

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA LA AUTO
CAPACITACIÓN EN LA DETECCIÓN ANALÍTICA DE FALLAS**

JOSÉ DANIEL POLO FIGUEROA



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2011

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA LA AUTO
CAPACITACIÓN EN LA DETECCIÓN ANALÍTICA DE FALLAS**

JOSÉ DANIEL POLO FIGUEROA

Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO MECANICO

DIRECTOR

ALFONSO SANTOS JAIMES

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2011

PAGINA DE ACEPTACIÓN

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, 21 de octubre de 2011

Dedico este trabajo primero que todo a Dios a quien agradezco por concederme la oportunidad de estudiar y la fortaleza de culminar con satisfacción, a mis padres Clara y Humberto por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi preparación profesional, a mi hermano Oscar por su incansable deseo de que todas las cosas me salieran bien.

José Daniel Polo Figueroa

AGRADECIMIENTOS

El autor de éste proyecto expresa sus agradecimientos a: Alfonso Santos, M.Sc. Ingeniería Mecánica, y director del trabajo de grado, por su valiosa orientación; a los profesores de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana – seccional Bucaramanga, por sus enseñanzas y motivación en el transcurso de la carrera. A los compañeros de trabajo de GECOLSA – Proyecto La Jagua; por compartir sus experiencias y conocimientos conmigo para la realización de éste proyecto.

GLOSARIO

SOFTWARE EDUCATIVO: se denomina software educativo al programa computacional cuyas características estructurales y funcionales sirvan de apoyo al proceso de la enseñanza y el aprendizaje autónomo y que, además, permite el desarrollo de ciertas habilidades cognitivas.

AUTOCAPACITACIÓN : es el conjunto de procesos organizados, relativos tanto a la educación no formal como a la informal dirigidos a prolongar y a complementar la educación inicial mediante la generación de conocimientos, el desarrollo de habilidades y el cambio de actitudes, con el fin de incrementar la capacidad individual o colectiva para contribuir al desarrollo personal integral.

TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN (TIC): agrupan los elementos y las técnicas usadas en el tratamiento y la transmisión de las informaciones, principalmente de informática, internet y telecomunicaciones.

VISUAL BASIC: Es un lenguaje de programación que se ha diseñado para facilitar el desarrollo de aplicaciones en un entorno gráfico como Windows 98Windows NT o superior. Visual Basic sirve para generar de manera automática formularios que administran registros de tablas, incluir barra de herramientas personalizada, donde el usuario selecciona los botones que desea visualizar durante la ejecución.

ANÁLISIS DE FALLA: el análisis de fallas puede definirse como una revisión cuidadosa de una parte o pieza y de los hechos que precedieron la falla, para identificar las causas reales que la originaron.

METALURGIA: la metalurgia es la técnica de la obtención y tratamiento de los metales desde minerales metálicos hasta los no metálicos. También estudia la producción de aleaciones, el control de calidad de los procesos vinculados así como su control contra la corrosión.

DESGASTE: es la erosión de material sufrida por una superficie sólida por acción de otra superficie. Está relacionado con las interacciones entre superficies y más específicamente con la eliminación de material de una superficie como resultado de una acción mecánica.

ABRASIÓN: desgaste de la superficie, producido por rayado continuo, usualmente debido a la presencia de materiales extraños, o partículas metálicas en el lubricante. Esto puede también causar la rotura o resquebrajamiento del material. También la falta de una adecuada lubricación puede dar como resultado la abrasión.

ADHESIÓN: es una forma de deterioro que se presenta entre dos superficies en contacto deslizante. Este desgaste es el segundo más común en la industria y ocurre cuando dos superficies sólidas se deslizan una sobre la otra bajo presión.

CORROSIÓN: se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. De manera más general, puede entenderse como la tendencia general que tienen los materiales a buscar su forma más estable o de menor energía interna.

CAVITACIÓN: es un efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido en estado líquido pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido.

FRACTURA: es la separación de un cuerpo en dos o más trozos como respuesta a una tensión que puede ser estática (constante o variando en el tiempo) y a temperaturas bajas en relación a la temperatura de fusión del material. Las tensiones aplicadas pueden ser de tracción, compresión, de tracción o torsionales.

FATIGA: un fenómeno por el cual la rotura de los materiales bajo cargas dinámicas cíclicas (fuerzas repetidas aplicadas sobre el material) se produce ante cargas inferiores a las cargas estáticas que producirían la rotura.

DUCTILIDAD: propiedad que presentan algunos materiales, como las aleaciones metálicas o materiales asfálticos, los cuales bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sosteniblemente sin romperse.

TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVOS.....	3
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 USO DE LAS TIC EN LA EDUCACIÓN UNIVERSITARIA.....	5
2.2 SOFTWARE EDUCATIVO.....	6
2.3 MATERIALES EDUCATIVOS MULTIMEDIA.....	7
2.3.1 Creación de Materiales Educativos Multimedia.....	8
2.3.2 Modos de Transición	8
2.4 CARACTERÍSTICAS DE SOFTWARE CREADO.....	10
2.5 HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA REALIZACIÓN DEL APLICATIVO.....	10
2.6 METALURGIA.....	11
2.6.1 Refinación de los metales.....	11
2.6.2 Métodos del moldeo del metal	13
2.6.3 Tratamientos térmicos	13
2.6.4 Defectos de material y por proceso.....	13
2.6.5 Pruebas no destructivas.....	14
2.7 PRINCIPIOS DE DESGASTE	14
2.7.1 Desgaste abrasivo	15
2.7.2 Desgate adhesivo.....	16
2.7.3 Corrosión	17
2.7.4 Erosión.....	18
2.7.5 Erosión por cavitación	19
2.7.6 Deslizamiento o rodamiento	20
2.8 FRACTURAS	20
3. DESARROLLO DEL SOFTWARE.....	24
3.1 DISEÑO	24
3.1.1 Tipo de investigación	25
3.1.2 Tipo de software diseñado.....	26

3.1.3	Herramientas de desarrollo	26
3.2	EVIDENCIAS DEL DISEÑO	27
3.2.1	Mapa de Contenido.....	27
3.2.2	Mapa de navegación	27
3.2.3	Diseño de interfaces y guiones.....	28
4.	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	35
4.1	PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS.....	36
4.2	APLICACIÓN DE LA PRUEBA ESTADÍSTICA.....	36
5.	CONCLUSIONES.....	39
6.	RECOMENDACIONES	41
	BIBLIOGRAFÍA.....	42
	ANEXOS.....	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de aplicativo	26
Tabla 2. Herramienta Visual Basic	28
Tabla 3. Guión de la Interfaz 1: Presentación	29
Tabla 4. Guión de la Interfaz 2: Menú	30
Tabla 5. Guión de la Interfaz 3: Contenido Temático	31
Tabla 6. Guión de la Interfaz 4: Contenido Temático	32
Tabla 7. Guión de la Interfaz 5: Contenido Temático	33
Tabla 8. Guión de la Interfaz 5: Contenido Temático	34
Tabla 9. Resultados Exámenes de la Población	35
Tabla 10. Estadísticos del grupo	36
Tabla 11. Estadísticos del grupo	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de refinación de los metales	12
Figura 2. Desgaste Abrasivo	16
Figura 3. Desgaste Adhesivo	17
Figura 4. Erosión	18
Figura 5. Mapa de contenido	27
Figura 6. Mapa de navegación	28
Figura 7. Presentación	28
Figura 8. Menú	29
Figura 9. Contenido Temático	30
Figura 10. Entrada de datos Examen	31
Figura 11. Preguntas Examen	32
Figura 12. Resultado Examen	33

RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

TITULO: Diseño y desarrollo de un software para la auto capacitación en la detección analítica de fallas.

AUTOR: José Daniel Polo Figueroa.

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Mecánica.

DIRECTOR: Alfonso Santos Jaimes.

RESUMEN

El proyecto tuvo como propósito dotar a la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga de una herramienta para la auto capacitación de estudiantes en el proceso de análisis de fallas; la metodología involucro el diseño y desarrollo de un software educativo, aprovechando las ventajas que ofrecen la tecnología de la información y comunicación; el desarrollo del software se realizó mediante la herramienta Visual Basic 6. El estudiante por su parte encuentra en el software el material necesario para equiparar conceptos y agilizar el aprendizaje en el tema de Análisis de fallas.

GENERAL SUMMARY

TITLE: Design and development of software for selftraining in analytical detection of failures.

AUTHOR: José Daniel Polo Figueroa.

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica.

DIRECTOR: Alfonso Santos Jaimes

SUMMARY

The project intention was to provide the Universidad Pontificia Bolivariana a self-training students tool in the failure analysis process through the design and development of an educational software; methodology involved designing and development of an educational software, taking advantage of the information technologies and communication benefits. Software development was done with the visual basic 6 tool, the student, for his own part, founds out a remarkable material to face up concepts and speed up learning on the Failure Analysis matter.

INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico de los últimos años en el campo de la informática, ha hecho en el ámbito educativo un motivador que cada vez se intensifica más en las cátedras, permitiendo también la elaboración de materiales de apoyo que facilitan y complementan el aprendizaje de los alumnos.

La utilización de herramientas software especializadas en diferentes campos de la investigación dentro de las organizaciones ha marcado una tendencia cada vez mayor a realizar cambios e innovaciones en sus procesos, con el objetivo de optimizar su ejecución y alcanzar de una manera más ágil y eficiente las metas propuestas. Para el caso de organizaciones educativas, ésta tendencia ha influido notablemente en la manera de llevar a cabo tareas relacionadas con la enseñanza y aprendizaje de diversas áreas del conocimiento, se han introducido cambios en las costumbres de estudiantes y profesores, y se han ampliado los medios de acceso y manejo de la información.

La concepción de tecnología informática como instrumento facilitador de la enseñanza es ampliamente aplicada en diferentes instituciones educativas en las cuales se ha evidenciado la necesidad de nuevos mecanismos que permitan el estudio de temáticas en las que el tratamiento de la información expuesta en clases teóricas tradicionales requiere ser complementado con un enfoque más didáctico y con mejores recursos educativos, con el fin de alcanzar un potencial pedagógico cada vez más amplio y lograr una mejor cobertura, presentación y manejo de la información.

