

MAPAS CONCEPTUALES EMPLEADOS EN INGENIERÍA: KBFD (KNOWLEDGE BASED FATIGUE DESIGN)

José Antonio Pascual Cornago, Sumitomo Electric Bordnetze GmbH, España

Fermín M. González García, Universidad Pública de Navarra, España

Email: jpascual75@gmail.com, fermin@unavarra.es

Resumen. En el presente artículo se describe la primera herramienta conocida de ayuda al Ingeniero en el proceso de diseño de componentes respecto a su resistencia a la Fatiga mecánica. Esta herramienta está basada en Mapas Conceptuales. Ha sido desarrollada y probada en tareas de consultoría y de formación tanto en Europa como en Estados Unidos.

1 Diseño a Fatiga basado en el Conocimiento

1.1 Introducción

El presente documento representa la primera publicación del proyecto de investigación que se realizó para la obtención del título de Suficiencia de Investigación dentro del Programa de doctorado “Ingeniería Mecánica Aplicada y Computacional” impartido por el Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales de la Universidad Pública de Navarra (España). Este trabajo se realizó bajo la supervisión de los doctores Javier Ros e Isidro Zabalza, pertenecientes a dicho departamento, y con la colaboración del catedrático de Didáctica de las Ciencias Experimentales Fermín González. El Trabajo fue presentado en Pamplona en julio de 2008.

1.2 Objetivo

El objeto del proyecto de investigación es la creación de una herramienta que ayude al Ingeniero mecánico en el proceso de diseño de componentes respecto a su resistencia a la Fatiga mecánica (en adelante denominada simplemente como “Fatiga”). Esta herramienta se ha denominado con acrónimo en inglés KBFD (Knowledge Based Fatigue Design), subrayando la filosofía en la que se fundamenta: diseño basado en el conocimiento.

KBFD pretende ser una potente herramienta de diseño, fácil de utilizar y flexible en todos los niveles tanto teóricos como prácticos en los que se puede emplear: investigación, ingeniería profesional y docencia de la ingeniería.

1.3 El “problema” del Diseño a Fatiga

1.3.1 Definición de Fatiga

La Fatiga mecánica ha sido y es una de las principales causas de fallo en sistemas de todo tipo - mecánicos, eléctricos y electrónicos, entre otros - siendo muy crítica en sectores como el de los medios de transporte y la energía.

Es un fenómeno que aparece sin previo aviso y está condicionado por el uso que de cada uno de los componentes que forma el sistema de estudio se haya realizado en toda su vida útil, incluyendo su propio proceso de fabricación. Es en consecuencia un fenómeno muy difícil de predecir y altamente pluridisciplinar.

Se caracteriza por ser un fenómeno localizado al producirse en zonas puntuales del componente, progresivo porque ocurre a lo largo de un periodo de tiempo a pesar de que pueda parecer un fenómeno repentino y permanente por ser irreversible.

1.3.2 Problemática de la Fatiga en la actualidad

El problema del diseño a Fatiga ha sido estudiado desde mediados del siglo XIX y ha sido fundamental en sectores como el ferroviario y el aeronáutico, implicando la inversión de grandes recursos económicos, así como la pérdida de numerosas vidas humanas.

Sin entrar en detalles sobre el problema mismo del diseño a Fatiga, mencionar que este campo de la ingeniería mecánica es en sí mismo es muy complejo. Como muestra se enunciarán las siguientes paradojas de los métodos de diseño a fatiga actualmente empleados.

Paradoja 1

El carácter localizado del proceso, hace que deban tenerse en consideración aspectos hasta una escala atómica del material. En contraposición, el análisis del proceso se realizaba tradicionalmente mediante métodos basados en resultados experimentales a nivel macroscópico, caracterizados mediante funciones de variables estadísticas.

Paradoja 2

El diseño de componentes se basa habitualmente en los resultados experimentales provenientes de muestras del material que buscan obtener una gran repetibilidad y cuyas características en la mayoría de los casos difieren de las características del material real del componente en estudio, hasta el punto que presentan comportamientos en vida a Fatiga diferentes en varios órdenes de magnitud.

Por otra parte, a pesar de los desarrollos realizados en los ámbitos tanto académicos como de investigación, la industria presenta una gran resistencia a la incorporación en sus procesos de diseño y análisis los nuevos avances que se hayan realizado.

