Kitagawa-Takahashi field, where each curve of the diagram are associated to both, a number of cycles of the fatigue limit and a probability of failure.

Moreover, in this Doctoral Thesis, a statistical interpretation of the Eurocode 3 is provided, keeping the simplicity in the application of the code, furthermore, allowing the probability of failure of an element to be assessed. From a statistical consideration of the fatigue life time, a probability distribution for the stress range is obtained. The statistical interpretation of both parameters allows us proving the effect of the partial safety factor for fatigue strength γ_{Mf} to be equivalent to different S-N curves associated to a lower reference probability. The compatibility between both distributions facilitates the generation of a S-N field from the design curve, maintaining the hypothesis considered by the Eurocode 3.

In the same way, the statistical consideration of the fatigue life time leads to get statistical distributions for the Miner's number and the equivalent stress range, which permits the association of the Miner's number with a probability of failure. The proposed statistical model has been validated considering a 112 detail category subject to three different design spectra. It has been proved that the use of different reference curves of the S-N field and different partial safety factors for fatigue strength does not influence the final probability of failure.