Se hace pues necesario crear una estrategia multimedia pedagógica que complemente los conocimientos adquiridos en cursos como ciencia de los materiales, procesos de fabricación y diseño de máquinas; por tal razón se diseñó

el aplicativo didáctico multimedia el cual brinda herramientas didácticas para desarrollar habilidades básicas en el tema de Análisis de Fallas en los estudiantes.

Este software es una herramienta substancial, porque permite motivar al estudiante a auto capacitarse en temas relacionados con la profesión. También, se ofrece a los docentes del área como un material de apoyo y soporte.

El objetivo de este proyecto es hacer un aplicativo didáctico multimedia que capacite en el tema de Análisis de Fallas. El proyecto va dirigido a estudiantes de ciclo básico profesional del programa académico de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y desarrollar un software educativo por medio de la herramienta Visual Basic para capacitar estudiantes en el proceso de análisis de fallas, como respuesta a los requerimientos en materia de campos de desempeño profesional del Ingeniero Mecánico egresado de la UPB seccional Bucaramanga.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar el estado del arte en materia software educativo, para enmarcar el diseño conceptual de un software de auto capacitación. RESULTADO: revisión bibliográfica para una síntesis de información. INDICADOR: se utilizarán fuentes académicas y comerciales, así como base de datos del campo específico de la detección analítica de fallas.

Realizar el diseño conceptual y básico para elaboración de un software para computador (Visual Basic) para la auto capacitación de estudiantes en el proceso de detección analítica de fallas. RESULTADO: Se entregaran memorias de programación. INDICADOR: El diseño se fundamentará en documentos de diseño de software, normas técnicas, etc.

Montar y probar los elementos y sistemas que constituyen el software educativo para la auto capacitación en la detección analítica de fallas. RESULTADO: comisionamiento del software educativo. INDICADOR: la documentación generada que permitan asegurar funcionamiento del software, actividades de aprendizaje y evaluación siguiendo estándares y lineamientos.

Desarrollar un material teórico impreso (Guía) para el desarrollo de la temática (análisis de fallas), ayudado por el contenido temático del software educativo; comprendido este como el soporte para el estudio y el aprendizaje. RESULTADO: una guía con contenido teórico y ejercicios prácticos. INDICADOR: normas técnicas, guías existentes para la detección analítica de fallas, recomendaciones de la universidad para este tipo de documentos, contenido del tema de análisis de fallas.

Desarrollar un mecanismo de evaluación que permita al estudiante confrontar los conocimientos que tiene sobre el tema, y así mejorar el aprendizaje y desempeño de los estudiantes. RESULTADO: un formato digital de evaluación de conocimientos. INDICADOR: valorar el desempeño del estudiante al final del proceso, la validez de contenido y criterio de la prueba estará sujeto a indicadores de referencia.

Contrastar el uso del software frente a la enseñanza formal en un grupo de estudiantes. RESULTADO: un juicio valorativo de los resultados de la enseñanza formal y del uso del software mediante el test t de Student. INDICADOR: el análisis debe demostrar si existen o no diferencias significativas en los dos tipos de enseñanza.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 USO DE LAS TIC EN LA EDUCACIÓN UNIVERSITARIA

La aplicación de la tecnología al campo educativo, específicamente el universitario, es considerada una actividad relativamente nueva, la cual coincide con el creciente auge de Internet a mediados de los años noventa. Dicha actividad ha tenido a lo largo de su desarrollo gran tendencia al crecimiento, impulsada en cierta medida por la presión social de docentes y estudiantes, quienes ven en la incorporación de herramientas tecnológicas a la educación una mayor accesibilidad de la información, facilidad de uso y un gran potencial pedagógico.

La incorporación de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones (TIC) a la educación, varía dependiendo de las necesidades del grupo de personas hacia quien va dirigida, características concretas, tales como la facilidad de adaptación a un ritmo de trabajo presencial o la imposibilidad de este, se convierten en un factor determinante en el enfoque a tomar; de esta forma se puede convertir en un soporte a la educación presencial o en una alternativa que contribuya a una educación a distancia⁽¹⁾.

Un aspecto importante a considerar es el grado de complejidad de los contenidos a tratar mediante el uso de las TIC; en la educación presencial se justifica para temáticas que entre otras características, posea múltiples conceptos abstractos de uso bastante práctico y en los cuales las prácticas de campo y experimentación no son fácilmente realizables, tal es el caso de la Estadística.

Respecto al soporte que presta una incorporación tecnológica a la educación, ya sea si se requiere de una virtualización total o parcial de la enseñanza, se deberán tener en cuenta factores como el grado de familiarización de los estudiantes con los contenidos a tratar, su nivel de manejo de la tecnología involucrada, capacidades personales como el grado de autonomía y motivación para administrar el propio tiempo y el nivel de accesibilidad a la tecnología aplicada.

En el caso concreto de este proyecto, que está dirigido a estudiantes universitarios con amplio nivel de familiarización en el uso de las TIC, un grado de accesibilidad relativamente alto a la tecnología y bajo una modalidad de educación presencial, el uso de las TIC se visualiza claramente como un medio de soporte al desarrollo de clases magistrales tradicionales, apoyando la metodología de enseñanza acordada para la asignatura entre docente y estudiantes.

Bajo esta perspectiva de apoyo a la educación presencial considerada para el desarrollo del proyecto y mediante un proceso de análisis de requisitos previo, se espera alcanzar resultados satisfactorios, teniendo en cuenta que muchas veces la utilización de las tecnologías de la información no ha contado con un desempeño idóneo y ha producido un corto impacto debido al desconocimiento de factores correspondientes a necesidades específicas de las instituciones y de sus procesos de enseñanza particulares.

2.2 SOFTWARE EDUCATIVO

Existen diferentes conceptos asociados a “software aplicado a la educación”, términos comúnmente usados como e-learning, ambientes virtuales de aprendizaje, aulas virtuales, plataformas educativas, entre otros, coinciden y difieren en algunos puntos, pero a su vez poseen una relación estrechamente ligada a su propósito de enseñanza-aprendizaje.

E-learning es un concepto de carácter global que hace referencia al aprendizaje ayudado por tecnologías de la información y la comunicación, las cuales pueden ir desde computadores y software, pasando por la televisión, Internet, hasta telecomunicación móvil y Sistemas de Posicionamiento Global, GPS.

Ambiente Virtual de Aprendizaje, AVA, también llamado aula virtual, es un entorno de interacción basado en software que permite llevar a cabo un proceso de

enseñanza-aprendizaje, basado en un programa curricular y una asesoría pedagógica especializada, donde confluyen tipos de comunicación sincrónica (chats, por ejemplo) y asincrónica (como foros, e-mail, anuncios, entre otros).

Los ambientes virtuales de aprendizaje constan de recurso humano y tecnológico: los usuarios quienes son los partícipes del proceso de enseñanza y aprendizaje, como los estudiantes que desarrollan actividades y ejercicios dentro del ambiente virtual y los profesores quienes proponen dichas actividades y promueven el desarrollo de la temática.

Otros recursos a tener en cuenta son el contenido o programa curricular que es objeto de estudio, además de un grupo de especialistas compuesto por docentes expertos en la temática, pedagogos, programadores, diseñadores y administradores técnicos, quienes son los encargados de desarrollar e implementar los contenidos a utilizar.

Asimismo, los ambientes virtuales de aprendizaje constan de un Sistema de Gestión de Aprendizaje (LMS, de su nombre en inglés), el cual proporciona herramientas de comunicación entre estudiantes y docentes como foros, chats y videoconferencias, entre otras, facilita el acceso a otras fuentes de información como documentos de apoyo y algunos de ellos permiten realizar un seguimiento al proceso de aprendizaje del estudiante, entre otras funcionalidades.

2.3 MATERIALES EDUCATIVOS MULTIMEDIA

En la creación de materiales educativos multimedia, como los demos que hacen parte de este software educativo, se hace necesario el planteamiento de una serie de interrogantes respecto a contenido, finalidad educativa, recursos y medios involucrados, con el fin de planificar los cursos de acción a seguir y poder alcanzar los objetivos propuestos. Un primer planteamiento corresponde a *qué* es lo que se va a presentar, se debe determinar con claridad el contenido a estudiar mediante un proceso de búsqueda y recolección de información, considerando

conocimientos previos de los estudiantes respecto a la temática. Se debe establecer también la profundidad con que se va a tratar el tema y las principales fuentes de información.

El segundo interrogante tiene que ver con las personas hacia quienes va dirigida la información a tratar con el material educativo, es de gran importancia conocer las principales características del grupo estudiantil y tener conocimiento sobre el tipo de educación involucrada (presencial, semipresencial o a distancia).

Otro aspecto a tener en cuenta es el *para qué* se está elaborando el material, determinar las metas y los alcances correspondientes. Los objetivos son los delimitantes del producto final y son los que dan al material el carácter didáctico, la manera cómo va a ser utilizado en la educación como medio facilitador del aprendizaje y de la enseñanza.

2.3.1 Creación de Materiales Educativos Multimedia

Ejemplos de materiales educativos multimedia son los videos y las animaciones, entre otros, los primeros pueden combinar el uso de imágenes en movimiento y sonidos mediante un proceso de captura de información y posterior edición. Las animaciones, creadas por computador utilizando un software específico, son las relacionadas al desarrollo de los demos que componen este proyecto y constituyen el material multimedia para el cual se tuvo en cuenta ciertas pautas a seguir en su elaboración, entre ellas, algunos de los *modos de transición* de imágenes citados por Valverde⁶, citados a continuación.

2.3.2 Modos de Transición

Mediante el uso de transiciones entre imágenes, se facilita transmitir un mensaje de una forma más ágil y amigable para el receptor, algunos de los modos de transición más utilizados son:

Corte: hace referencia al ensamblado de una imagen con otra por yuxtaposición simple, es decir, que a una imagen nítida le sucede otra de las mismas características. Es la transición más sencilla e imprime un carácter dinámico en la asociación de dos situaciones, su principal fortaleza consiste en la instantaneidad. El sistema ideal de paso de una escena a otra es aquel que pasa desapercibido para el espectador ya que si los cortes son bruscos, puede distraerse la atención del espectador rompiendo la ilusión de presenciar una acción continua e ininterrumpida.

Encadenado: la transición entre dos imágenes es más suave. Consiste en ver cómo una imagen se desvanece mientras una segunda imagen va apareciendo. Se utiliza, entre otras cosas, para pasar de una imagen a la misma en otra situación, indicando intervalos de tiempo no muy largos. Existen algunos encadenados tan rápidos que pasan totalmente desapercibidos para el espectador. El empleo correcto del encadenado permite realizar secuencias de montaje que resumen largos períodos y permite pasar de una situación a otra distanciada en el espacio o en el tiempo.