El presente trabajo trata de crear puentes que unan estos ámbitos así como conciliar las paradojas anteriormente descritas, al crear una herramienta de comunicación clara y transparente entre el conocimiento de los individuos, esto es, el mapa conceptual.

2 Desarrollo de la Investigación

2.1 Origen de la idea

El germen de la idea en la que se basa el proyecto KBFD se encuentra tanto en mi experiencia educativa como profesional.

Ya en la enseñanza secundaria experimenté el aprendizaje significativo así como los mapas conceptuales [González, 2008], [Novak, 1984] y [Novak, 2006] de la mano de mi profesora de biología. A falta de una herramienta como Cmap Tool [Cañas, 2004], empleábamos papel y pizarra, e incluso en algunos casos el conjunto de la clase llegábamos a consensuar los mapas.

Durante mis estudios de Ingeniería Industrial, en una pequeña parte de una única asignatura, me inicié en el campo de conocimiento de la Fatiga Mecánica. Este campo me impresionó especialmente debido en parte al entusiasmo del profesor, así como a mi predilección por la Ciencia de los Materiales. Estaba muy claro que era un tema muy interesante, mezcla de varias disciplinas científicas y con una importantísima aplicación práctica.

Más adelante, trabajando en el departamento de Fatiga de un centro de investigación del automóvil, entré en contacto con el mundo de los ensayos de vida a fatiga, así como los modelos matemáticos que se empleaban para la estimación de la misma. Al mismo tiempo realicé los cursos de doctorado, incluyendo asignaturas relacionadas con la Fatiga, la Mecánica de la Fractura y los ensayos.

Fue en este periodo cuando me di cuenta de la incomunicación existente entre los mundos docente e investigador con el mundo práctico de las empresas y los centros tecnológicos, y de las oportunidades que podría surgir de una mejora en la relación de los mismos.

Posteriormente trabajé como consultor de Fatiga de una empresa americana con base en Alemania, en empresas ubicadas tanto en Alemania como España. Durante este periodo de dos años fue cuando desarrollé el trabajo en el que se basa la presente publicación.

2.2 *Desarrollo de la investigación*

El trabajo de investigación fue realizado paralelamente con la aplicación práctica del mismo en mi actividad profesional.

El estudio personal fue siendo plasmado en mapas conceptuales para posteriormente ser aplicado en tareas de resolución de problemas y formación a clientes. Por un lado, el mapa conceptual permite plasmar el conocimiento a través de conceptos y sus relaciones entre ellos, y por otra, de su interacción con el diseñador surgirá la solución a la problemática que se quiera resolver.

Adicionalmente los resultados obtenidos así como el mapa en sí mismo fueron discutidos con compañeros de trabajo y clientes, en Europa y en Estados Unidos.

La valoración y la crítica del trabajo fueron de gran ayuda para la toma de decisiones en relación al diseño de los mapas conceptuales, así como para la resolución de las discusiones relativas al conocimiento propiamente dicho que tuvieron lugar.

2.2.1 *Uso de Mapas Conceptuales en el área de la Fatiga Mecánica*

El uso de los Mapas Conceptuales, durante la realización del proyecto, como ayuda en la resolución de problemas relacionados con la Fatiga mecánica en la automoción produjo las siguientes experiencias en las personas que tuvieron la posibilidad de usarlos.

Los Mapas conceptuales permitieron representar de manera explícita conocimiento, de forma que este conocimiento pudiera ser compartido y posteriormente consensuado de forma sencilla e intuitiva.

Además, los Mapas Conceptuales permitieron realizar con gran facilidad conexiones a otras áreas científicas y tecnológicas, necesarias para clarificar la naturaleza multidisciplinar de la Fatiga.

Una vez realizados los Mapas Conceptuales, estos podían ser utilizados de muy variadas maneras, como formación tradicional, autoformación, pudiendo llegar incluso a crearse de forma muy sencilla procedimientos, check-lists,

...

La herramienta KBFD supone, hasta donde los autores conocen, la primera ocasión en que se realiza un sistema de ayuda en el diseño a Fatiga basado en Mapas Conceptuales, así como la transcripción de un libro a un Mapa Conceptual, con la extensión y nivel de detalle que se presenta en este trabajo.