Fundido: consiste en la gradual desaparición de una imagen hasta dejar el cuadro en un color, la imagen siguiente aparece a partir del color en que fundió la anterior, es decir, que si una imagen funde a negro la siguiente viene de negro y se aclara progresivamente hasta conseguir un nivel de tonos correcto. El fundido da una sensación de salto temporal mayor que el encadenado.

Barrido: produce un efecto visual semejante al paso de un elemento que ocupa toda la pantalla, tan rápidamente que no da tiempo a ver de qué se trata. El barrido se utiliza para pasar de un espacio a otro de forma instantánea.

2.4 CARACTERÍSTICAS DE SOFTWARE CREADO

Los aplicativos son materiales informáticos que representan un conocimiento, y su propósito es facilitar el autoaprendizaje por parte del usuario. Integran diversos elementos textuales (secuenciales e hipertextuales) y audiovisuales (gráficos, sonido, video, animaciones...) y se caracterizan por su alta interactividad, es decir por el control que puede tener el usuario sobre el objeto de aprendizaje ^[1].

Multimedia hace referencia a muchos medios que nos permiten observar imágenes en movimiento, escuchar sonidos, grabar y ver videos, interactuar con programas y juegos, obtener y editar imágenes y fotos digitales si queremos. Es un término que se aplica a cualquier objeto que usa simultáneamente diferentes formas de contenido informativo como texto, sonido, imágenes, animación y video para informar o entretener al usuario ^[6].

Es así que se hace perentorio determinar y concretar que estetrabajo está determinado en la conformación de un aplicativo, porque se conjugarán elementos propios de ellos, en este caso imágenes y texto, que sean llamativos para el estudiante.

2.5 HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA REALIZACIÓN DEL APLICATIVO

VISUAL BASIC 6.0: Es un lenguaje de programación que se ha diseñado para facilitar el desarrollo de aplicaciones en un entorno gráfico como Windows 98Windows NT o superior. Visual Basic sirve para generar de manera automática formularios que administran registros de tablas, incluir barra de herramientas personalizada, donde el usuario selecciona los botones que desea visualizar durante la ejecución.

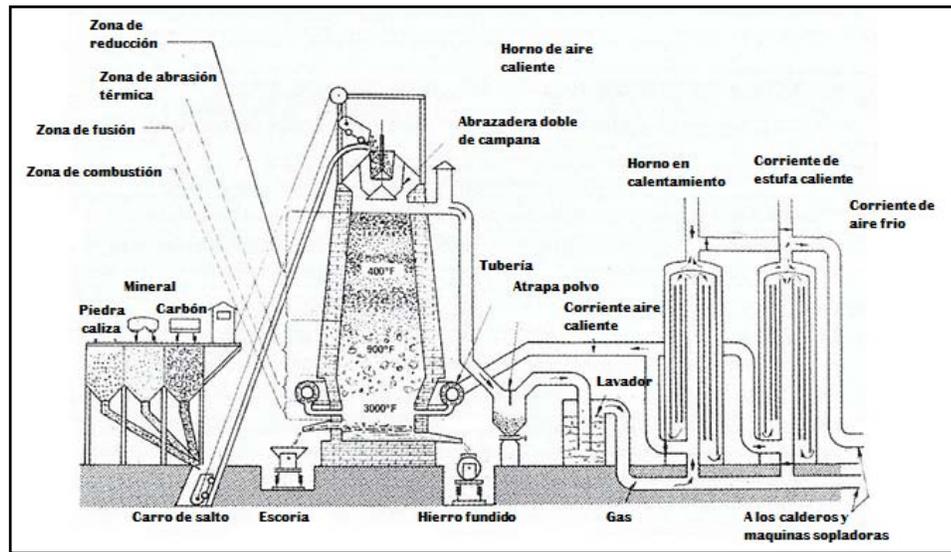
2.6 METALURGIA

La metalurgia puede definirse como la ciencia de los metales y sus aleaciones, y su relación con el estudio de los materiales en ingeniería. Este módulo tratará algunos de los procesos de refinación, moldeo y tratamiento térmico de los metales. También se tratará en este módulo lo relacionado con los defectos encontrados en los metales, debidos al resultado de los procesos y/o tratamiento del material. En las operaciones de fabricación se emplean diferentes métodos de pruebas no destructivas (NDT) para detectar los defectos por proceso y por tratamiento del material. Algunos de estas pruebas NDT incluyen pruebas de dureza, pruebas radiográficas y pruebas ultrasónicas^[4].

2.6.1 Refinación de los metales

El hierro fundido y el acero son dos de los metales más comunes usados en la industria. El hierro fundido y el acero son producidos a partir de mineral de hierro, que se encuentra en forma de óxido de hierro estable, mezclado con impurezas. El mineral de hierro se refina por calentamiento con coque (carbono en horno sin oxígeno) y piedra caliza, en hornos de fundición construidos con bloque refractario (Figura 1). A medida que se funden estos tres materiales, suceden dos cosas importantes: (1) El coque se combina con el oxígeno del material de hierro, resultando el hierro fundido que se asienta en el horno, y (2) la piedra caliza se combina con impurezas (suciedad, azufre, etc.) y flota a la superficie formando lo que se denomina "escoria". Estas acciones químicas y físicas producen un metal refinado menos estable químicamente, llamado hierro colado, el cual se saca para refinación posterior o se funde en lingotes llamados "colados"^[4].

Figura 1. Proceso de refinación de los metales



Fuente: Autor del Proyecto.

El acero se clasifica de acuerdo a su contenido de carbono. Los aceros de carbono bajo contienen de 0,02 % a 0,25 % de carbono, son muy dúctiles, y se usan para hacer piezas sin tratamiento térmico tales como colectores de aceite y tuberías de combustibles. Parte de los aceros de carbono bajo tienen carbono adicional que se añade a la superficie mediante un proceso llamado "carbonización", de modo que pueden usarse para hacer piezas endurecidas tales como engranajes y pasadores de pistón. Los aceros de carbono medio contienen de 0,25% a 0,50% de carbono, son menos dúctiles, pueden ser tratados térmicamente y se usan para fabricar muchas de las piezas forjadas, como cigüeñales y bielas. Los aceros de carbono alto contienen de 0,50% a 2,0% de carbono, son quebradizos y se usan para fabricar los componentes de las bombas de inyección de combustible y los resortes.

2.6.2 Métodos del moldeo del metal

Tanto el hierro como el acero pueden fabricarse de diferentes formas usando los procesos de moldeo metalúrgico de fundición y fraguado.

Los procesos de fundición se usan para fabricar la mayoría de las piezas de hierro. Las piezas de acero usadas en la industria son fabricadas por procesos de fundición o usando uno de los siguientes procesos de moldeo a alta presión y temperatura:

1. Laminado
2. Forjado
3. Extrusión
4. Estirado

Si el acero se ha moldeado por uno de estos procesos, se dice que se ha "fraguado". Los materiales de fundición y fraguado forman dos categorías generales de metales con muy diferentes propiedades^[2].

2.6.3 Tratamientos térmicos

Una vez las piezas se han moldeado y fraguado, pueden requerir un tratamiento térmico para aumentar su fortaleza, dureza y/o resistencia al desgaste. El tratamiento térmico cambia la estructura de la celda unitaria del hierro fundido y del acero, colocando átomos de carbono en las celdas para hacerlas más resistentes. Hay diferentes procesos para tratar las piezas térmicamente. Un proceso térmico usado comúnmente llama "endurecimiento directo" o "inmersión y revenido". Este proceso de calentamiento consta de tres pasos: 1. Disolución, 2. Inmersión y 3. Revenido^[8].

2.6.4 Defectos de material y por proceso

Los procesos de moldeo pueden dejar defectos internos y de superficie tanto en los metales fraguados como en los de fundición. Es necesario familiarizarse con

la apariencia de los defectos internos y de las superficies para poder reconocer estos defectos en las superficies de las fracturas.

Los defectos internos pueden llevar a fisuras internas que eventualmente crecen hasta la superficie de una pieza, mientras que los defectos externos pueden llevar a fisuras que crecen internamente en las piezas. Lo que se debe recordar, es que cuando las fisuras comienzan internamente, generalmente, se encontrará un defecto en el punto de inicio. La presencia de tales defectos indica fallas del material, fallas del proceso o quizá sobrecarga excesiva. Veamos en detalle los defectos comunes de los metales, las causas que los producen, su localización y su apariencia en las piezas^[8].

2.6.5 Pruebas no destructivas

Las "Pruebas No Destructivas" (NTD de su sigla en inglés) se usan para verificar la calidad de la refinación, moldeo y procesos de tratamiento térmico y aseguran que el material final está libre de defectos dañinos. Las NTD también se usan para encontrar material defectuoso mediante la clasificación al 100% de los defectos. Los métodos usados comúnmente incluyen Magnéticas, Ziglo, pruebas ultrasónicas y Prueba de Corriente Eddy. Las pruebas Magnéticas, Ziglo y de Corriente Eddy se usan para encontrar defectos en la superficies, mientras que las pruebas ultrasónicas se usa para localizar defectos debajo de la superficie^[8].

2.7 PRINCIPIOS DE DESGASTE

Frecuentemente, el desgaste anormal es resultado de un ambiente hostil. En los sistemas en que hay fluidos para enfriamiento, el aceite hidráulico, el aceite lubricante, el combustible y el aire, afectarán de algún modo las superficies del metal. Deben recolectarse y registrarse la cantidad de fricción, los tipos de contaminantes y otros aspectos físicos. También debe recolectarse información

cuantitativa y cualitativa acerca de la presión, las temperaturas, los niveles de fluido, los aditivos y los acondicionadores del aceite o refrigerante, así como hechos de mantenimiento, tales como procedimientos e intervalos de cambio. Luego, cuando pensemos en forma lógica con estos hechos, esta información nos ayudará a definir el problema y a encontrar la causa real de la falla^[3].

2.7.1 Desgaste abrasivo

El desgaste abrasivo se presenta en la mayoría de las fallas por desgaste. El desgaste abrasivo ocurre cuando partículas duras, de mayor tamaño que la película de lubricante, se hallan entre dos superficies en movimiento (Figura 2). Las superficies blandas se cortan, dejan rayones profundos y producen escombros secundarios. Las superficies duras no se cortan tan fácilmente pero generan calor durante el rozamiento. Con una buena lubricación, se elimina el calor generado y se produce poco calor en las superficies. A medida que un desgaste abrasivo avanza, las superficies se vuelven más rugosas, y las partículas pueden entrar en contacto a través de la película de lubricante, generando más calor, que finalmente anula la acción del lubricante. Esto puede resultar en un desgaste adhesivo secundario. El analista debe reconocer esta condición y distinguir el desgaste adhesivo secundario del desgaste abrasivo original.

Las partículas abrasivas pueden ser astillas de acero, arena, chispas de aluminio, pintura, suciedad o cualquier otro material extraño.

Si las partículas son grandes, probablemente se dejaron en el producto durante la fabricación, mantenimiento o reparación. Las partículas abrasivas pequeñas pueden entrar al producto durante la operación o debido a un mantenimiento poco cuidadoso. Mientras el desgaste abrasivo es fácil de identificar, lo que los analistas realmente deben buscar es la causa real del desgaste, se debe indagar qué tipo de escombros hay y de dónde provienen. En el análisis del desgaste abrasivo es

muy importante identificar las partículas de desgaste del componente, las cuales generalmente nos llevan al origen y pieza responsable^[3].

Figura 2. Desgaste Abrasivo



Fuente: Autor del Proyecto.

2.7.2 Desgaste adhesivo

El desgaste adhesivo sucede muy rápidamente. En el desgaste adhesivo, dos superficies en movimiento hacen contacto sin la adecuada lubricación y/o enfriamiento (Figura 3). Este contacto en movimiento produce calor por fricción, eleva la temperatura de la superficie hasta el punto de fusión y suelda las superficies.

El primer signo de desgaste adhesivo es el pulimento o esmerilado de la superficie blanda. Cuando ocurre el esmerilado, es una indicación de que se alcanzaron las temperaturas de fusión de la superficie. Sin embargo, debido a que la temperatura de conducción de calor disminuye muy rápidamente debajo de la superficie, la fusión queda limitada sólo a las capas superficiales. Si varias piezas presentan esmerilado adhesivo, el analista debe observar hechos adicionales del sistema. De este modo, los hechos registrados de las piezas guiarán al analista a las áreas del problema.

Figura 3. Desgaste Adhesivo



Fuente: Autor del Proyecto

2.7.3 Corrosión

La corrosión se debe a un cambio químico que produce deterioro de la superficie metálica. El metal bruto, sin refinar, es realmente un óxido metálico. Durante la producción de metal puro, este se refina para producir un metal que es menos estable químicamente. Los metales refinados tienden a revertir a su estado oxidado más estable, y lo hacen en presencia de un electrolito (solución líquida que contiene elementos químicos de polaridad eléctrica negativa y positiva). Este proceso de cambio a un estado de oxidación más estable se llama corrosión. Toda la corrosión es de naturaleza electroquímica. Toda actividad electroquímica requiere la presencia de un cátodo (menor área de metal activo) y de un ánodo (mayor área de metal activo) en presencia de un electrolito. Los ánodos, cátodos y electrolitos son también los componentes básicos de las baterías. Las superficies metálicas pueden tener numerosas áreas catódicas y anódicas, debido a impurezas o imperfecciones de la estructura del grano.

Durante la corrosión, el metal del ánodo pasa al electrolito, donde se combina con oxígeno para formar el óxido metálico. Durante este proceso, se libera hidrógeno, que se deposita en el cátodo, protegiendo el metal^[4].

Esta acción continúa hasta que las áreas del ánodo se destruyan o hasta que se elimine el electrolito

2.7.4 Erosión

La erosión ocurre cuando partículas duras en fluidos en movimiento a alta velocidad golpean las superficies circundantes y causan impactos localizados y daño abrasivo (Figura 4). La superficie desgastada frecuentemente tiene apariencia mate o picada. El desgaste erosivo ocurre en todos los sistemas del motor. Los filtros y los intervalos de cambio de filtro están diseñados para controlar, dentro de límites aceptables, el desgaste erosivo y el desgaste abrasivo. Cuando se usan filtros de baja calidad, estos pueden no controlar adecuadamente estos límites, y ocurrirá un desgaste erosivo o abrasivo que llega a valores inaceptables.

Si las piezas de un sistema se rompen o se sueltan, puede ocurrir un rápido desgaste erosivo. En este ejemplo, se rompió un retenedor del pasador del pistón y las piezas sueltas dañaron severamente el orificio del pasador del pistón. La erosión es mayor en la parte superior del orificio que en la parte inferior. Esta es una reflexión de la carga y del movimiento del pistón contra el retenedor roto; es decir, el movimiento hacia abajo del pistón es más rápido y violento que hacia arriba^[3].

Figura 4. Erosión



Fuente: Autor del Proyecto

2.7.5 Erosión por cavitación

La Cavitación - Erosión ocurre cuando las burbujas de vapor colapsan contra la superficie del metal. Todos los líquidos contienen gases disueltos que forman burbujas en áreas de presión baja. Condiciones anormales del sistema pueden introducir también burbujas de vapor adicional. Cuando estas burbujas entran en áreas de alta presión, explotan y disparan a velocidades supersónicas un "chorro" de fluido contra la superficie del metal. Algunas veces se forman fisuras muy leves que se unen hasta quitar partículas de metal, dejando el metal picado.

Las burbujas se pueden formar en las siguientes condiciones:

- Cuando los líquidos alcanzan su punto de ebullición
- Cuando los fluidos se mueven rápidamente a través de las cavidades (Principio de Bernoulli)
- Cuando las piezas se mueven dentro de un fluido y crean áreas de presión baja (como la vibración de la camisa)
- Cuando las presiones estáticas del sistema son bajas (tapa del radiador dañado, operación a grandes altitudes)
- Cuando las restricciones de entrada causan cavitación por fluido de la bomba.
- Cuando las fugas en las tuberías de succión permiten la entrada de aire
- Cuando niveles bajos de fluido hacen que entre aire al fluido

Estas condiciones son normales en los motores diesel y con frecuencia suceden al mismo tiempo. En los sistemas de enfriamiento se usan los acondicionadores para formar una capa protectora que evitan que las burbujas se pongan en contacto con los metales. Durante la búsqueda de la causa real de los problemas de la erosión por cavitación, el analista debe tener en cuenta las condiciones por las que entran gases al sistema^[3].

2.7.6 Deslizamiento o rodamiento

El contacto - tensión -fatiga ocurre cuando se deslizan dos superficies o ruedan una contra la otra, desarrollan tensión alta, movimiento superficial y fisuras por fatiga en una o en ambas superficies.

Estas fricciones altas pueden desarrollarse si:

- La carga es demasiado grande.
- Las superficies de desgaste no están alineadas y concentran tensiones anormales.
- La calidad o la cantidad de lubricante no es correcta, lo que origina una película inadecuada de lubricación.

El movimiento superficial puede ocurrir si las tensiones aplicadas son muy altas, o si la pieza misma es demasiado débil y no puede resistir las tensiones normales. El movimiento cíclico continuo de las superficies más allá de los límites del diseño, desarrolla fisuras y picado de las superficies, denominado desgaste por Contacto - Tensión - Fatiga^[3].

2.8 FRACTURAS

La resistencia del metal y la carga determinan cuánto tiempo funcionará correctamente una pieza. Las piezas están diseñadas para transportar las cargas sin que se rompan. Una carga más allá de las especificaciones, o el daño físico de la pieza (rayones, desgaste de pasadores o ranuras, sobrecalentamiento, etc.), pueden causar una falla. Se dice que una pieza se rompe por el enlace más débil de la cadena. La resistencia del acero y del aluminio disminuye cuando la temperatura aumenta. Al comienzo, la disminución en resistencia será gradual. A temperaturas más altas, la resistencia comienza a disminuir más rápidamente. Mientras cada metal tiene diferente resistencia a la temperatura, todos pierden resistencia con el aumento de la temperatura. Si ocurre un sobrecalentamiento muy alto, las piezas pueden perder su resistencia y romperse con cargas normales

^[9].

Cuando las piezas se rompen, cada cara de la fractura tendrá características especiales. Algunas veces, estas características se ven más claramente en una cara de la fractura que en otra. Cinco factores básicos de la fractura deben revisarse para estudiar estas características.

1. Puntos de tensión (o concentraciones de esfuerzo): son irregularidades físicas (fisuras, ranuras, bolsas, defectos, roscas, ranuras de llaves, etc.) en una pieza que concentra tensiones existentes.
2. Sitios de iniciación: son localizaciones de inicio de las fisuras, o la primera parte en donde el material se rompió. Un punto de tensión generalmente se encuentra en el sitio de iniciación.
3. Fractura final: es simplemente la localización final de la fisura o la última parte en que se rompió el material.
4. Cargas de choque y sobrecargas: producen fisuras rápidas que generalmente son rugosas al tacto y son resultados.
5. Si las cargas cíclicas son muy grandes, o cuando se reduce la resistencia de la pieza, pueden desarrollarse fisuras lentas que generalmente son lisas al tacto y están asociadas con la causa real.

Concentraciones de esfuerzo no deseables son el resultado de:

1. Aristas, orificios o muescas demasiado agudas,
2. Defectos significativos del material como inclusiones, cavidades o fisuras grandes.
3. Problemas de manufactura tales como depresiones de forjado, fisuras por inmersión o fisuras por rectificado,
4. Abuso físicos tales como rayones, cortes o estrías, y

5. Cualquier desgaste que produzca una concentración de esfuerzo.

Las concentraciones de esfuerzo, como orificios, muescas, roscas, hongos, etc., pueden compensarse por diseño, tratamiento térmico o técnicas de moldeo. Las concentraciones de esfuerzos debido a problemas de material, problemas de proceso o abuso del cliente, pueden llegar a ser lo suficientemente serias para causar fallas en los componentes, debido a que no habrá suficiente factor de seguridad para tolerar estos esfuerzos.

Las cargas de impacto y las sobrecargas causan fracturas quebradizas y dúctiles rápidas, con fracturas de caras rugosas, que generalmente son resultados y no las causas reales.