Durante el periodo de tiempo que duró el trabajo se puso en contacto a una universidad española con la empresa americana para la inclusión de sus resultados científicos en su portfolio de productos. La presentación de los desarrollos fue realizada empleando Mapas Conceptuales. En este proceso se pudo comprobar como la relación del mundo Industrial con el mundo académico / investigador puede ser mejorada mediante el uso de esta herramienta, al facilitar el entendimiento entre los mismos.

3 **KBFD – Diseño a Fatiga Mecánica basado en el Conocimiento**

3.1 *Estado del arte*

A continuación se describirán algunas metodologías de diseño empleada en ingeniería, así como la aportación de KBFD sobre las mismas.

3.1.1 Procedimiento de diseño vs. Diseño basado en el conocimiento

Los procesos de diseño tradicionales suelen estar basados en procedimientos, los cuales se caracterizan por la realización de tareas repetitivas de forma eficaz y con recursos humanos mínimos. Sin embargo, diseñar en base a procedimientos, presenta como desventajas, por ejemplo, la representación del conocimiento de una forma estática y parcial, necesitando la tipificación de los problemas y limitando además la creatividad en el proceso de diseño.

Como ejemplo, relacionado además con la temática del presente trabajo, se puede citar el proyecto realizado a nivel europeo (Proyecto FITNET) [Gutiérrez-Solana, 2007] que ha dado como resultado un gran procedimiento unificado a nivel europeo, con la pretensión de proveer al diseñador de una herramienta para el diseño a Fatiga.

El KBFD está basado en los mismos conocimientos que el FITNET y persigue sus mismos objetivos, pero permite abarcar una problemática mucho más amplia. La representación de conocimiento complejo de una forma mucho más eficaz mediante los Mapas Conceptuales y la no necesidad de tipificar los problemas a resolver (limitación propia de los procedimientos de diseño) confiere una gran superioridad al KBFD frente a cualquier procedimiento de diseño.

3.1.2 La automatización del Diseño

En cualquier proceso toda tarea repetitiva es susceptible de ser automatizada, y como tal, el proceso de diseño puede representar en algunos casos tales tareas repetitivas [Prijic, 2005]).

Algunas tecnologías como los Sistemas Expertos o las Redes Neuronales, que forman parte de una rama de la ingeniería denominada Inteligencia Artificial, permiten automatizar procesos avanzados de diseño, tratando de emular el comportamiento humano. Por limitaciones de espacio, las tecnologías mencionadas no serán descritas.

Sin embargo, sí que se cree conveniente la mención de los sistemas expertos a modo de comparación para permitir valorar las ventajas que los mapas conceptuales presentan respecto a otro sistema de diseño basado en el conocimiento. Concretamente, esta comparación es especialmente enriquecedora debido a la gran similitud que existe entre el proceso de elaboración y la finalidad que se da tanto en los mapas conceptuales como en los sistemas expertos.

3.1.2.1 Los Sistemas Expertos

Un Sistema Experto se define como un sistema informático (hardware y software) que pretende simular a un conjunto de expertos humanos en un área de especialización dada [Castillo, 1997]. Por lo tanto, los sistemas expertos, más allá de ser meros procedimientos de diseño, tratan de emular la inteligencia humana potenciándola por un lado mediante la inclusión del conocimiento de varios expertos y por otro mediante una reducción del tiempo de respuesta que permite la implementación de la herramienta a través de software.

Los sistemas expertos incluyen necesariamente un interfaz de comunicación predefinido con el usuario, tanto para “entrenar” o “enseñar” al sistema experto, como para obtener finalmente información del mismo. Este interfaz requiere una estandarización que provoca una limitación similar a la que comentaba anteriormente en relación con los procedimientos.

Su sistema de “razonamiento” está basado en la información de aprendizaje y en el uso de funciones lógicas y estadísticas.

El presente proyecto no pretende emular a un hipotético sistema experto para diseño a Fatiga: ningún procedimiento será implementado automáticamente por software, sino que cualquier problema será resuelto mediante la interacción entre uno o varios expertos y el Mapas Conceptuales de la Fatiga.

A continuación se realiza una comparación de los Mapas Conceptuales respecto a los Sistemas Expertos, remarcando las ventajas de los primeros:

- Los Mapas Conceptuales potencian la inteligencia humana durante la interacción explícita entre el mapa y los usuarios, tanto en fases de aprendizaje como de resolución de problemas, frente a los sistemas expertos que únicamente la potencian en la fase de aprendizaje.
- Los Mapas Conceptuales no ponen límites ni formas a la interacción con los usuarios, presentando una

interface de uso extremadamente más flexible que los Sistemas Expertos.

- La interacción con el usuario con los Mapas Conceptuales se puede basar en consultas o problemas a resolver, pero no es necesario definir previamente cuáles son dichas consultas ni tampoco el proceso que debe realizar tras la pertinente consulta.
- En los Mapas Conceptuales no existen procesos relacionados con consultas y consecuencia la naturaleza de la consulta es a priori ilimitada. La realización de una consulta al mapa requiere un trabajo que depende de la calidad del mapa (base de datos de conocimiento), la dificultad del problema y la habilidad de las personas implicadas.
- La única necesidad de mejoras futuras consiste en incorporar nuevo conocimiento y mejorar la “definición” del conocimiento existente. Este problema es el mismo en los dos sistemas.

3.2 Mapa Conceptual de la Fatiga

El KBFD está basado en la interacción entre expertos de diferentes niveles en el campo de la Fatiga y el Mapa Conceptual de este campo de la Ingeniería realizado a lo largo del presente trabajo.

Debido a las limitaciones del presente artículo, únicamente se van a desarrollar aquí aspectos relacionados con el mapa conceptual que sobre la Fatiga realizado.

Este mapa se ha basado principalmente en un libro básico de Fatiga [Stephens 2001], escogido por tratar todos los aspectos fundamentales del diseño a Fatiga, desde un punto de vista tanto teórico–científico como práctico–ingenieril.

Además se ha incorporado conocimiento proveniente de mi propia experiencia profesional.

3.2.1 Estructura básica del Mapa Conceptual

En la Figura 1 se muestra el Mapa Conceptual inicial que sirve como ayuda en el diseño a Fatiga.

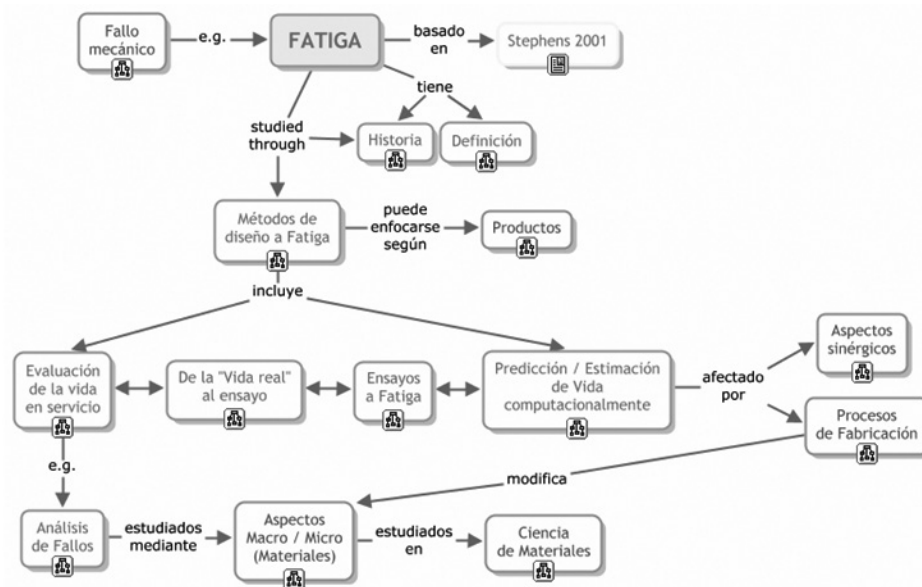


Figura 1. Mapa Conceptual inicial para emplear como ayuda en el diseño a Fatiga

Debido a la cantidad de mapas generados durante este trabajo, solo algunos de ellos aparecerán mencionados en este documento para ilustrar los comentarios que se vayan realizando.