Las causas cíclicas producen fisuras por fatiga, de crecimiento lento, con fracturas de caras lisas, que inician en los puntos de esfuerzo y están asociados generalmente con causas reales. El término quebradizo y dúctil se aplica a las fracturas y no debe confundirse con el concepto de material quebradizo y material dúctil. Estos términos no tienen nada que ver con el tipo de material. Las piezas pueden cargarse en una variedad de modos, como tensión, torsión o doblamiento; y en períodos de tiempo corto o largo. Las cargas pueden aplicarse una sola vez o en forma repetida^[9].

Las cargas por impacto son generalmente causadas por una operación incorrecta del equipo o por la falla de otro componente, como resultado de una carga de choque repentino contra la pieza. Esto resulta en cargas extremadamente altas aplicadas casi instantáneamente. La fractura producida puede ser quebradiza o dúctil dependiendo de la dureza, temperatura o carga de la pieza, etc. Por ejemplo, una carga por impacto ocurre cuando un pistón se agarrota (bloqueo por acción del rozamiento) y se rompe. La biela golpea la camisa y el bloque, creando cargas de choque altas que las piezas no puede resistir.

La sobrecarga generalmente es causada por aplicación incorrecta del equipo, desperfectos del sistema o falla de un componente, que da como resultado cargas adicionales en otro componente. Por ejemplo, si uno de los pernos de la biela se rompe, el otro perno llevará la carga completa, lo que sobrecarga el perno, crea tensiones y hace que se rompa en una fractura dúctil. La sobrecarga sucede en un período de tiempo más largo que la carga de impacto.

Las cargas cíclicas generalmente no causan fractura a menos que las cargas sean mayores que el límite de resistencia, o que puntos de esfuerzo anormales estén presentes, como un radio de arista de sobredimensionada, escamas grandes de material, fisuras por proceso, etc. Bajo estas condiciones, las cargas cíclicas pueden iniciar fisuras por fatiga luego de un período de muchos ciclos. Frecuentemente, se requieren cientos de miles a millones de ciclos de carga para producir una fractura por fatiga. Debido a esto, es que las fisuras por fatiga se llaman fisuras lentas^[9].

3. DESARROLLO DEL SOFTWARE

En este capítulo se describen las principales funcionalidades, características y la forma como fueron desarrollados los componentes del software educativo: módulos con contenidos teóricos y evaluación. De la misma forma se presentan las características adquiridas por el software en etapa de depuración, posteriormente se realiza una descripción acerca de las pruebas realizadas al sistema a nivel general.

3.1 DISEÑO

Un primer diseño, a nivel global, fue hecho a partir de la concepción inicial del software y a partir de los requerimientos detectados en la etapa de análisis, determinándose de esta forma que el software educativo constaría de dos componentes: Módulos de contenidos teóricos y evaluación. En ésta etapa, se realizó la recopilación bibliográfica referente al tema Análisis de Falla y desarrollo de software educativo en aspectos relacionados con ingeniería del software para la educación, metodologías de desarrollo, estrategias de aprendizaje, diseño de materiales multimedia, diseño de ambientes educativos en la web, entre otros.

Se delimitó el grupo de personas hacia quien iría dirigido el desarrollo de éste software educativo, estudiantes de ciclo básico de ingeniería Mecánica, con el fin poder adaptar de una mejor manera las características de la herramienta a las necesidades de los usuarios.

Teniendo en cuenta características generales de los equipos cliente donde los estudiantes trabajarían con la herramienta (Computadores de la universidad), se pensó en desarrollar el software de tal forma que éste no demandara para su

utilización gran cantidad de recursos tecnológicos, es decir, que la herramienta funcionara en equipos que contaran con unos requerimientos técnicos mínimos.

3.1.1 Tipo de investigación

Para el desarrollo de este proyecto se tomó como referente la Investigación Tecnológica Aplicada, que es una actividad orientada a la generación de nuevo conocimiento tecnológico, que puede ser aplicado directamente a la producción y distribución de bienes y servicios; que conduce a una innovación académica.

La tecnología permite aplicar el conocimiento para diseñar proyectos que innoven, ayuden o beneficien a otros en determinados temas y motive a la vez en la creación de nuevos productos.

Las investigaciones aplicativas siguen la siguiente estructura general:

- 1- Se parte de una situación problemática, que requiere ser intervenida y mejorada. Se describe sistemáticamente esa situación, bajo criterios relevantes.
- 2- Se selecciona una TEORÍA, de carácter reconocido y suficientemente aceptada. Se expone sistemáticamente esa teoría, tanto en sus conceptos centrales como en sus rasgos contextuales
- 3- Se examina la situación descrita anteriormente a la luz de la Teoría expuesta. Se deriva de esta teoría un sistema de acciones y de previsiones (prototipo) que, si se pone en práctica, resolvería favorablemente la situación problemática descrita. Se describe sistemáticamente este prototipo, tanto en sus secuencias de uso como en sus instrumentaciones asociadas.
- 4- Se ensaya y se prueba el prototipo que se obtuvo (y que se obtuvo sobre la base de una aplicación de la Teoría, a la situación problemática). Se determina la probabilidad que tiene el modelo aplicativo de resolver la clase de situaciones problemáticas del tipo descrito.

En el desarrollo de este proyecto se utilizó las metodologías propias de la investigación tecnológica aplicada y estrategias de diseño propias de la ingeniería de software.

3.1.2 Tipo de software diseñado

A continuación se muestra las características básicas de la aplicación o software que se desarrolló (Tabla 1).

Tabla 1. Tipo de aplicativo

Tipo de aplicación	Sitio Web	
	Aplicación Web	
	Aplicación multimedia	X
	Bases de datos	
Herramienta(s)	Visual Basic 6.0	
Utilidad	Autocapacitación en el Análisis De Falla Aplicado.	
Usuarios	Estudiantes del programa académico de ingeniería mecánica.	

Fuente: "INVESTIGACIÓN APLICADA" (o "investigación aplicada" o "aplicaciones"). José Padrón G. Caracas, mayo de 2006.

3.1.3 Herramientas de desarrollo

La herramienta que se utilizó para desarrollar la aplicación o software fue Visual Basic versión 6 (Tabla 2), por sus características tales como el tipo de programación estructurada y la licencia GNU (General Public License).

Tabla 2. Herramienta Visual Basic

Nombre de la Herramienta	Visual Basic			
Versión	6.0			
Fabricante	MICROSOFT			
Tipo de licenciamiento	GNU	X	Reservado	
Descripción funciones utilizadas en la elaboración del aplicativo	Programación estructurada			

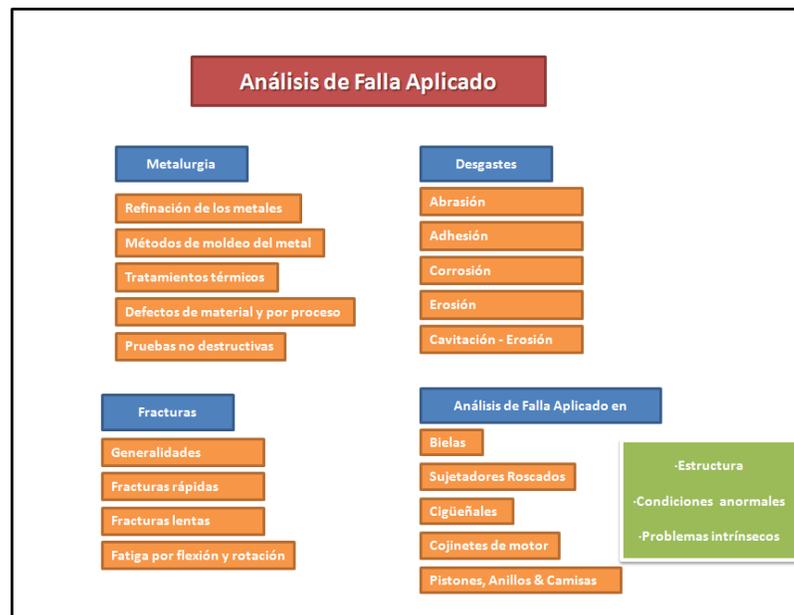
Fuente: "INVESTIGACIÓN APLICADA" (o "investigación aplicada" o "aplicaciones"). José Padrón G. Caracas, mayo de 2006.

3.2 EVIDENCIAS DEL DISEÑO

3.2.1 Mapa de Contenido

La figura 5 ilustra los contenidos y temas tratados en la aplicación o software.

Figura 5. Mapa de contenido

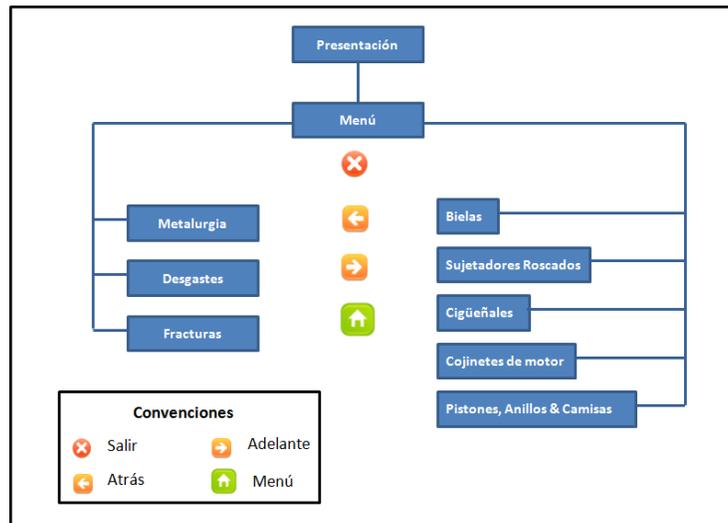


Fuente: Autor del proyecto.

3.2.2 Mapa de navegación

En la figura 6 se muestra el mapa de navegación de la aplicación o software, el mapa de navegación proporciona una representación esquemática de la estructura del software, indicando los principales conceptos incluidos en el espacio de la información y las interrelaciones que existen entre ellos; además de los botones que permite la navegación.

Figura 6. Mapa de navegación



Fuente: Autor del proyecto.

3.2.3 Diseño de interfaces y guiones

La figura 7 muestra la vista final de la pantalla de presentación del software.

Figura 7. Presentación



Fuente: Autor del Proyecto

La Tabla 3 relaciona los elementos que constituyen la pantalla (Guión de la Interfaz) de la presentación del software.

Tabla 3. Guión de la Interfaz 1: Presentación

No.	Objeto	Estado Inicial	Evento	Acción	Fuente
1	Fondo	Inactivo	Ninguno	Ninguno	Creación personal
2	Título	Inactivo	Ninguno	Ninguno	Creación personal

Fuente: Autor del Proyecto

La Figura 8 muestra la vista final de la pantalla de menú del software.

Figura 8. Menú



Fuente: Autor del Proyecto

La Tabla 4 relaciona los elementos que constituyen la pantalla (Guión de la Interfaz) del menú del software.

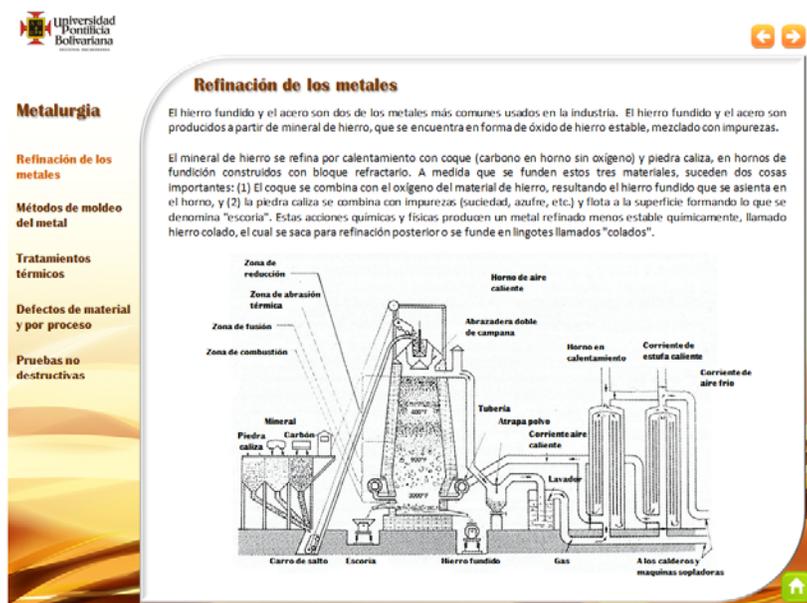
Tabla 4. Guión de la Interfaz 2: Menú

No.	Objeto	Estado Inicial	Evento	Acción	Fuente
1	Fondo	Inactivo	Ninguno	Ninguno	Creación personal
2	Título	Inactivo	Ninguno	Ninguno	Creación personal
3	botones	Activo	Navegación	Clic	Creación personal

Fuente: Autor del Proyecto

La Figura 9 muestra la vista final de la pantalla de los contenidos temáticos del software. Para los contenidos temáticos se utilizó el mismo diseño guión de interfaz, teniendo en cuenta lo anterior y que el software se compone de 245 pantallas, se muestra únicamente el módulo de metalurgia.

Figura 9. Contenido Temático



Fuente: Autor del Proyecto

La Tabla 5 relaciona los elementos que constituyen la pantalla (Guión de la Interfaz)de los contenidos temáticos del software.

Tabla 5.Guión de la Interfaz 3: Contenido Temático

No.	Objeto	Estado Inicial	Evento	Acción	Fuente
1	Fondo	Inactivo	Ninguno	Ninguno	Creación personal
2	Título	Inactivo	Ninguno	Ninguno	Creación personal
3	Botones	Activo	Navegación	Clic	Creación personal

La interfaz gráfica de los formularios para todos los temas es igual.

Fuente: Autor del Proyecto

La Figura 10 muestra la vista final de la pantalla de entrada de datos de los exámenes del software. Para los 3 exámenes se utilizó el mismo diseño y guión de interfaz.

Figura 10. Entrada de datos Examen

Facultad de Ingeniería y Administración
Escuela de Ingeniería Mecánica

Universidad Pontificia Bolivariana
SECCIONAL BUCARAMANGA

Análisis de Falla Aplicado

Examen # 3

Favor digite sus datos.

Estudiante :

Cogido:

Fuente: Autor del Proyecto

La Tabla 6 relaciona los elementos que constituyen la pantalla (Guión de la Interfaz)de entrada de datos de los exámenes del software.

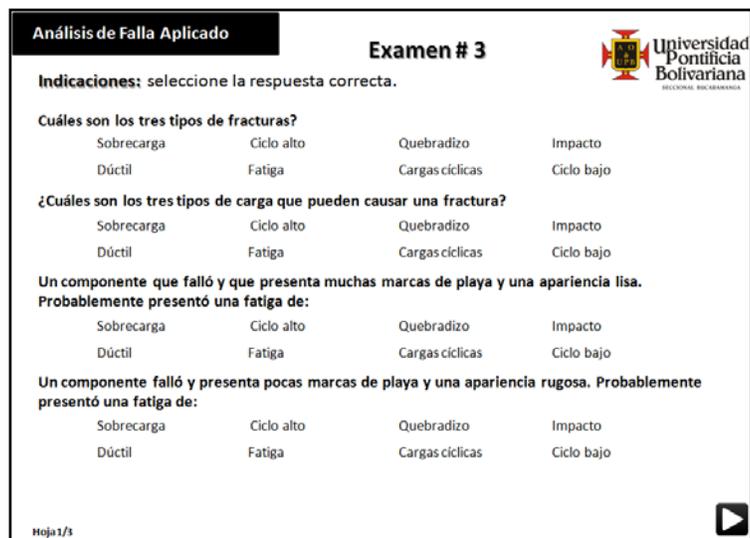
Tabla 6.Guión de la Interfaz 4: Contenido Temático

No.	Objeto	Estado Inicial	Evento	Acción	Fuente
1	Fondo	Inactivo	Ninguno	Ninguno	Creación personal
2	Título	Inactivo	Ninguno	Ninguno	Creación personal
3	Botones	Activo	Navegación	Clic	Creación personal
4	Cajas de texto	activo	Datos	Teclado	Visual Basic

Fuente: Autor del Proyecto

La Figura 11 muestra la vista final de la pantalla de preguntas de los exámenes del software. Para los 3 exámenes se utilizó el mismo diseño y guión de interfaz.

Figura 11. Preguntas Examen



Fuente: Autor del Proyecto

La Tabla 8 relaciona los elementos que constituyen la pantalla (Guión de la Interfaz) de resultados de los exámenes del software.

Tabla 8. Guión de la Interfaz 5: Contenido Temático

No.	Objeto	Estado Inicial	Evento	Acción	Fuente
1	Fondo	Inactivo	Ninguno	Ninguno	Creación personal
2	Título	Inactivo	Ninguno	Ninguno	Creación personal
3	Botones	Activo	Navegación	Clic	Creación personal

Fuente: Autor del Proyecto

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se encuentran las pruebas realizadas a estudiantes para contrastar el uso del software frente a la enseñanza formal, y así de esta forma hacer un juicio valorativo de los resultados, que a su vez fueron analizados mediante el test t de Student. Para el análisis se tuvo en cuenta dos poblaciones de estudiantes, a una población se les capacito en el tema de Análisis de Fallas en la forma tradicional tipo cátedra y la a otra población se les capacitó en este mismo tema mediante el uso del software. Al final del proceso se hizo los mismos exámenes para las dos poblaciones y así valorar el desempeño de todos.

En la tabla 9 se encuentran consignado los datos correspondientes a los resultados de los exámenes que tomaron las poblaciones.

Tabla 9. Resultados Exámenes de la Población

Autocapacitación Software Educativo					Cátedra Tradicional				
Estudiante	Examen 1	Examen 2	Examen 3	Promedio Personal	Estudiante	Examen 1	Examen 2	Examen 3	Promedio Personal
1	4,6	4,7	4,4	4,6	16	3,8	4,1	4	4,0
2	4,9	4,9	5	4,9	17	4,9	5	4,9	4,9
3	4,7	4,8	4,6	4,7	18	4,5	4	4,3	4,3
4	4,6	4,8	4,4	4,6	19	4,7	4,2	4,4	4,4
5	4,9	4,7	4,1	4,6	20	4,2	4,5	4	4,2
6	5	4,7	4,9	4,9	21	4,8	4,9	4,9	4,9
7	4,5	4,8	3,5	4,3	22	3,7	3,5	2	3,1
8	4,9	4,8	4,9	4,9	23	4,9	4,9	4,9	4,9
9	5	4,8	4,9	4,9	24	4,7	5	4,9	4,9
10	4,7	4,2	4,5	4,5	25	4	4,9	4,7	4,5
11	4,8	4,8	4,9	4,8	26	4,9	4,9	5	4,9
12	4,8	4,6	4,9	4,8	27	4,9	4,8	4,7	4,8
13	4,8	4,8	4,9	4,8	28	4,9	5	4,8	4,9
14	4,6	4,6	4,9	4,7	29	4,1	4,4	4,5	4,3

Fuente: Autor del Proyecto

4.1 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS.

- Hipótesis alterna (Ha). Existen diferencias significativas entre la enseñanza formal y la autocapacitación por medio de un software educativo en análisis de fallas.
- Hipótesis nula (Ho). No Existen diferencias significativas entre la enseñanza formal y la autocapacitación por medio de un software educativo en análisis de fallas.

Zona de rechazo.

Para todo valor de probabilidad mayor que 0.05, se acepta Ho y se rechaza Ha.

4.2 APLICACIÓN DE LA PRUEBA ESTADÍSTICA

Para hacer el análisis estadístico se utilizó la herramienta informática SPSS Statistics versión 19.0 de IBM, La prueba t de Student se accede en SPSS a través del menú de "Comparación de medias", para nuestro caso seleccionamos en el sub-menú "T-test para muestras independientes". Este análisis nos arroja dos tablas (Tabla 9 y tabla 10):

Tabla 10. Estadísticos del grupo

	grupo	N	Media	Desviación Std.
Notas	Software	14	4,7286	,18985
	Cátedra	14	4,5214	,56046

Fuente: Autor del Proyecto

La tabla 9 están registrados los valores correspondientes a la Media la desviación estándar y el número de la muestra (N). La t de Student es una prueba que ayuda a estimar los valores poblacionales a partir de los datos muestrales. La t de Student ayuda a pronosticar la probabilidad de que dos promedios pertenezcan a

una misma población (en el caso en que las diferencias no sean significativas) o que provengan de distintas poblaciones (en el caso que la diferencias de promedios sea significativas).