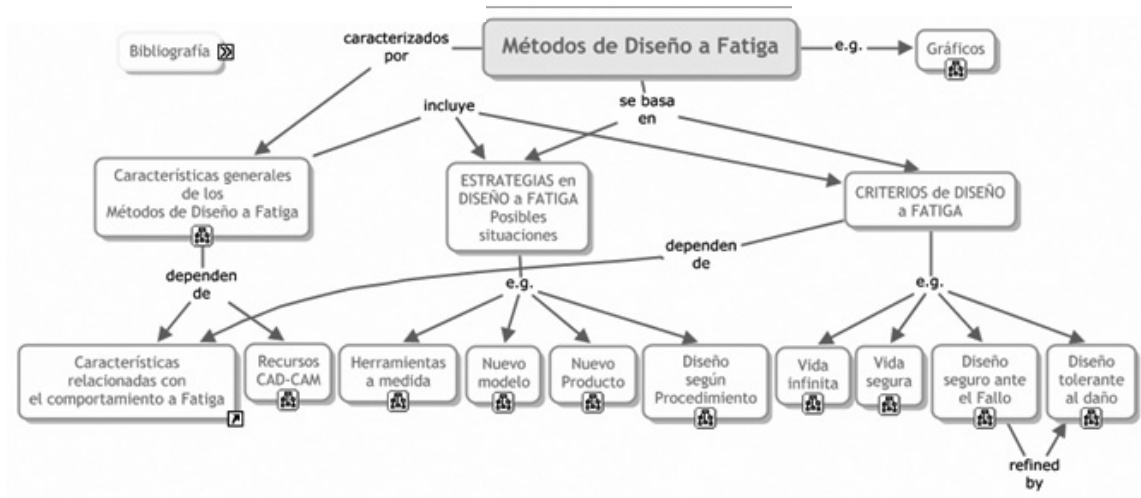


Figura 2. Métodos de diseño a Fatiga

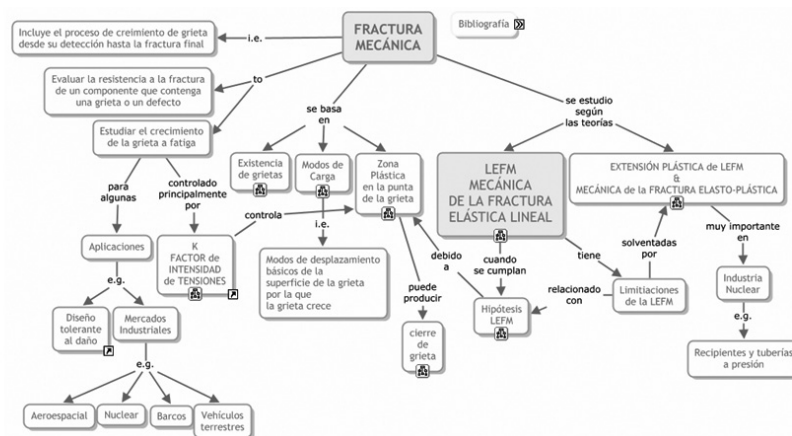


Figura 3. Mecánica de la Fractura

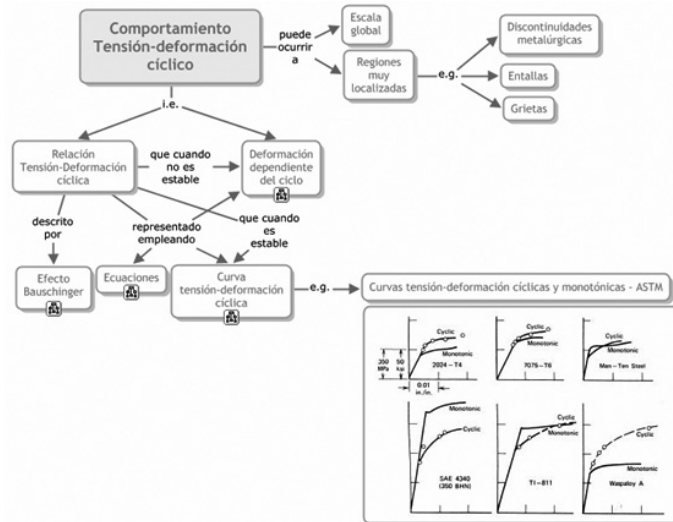


Figura 4. Comportamiento cíclico Tensión - Deformación

A continuación indican las conclusiones más destacadas de la elaboración del mapa.