Tabla 11. Estadísticos del grupo

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
notas	Se han asumido varianzas iguales	0,39	0,11	1,3	26	0,202	0,20714	0,15815	-0,1179	0,53223
	No se han asumido varianzas iguales			1,3	25,95	0,202	0,20714	0,15815	-0,1282	0,5425

Fuente: Autor del Proyecto

En la Tabla 10 se han resaltado en rojo y negrilla los valores a atender. El primer valor de izquierda a derecha "Sig" indica la probabilidad que la varianzas poblacionales sean diferentes; esta información es importante ya que si se estiman iguales se usa un procedimiento estadístico para calcular t y si las varianzas son distintas se utiliza una variante en la fórmula. Al observar la tabla notamos que el valor para "Sig." es 0,11 que es superior a 0,05. Esto significa que existe un 11% de probabilidades de que ambas varianzas sean iguales; porcentaje superior al 5% acordado en las ciencias sociales. Por lo tanto, para continuar la lectura de la tabla debe observarse los valores de la primera línea correspondientes a "Se han

asumido variancias iguales". El siguiente valor es el de $t = - 1,3$; Este valor puede considerarse análogo al valor de una distribución normal.

La distribución t es un poco distinta a la distribución normal, ya que es una distribución estimada a partir de datos muestrales. Por esto a diferencia de la distribución normal que se construye a partir de dos parámetros: media y desviación estándar, la distribución t requiere conocer los "grados de libertad". En nuestro caso esto se calcula restando al número total de sujetos el número de grupos, en nuestro caso son 80 sujetos en dos grupos: $28-2 = 26$.

SPSS permite identificar si las diferencias son o no significativas directamente pues entrega el valor de la probabilidad -"Sig. (Bilateral)" - para el valor t obtenido. Así el valor el valor de p o la significación estadística es de 0,202 valor es mayor a 0,05, lo que significa que existen probabilidades de que las muestras vengan de una misma población.

Los resultados del estudio nos llevan a rechazar la hipótesis alterna y aceptar la hipótesis nula es decir "No Existen diferencias significativas entre la enseñanza formal y la autocapacitación por medio de un software educativo en análisis de fallas".

5. CONCLUSIONES

Los resultados de este proyecto permitirán a los estudiantes de pregrado de la universidad autocapacitarse en el tema de Análisis de Falla. Como consecuencia de ello se lograra complementar los conocimientos adquiridos en los cursos del área de materiales del programa académico de Ingeniería Mecánica. Adicionalmente, permitirá que el estudiante de pregrado tenga una visión más clara de la aplicación de los conocimientos de la ingeniería en la industria.

El diseño gráfico de la interfaz gráfica del programa se realizó con el programa Adobe Photoshop CS3, así mismo la programación se realizó con el programa Microsoft Visual Basic 6.0 y finalmente para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS de IBM; con ello se logró desarrollar el proyecto de manera práctica.

La metodología adoptada permitió cumplir éxito los objetivos planteados al comienzo. Como entregable final del proyecto queda el software de autocapacitación para el análisis de fallas junto con los exámenes digitales y un documento guía con los contenidos teóricos del software.

El análisis t de Student permite establecer que no hay diferencias significativas entre la enseñanza formal y la autocapacitación en el tema de Análisis de fallas.

Los resultados del análisis t de Student permiten inferir que el software para autocapacitación en Análisis de Fallas se constituye como un instrumento para motivar y conducir a los estudiantes a adquirir conocimientos de manera fácil y rápida.

Con este proyecto se utilizan las nuevas tecnologías para la enseñanza de temas del área de materiales y se crea un ambiente de trabajo agradable, impactante,

motivado, no solamente para los estudiantes sino para los docentes de la universidad.

6. RECOMENDACIONES

Como aporte importante final del proyecto, se plantean una serie de recomendaciones:

Utilizar el software análisis de fallas como una herramienta de trabajo para autocapacitarse. Después de explorar todos los módulos realizar los tres exámenes para validar los conocimientos adquiridos.

El software está dirigido a los estudiantes del programa ingeniería mecánica de la universidad pontificia bolivariana, como prerrequisito deben haber cursado y aprobado los cursos de ciencia de los materiales, procesos de fabricación y diseño de máquinas.

Dar a conocer este software a los estudiantes como parte de su desarrollo académico y profesional.

La validación de conocimientos solo se debe hacer en presencia de un profesor o autoridad en el tema.

Presentar sugerencias para su optimización.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] DIEZ, Enrique. Nuevas tecnologías aplicadas a la educación. España: Padre Isla.

- [2] FERRER, Carlos. Tecnología de materiales. Universidad Politécnica.

- [3] Gonzales, Jorge. Metalurgia Mecánica. México: Noriega Editores.

- [4] HERNANDEZ, Héctor. Mecánica de la fractura y análisis de falla. Bogotá: Impresiones Panamericana.

- [5] <http://www.colombiaaprende.edu.co/html/sitios/1610/propertyvalue-29036.html>

- [6] <http://www.suite101.net/content/educacion-virtual-en-colombia->

- [7] JOYANES, Luis. Fundamentos de programación. España: Mc Graw Hill.

- [8] SMITH, W. Fundamentos de Ingeniería y Ciencia de materiales. España: Mc Graw Hill.

- [9] Shackelford, James. Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros. México: Prentice Hall.

- [10] VÉLEZ, José. Técnicas avanzadas de diseño de software. Universidad Rey Juan Carlos de Madrid.

ANEXOS



Análisis de Falla Aplicado

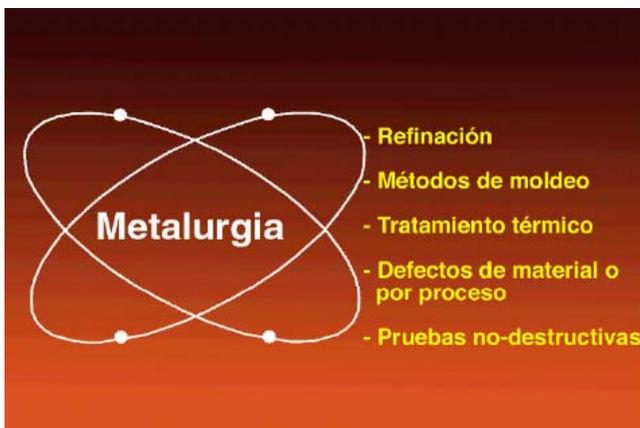
PRINCIPIOS BASICOS DE METALURGIA

1 -- ¡Bienvenidos! Las próximas secciones de este módulo seminario sobre el análisis de fallas estarán dedicadas a enseñar ciertos principios básicos de metalurgia, desgaste y fracturas. Estos principios pueden aplicarse a todas las fallas de un equipo, cualquiera sean las condiciones en que se encuentre. Esta sección teórica terminará con una introducción detallada a quizás la herramienta más importante de análisis: El examen ocular.

2 -- En esta sección estudiaremos algunos aspectos básicos de la metalurgia y de los procesos de transformación de los metales, para familiarizarnos con la estructura física de los componentes. Este conocimiento nos permitirá distinguir entre los defectos producidos por los materiales y los que se deben a los procesos. Posteriormente, cuando estudiemos las fracturas, comprobaremos que las piezas se rompen en lugares determinados si ha habido una sobrecarga. Si la rotura se da en cualquier lugar, la causa puede estar en los materiales o los procesos.

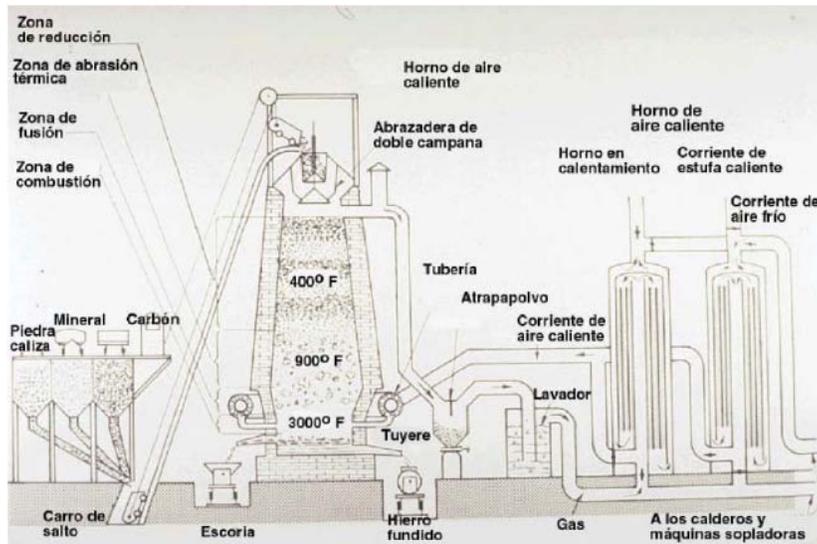


3 -- En esta sección estudiaremos el afino de los metales, los procedimientos que se usan para darles forma y endurecerlos; a continuación, aprenderemos a distinguir entre las fallas de materiales y las de procesos que pueden producirse en cada una de esas etapas. Los principios de metalurgia de esta sección se han simplificado para una mejor comprensión por parte del estudiante. .

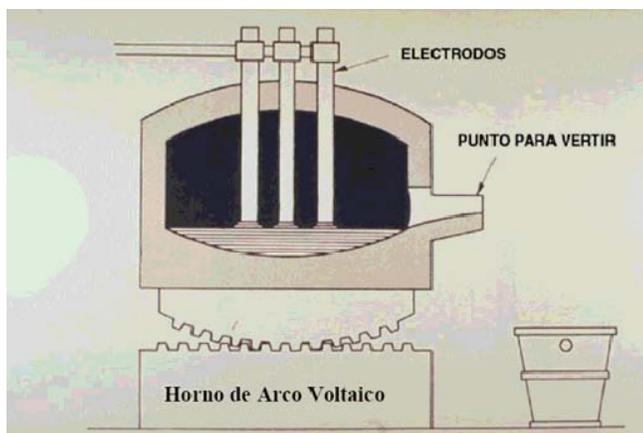


4 -- La mayoría de los productos industriales son de fundición y acero. Ambos metales provienen

del afino de mineral de hierro, presente en la naturaleza como óxido de hierro estable, e impurezas. Para el afino se calienta el mineral con coque (carbón de piedra sin oxígeno) y caliza dentro de un alto horno con paredes revestidas de ladrillos refractarios. A medida que la carga se funde, (1) el coque se combina con el oxígeno del mineral de hierro y produce hierro fundido que se deposita en el fondo del horno, y (2) la caliza se combina con las impurezas (tierra, azufre, etc.) y flota en la parte superior formando la escoria. Estas reacciones fisicoquímicas producen un metal afinado y menos estable que se denomina arrabio y que se sangra para seguir afinando y convertirse en lingotes de acero o de fundición denominados lingotes "de primera fusión".