3.2.2 Problemas aparecidos durante la elaboración de los Mapas Conceptuales

En la elaboración de los mapas han ido apareciendo diferentes problemas, algunos de los cuales serán a continuación únicamente enumerados, debido a la extensión del presente artículo.

Estructura de los Mapas

- No solución única en la distribución de los conceptos.

Debido a la enorme variabilidad en la distribución de los conceptos, se ha adoptado en la mayor parte de los casos una distribución que “guía” al lector en la lectura del mapa, adoptando por tanto una distribución horizontal lineal.

Por otro lado, en ningún caso se ha sacrificado la inclusión de conceptos adicionales que no cumplan esta condición si ha sido necesario.

- Número muy extenso en las relaciones conceptuales.

Durante el desarrollo del mapa conceptual, éste se ha ido enriqueciendo de un gran número de relaciones entre los distintos conceptos, hasta el punto de en numerosas ocasiones hacer difícil su comprensión. En estos casos se han agrupado los conceptos por temáticas, de forma que se han podido generar distintos mapas conceptuales según estas temáticas de lectura más sencilla.

Relaciones entre conceptos: tipos y jerarquía

- Conceptos más generales por debajo de conceptos menos generales.

No siempre ha podido mantener una relación jerárquica – geométrica: el uso de una gran variedad de conceptos con sus relaciones cruzadas, y la distribución espacial únicamente bidimensional ha impedido mantener este criterio. En cualquier caso, se han priorizado en cada mapa ciertas temáticas en las que una distribución jerárquica – vertical ha podido llevarse a cabo.

- Las relaciones de inclusividad no siempre son del mismo tipo.

Se han detectado distintos tipos de relaciones de inclusividad, como las subcategorías, los ejemplos, ect. Considero un tema de gran interés la tipificación de los distintos tipos de inclusividad y su caracterización diferenciada en los mapas conceptuales. Este tema podría ser de interés para futuros desarrollos.

3.2.3 El uso de los mapas como herramienta pedagógica

A lo largo del proceso de elaboración del mapa conceptual, los mapas se revelaron como una muy buena herramienta didáctica para transmitir conocimientos. A continuación se muestran algunos ejemplos de los mismos.

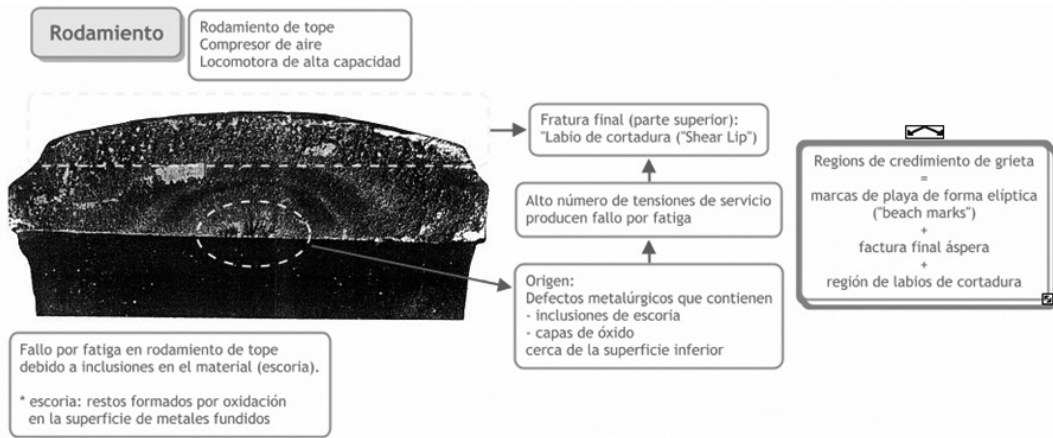


Figura 5. Ejemplo de Mapa Conceptual para aclaración de imágenes

Aclaración de Imágenes

En el desarrollo de esta aplicación, los mapas conceptuales se han manifestado como una herramienta idónea para explicar a aclarar imágenes, a modo de organizadores gráficos.

Como puede apreciarse en el ejemplo, es posible relacionar conceptos con gráficos e imágenes. Esta aplicación es de gran interés a nivel docente así como para la elaboración de material de auto aprendizaje o aprendizaje a distancia.

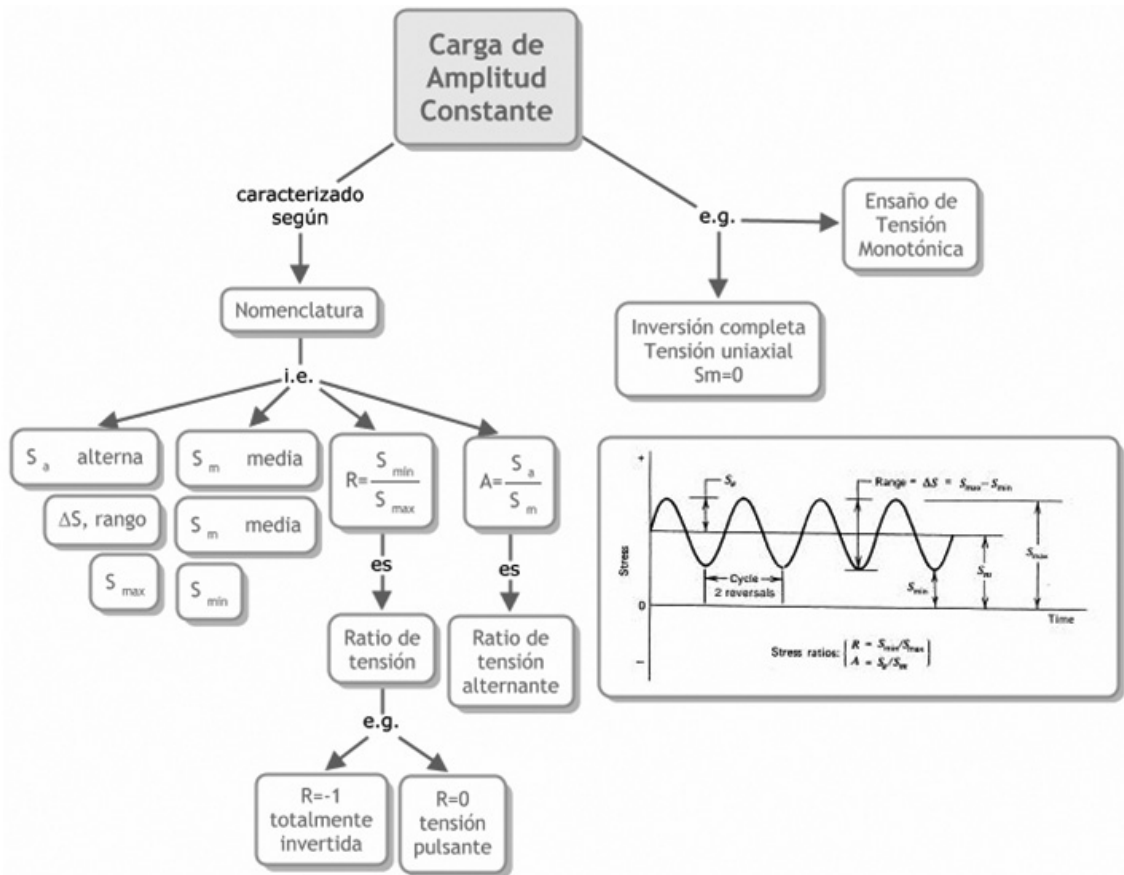


Figura 6. Ejemplo de aclaración de gráfico y ecuaciones asociadas

Aclaración de ecuaciones matemáticas

Los mapas se muestran como una herramienta muy útil para aclarar y explicar relaciones matemáticas complejas.

4 Conclusiones

4.1 Conclusiones generales

- Los Mapas conceptuales permiten representar de manera explícita el conocimiento necesario para poder realizar tanto diseño como investigación en el campo de la Fatiga mecánica.
- Este conocimiento puede ser compartido de forma sencilla e intuitiva, al estar basado en conceptos y representarse mediante una herramienta gráfica.
- Debido al carácter multidisciplinar de la Fatiga, es necesario recurrir a otras áreas científicas y tecnológicas para su estudio. Los Mapas Conceptuales permiten realizar esta conexión con gran facilidad.
- El conocimiento plasmado en Mapas Conceptuales puede utilizarse en múltiples aplicaciones tanto de investigación, como prácticas, pudiendo llegar incluso a crearse de forma muy sencilla procedimientos, check-lists, ...

4.2 Aportaciones del presente proyecto

- KBFD: Por primera vez se realiza un sistema de ayuda en el diseño a Fatiga basado en Mapas Conceptuales.
- Los mapas conceptuales proporcionan un lugar de encuentro a la pluridisciplinariedad de la Fatiga mecánica.
- La transcripción de un libro a un Mapa Conceptual, con la extensión y nivel de detalle que se presenta en este trabajo, es un hecho sin precedentes.
- Relación del mundo Industrial con el mundo académico / investigador puede ser mejorada mediante el uso de esta herramienta.
- Esta herramienta permite la realización de auto aprendizaje así como de aprendizaje a distancia.

4.3 Futuras Aplicaciones

A continuación se enumeran posibilidades de desarrollo de la herramienta KBFD desarrollada en el presente proyecto.

APLICACIONES EMPRESARIALES

Servicios

- Dirección de Proyectos.
- Gestión de Reuniones.
- Gestión de la documentación de un proyecto.
- Gestión del conocimiento del proyecto.

Diseño

- Diseño a Fatiga.
- Diseño de ensayos.

Empresa de Servicios / Ingeniería

- Búsqueda de información sobre tema de interés.
- Selección de método de estimación de vida óptimo para problemas concretos de diseño.
- Desarrollo de formación especializada a medida.

SECTORES DE INTERÉS

Industria de Automoción

- Ensayos a Fatiga de sistemas mecatrónicos.
- Repetibilidad y precisión en los ensayos.
- Nuevos materiales: Composites.
- Fatiga térmica.

Industria de Generación eólica

- Estudio de cargas de trabajo.
- Materiales Compuestos.

Industria Aeronáutica

- Ensayos de predicción de vida.
- Materiales: materiales compuestos.
- Procesos de fabricación: soldadura.

5 Resumen

El presente artículo se describe para de un proyecto que desarrolla una herramienta que ayude al Ingeniero en el proceso de diseño de componentes respecto a su resistencia a la Fatiga mecánica. Esta herramienta está basada en un gran número de mapas conceptuales. Tanto el método desarrollado como el empleo de los mapas conceptuales en este campo son una novedad a nivel mundial.

6 Menciones

Este proyecto de investigación se realizó para la obtención de la Suficiencia de Investigación del Programa de doctorado “Ingeniería Mecánica Aplicada y Computacional” impartido por el Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales de la Universidad Pública de Navarra, bajo la supervisión de Javier Ros e Isidro Zabalza y con la colaboración de Fermín González. El Trabajo fue presentado en Pamplona, en julio de 2008.

Referencias

- Cañas, Alberto J. et al (2004). CMapTools: A Knowledge Modelin and Sharing Environment. Proc. Of the First Int. Conference on Concept Mapping. Pamplona, Spain.
- Castillo, Enrique, Gutiérrez, José Mañuela, Hadi, Ali S (1997). Sistemas Expertos y Redes Probabilísticas. Academia de Ingeniería, Madrid.
- González García, Fermín María (2008). El Mapa Conceptual y el Diagrama V. Recursos para la Enseñanza Superior en el siglo XXI. Editorial Nancea.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). Learning How to Learn. New York: Cambridge University Press.
- Novak, Joseph D., Cañas, Alberto J (2006). The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct Them. Florida Institute for Human and Machine Cognition (IHMC). Technical Report IHMC CmapTools 2006-01.
- Prijic, Aleksandar, Chapman, Craig, Burton, Paul (University of Warwick, Coventry, 2005). Knowledge Based Engineering (KBE) Past, present and Future. Beograd 2005 EAEC European Automotive Congress.
- Gutiérrez-Solana, F. Cicero, S (2007). Fitnet Ffs Procedure: Un procedimiento Europeo Unificado de Evaluación de la Integridad Estructural. GEF (Grupo Español de la Fractura).
- Stephens, Ralph I., Fatemi, Ali, Stephens, Robert R., Fuchs, Henry O. (2001) Metal Fatigue in Engineering. Wiley-Interscience.