5 -- El acero se produce con arrabio al que se le ha reducido el contenido de carbono y de impurezas y se le han ajustado las cantidades de otros elementos. Actualmente, la mayoría del acero se produce en hornos de arco voltaico. El arrabio y la chatarra se cargan en el horno revestido de ladrillos y los electrodos de carbón se bajan hasta llegar a unos centímetros del metal. Se abre el paso de la corriente y el calor que produce la resistencia de los metales a dicha corriente hace fundir la carga. El afinado continúa hasta que los niveles de carbono, de impurezas y de otros elementos alcancen las especificaciones establecidas. Estos procedimientos son imperfectos, por lo tanto el acero siempre tiene pequeñas partículas de ladrillo, escoria y tierra del mineral de hierro.



6 -- Con la colada de acero completamente afinado se llenan las lingoteras y se lo deja solidificar.

Durante este proceso de enfriamiento, es posible que se formen oquedades dentro del lingote con algunos gases que queden atrapados. Posteriormente, los lingotes se recalientan y se transportan a los talleres de laminación, donde se producen chapas, placas, planchas o barras. Durante el laminado en caliente la mayoría de las oquedades desaparecen.



7 -- los porcentajes de "carbono" y de "hierro" determinan si el producto final es hierro fundido o acero y establecen, además, casi todas las propiedades de estos dos metales. La mayor parte de la fundición se afina hasta que el contenido de carbono oscile entre el 2% y el 4%; esta cantidad hace que el metal sea quebradizo y poco o nada dúctil.



8 -- El acero se obtiene cuando los niveles de carbono presentes en el hierro oscilan entre 0,02% y 2,0%. Por lo general este metal es más fuerte, más duro, más tenaz, más dúctil y más resistente a los impactos que la fundición.



9 -- Los aceros se clasifican según su contenido de carbono. Los que tienen un bajo contenido (o blandos), es decir entre el 0,02% y el 0,25%, son muy dúctiles y se usan para piezas no tratadas térmicamente, como los colectores de aceite y los tubos de alimentación de combustible. A algunos de estos aceros blandos se les añade carbono sólo en la superficie (esto se denomina cementación) y se utilizan en piezas carburizadas como los engranajes y ejes de émbolo. Más adelante volveremos sobre este tema. Los aceros con un contenido de carbono de 0,25% a 0,501 (o semiduros) son menos dúctiles, pueden tratarse térmicamente y se usan para piezas forjadas (bielas y cigüeñales, por ejemplo). Los aceros con un contenido de carbono de 0,50% a 2,0% (o

duros) son quebradizos y se utilizan para los resortes y los componentes de la bomba inyectora de combustible.

Niveles de carbono para el acero

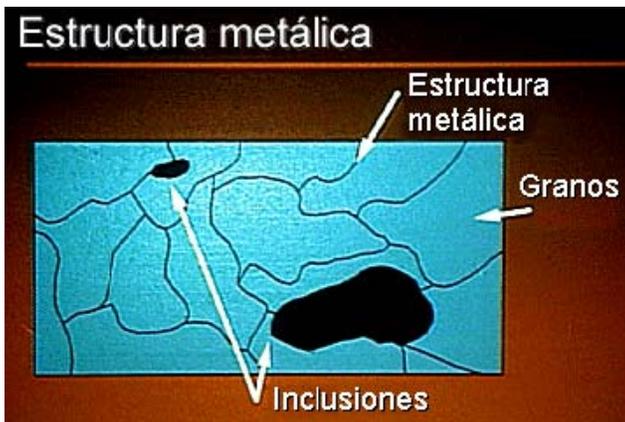
- **Carbono bajo** 0,02 - 0,25%
- **Carbono medio** 0,25 - 0,50%
- **Carbono alto** 0,50 - 2,00%

10 -- Cualquiera de los aceros mencionados puede ligarse con otros metales y elementos para mejorar sus propiedades físicas, como la tenacidad, la resistencia a la tracción y a la corrosión. Los elementos 1n5s usados en las aleaciones son el cromo, el níquel, el vanadio, el tungsteno y el molibdeno. Los aceros que contienen estos elementos se denominan "aceros de aleación".

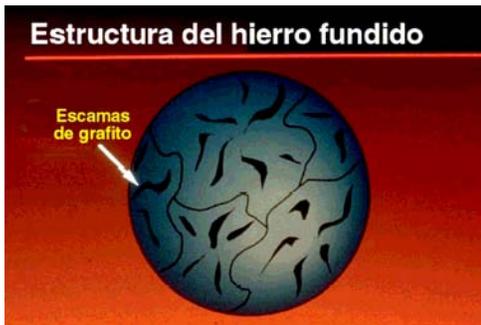
ALEACION DE ACERO
ACERO DE CARBONO BAJO, MEDIO Y ALTO
+

AGENTE ALEABLE

11 -- Dado que la cantidad de carbono determina las propiedades del acero o de la fundición, la estructura de estos dos metales tan diferentes nunca puede ser la misma. Antes de examinarlos más detenidamente, veamos primero la estructura física general de los metales. Todo metal está compuesto de granos, es decir cristales, que se van formando desde que se fusionan hasta que se solidifican, con un procedimiento muy similar al de los cristales de hielo que aparecen en los vidrios de las ventanas cuando hace frío. AL yuxtaponerse, los contornos de los cristales adquieren formas irregulares. Las impurezas, por ejemplo los pedazos de ladrillos refractarios o de escoria que no hayan desaparecido con el afino, se depositan en esos contornos. Estas impurezas se denominan inclusiones y, por lo general, son lo suficientemente pequeñas como para no debilitar el metal.



12 -- Si observamos la estructura de un cristal de fundición, podemos ver que los contornos producen un patrón irregular del grano. Además, el carbono que cada grano contiene se presenta en forma de escamas de grafito. Este carbono libre produce la mayoría de las propiedades de la fundición: fragilidad, buena resistencia al desgaste y buena maquinabilidad.



13 -- Si observamos la estructura del acero, comprobamos que sus granos y contornos no tienen escamas de grafito. En los aceros blandos el carbono se mezcla con los cristales y, en consecuencia, no queda ningún carbono libre para formar escamas. Esta diferencia estructural produce las distintas propiedades del acero: ductilidad, resistencia y tenacidad. (Nota: la ilustración no contiene inclusiones para simplificar la explicación).



14 -- Si observamos más detenidamente la estructura de los cristales, comprobamos que las "células elementales" están ordenadas en hileras y columnas, como si fueran ladrillos apilados. Sin embargo, ningún grano tiene la misma alineación. Cuando estudiemos la relación entre las cargas y las fallas del acero, veremos cómo el desarrollo y la apariencia de las grietas se explican por las

diferencias entre las alineaciones.



15 -- Las células son las unidades estructurales más pequeñas que forman un grano. En la fundición y el acero estas células son cúbicas por lo general y sus átomos de hierro están en el centro y los vértices (por eso se denominan "estructuras con cuerpo"). Una célula puede redistribuir sus átomos o incorporar átomos distintos mediante el tratamiento térmico y la aleación. Esto, en consecuencia, modifica las propiedades fisicoquímicas de los metales.

Célula de un acero al carbono, a temperatura ambiente



Estructura celular con cuerpo en centro

16 -- La fundición y la formación son procesos metalúrgicos que hacen del hierro y del acero metales útiles. La mayoría de los productos industriales de hierro se hace en moldes. La mayoría de los aceros, sin embargo, se trabaja con uno de los siguientes métodos de alta temperatura y presión:

- 1 Laminado
- 2 Forjado
- 3 Extrusión
- 4 Embutido

El acero que resulta de estos procedimientos se denomina "labrado". Los metales fundidos y labrados forman dos categorías con propiedades muy diferentes.



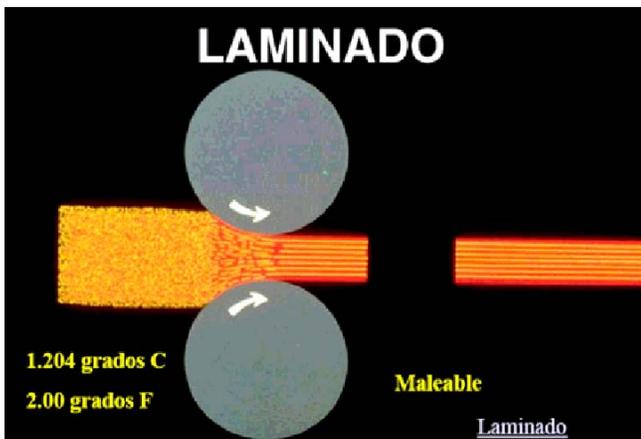
17 -- La fundición consiste en vaciar el hierro en un molde con la forma de la pieza que se desea construir. Los moldes se producen prensando la matriz de dicha pieza en una mezcla de arena y aglomerante. Esta mezcla fija y mantiene la forma deseada. Las cavidades interiores se producen con machos sostenidos por pequeñas espigas de hierro denominadas chavetas. Los gases y el aire caliente escapan a través los respiraderos. A medida que el hierro derretido a 1204 - 1315 °C (2200 -2400 °F) va llenando el molde, funde las chavetas y despidе gases al exterior; recién después comienza a solidificarse.



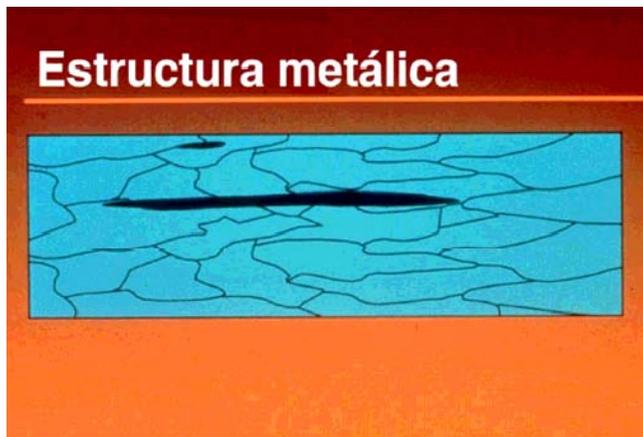
18 -- En una fundición es posible que queden, sin embargo, gases o inclusiones de escoria; o si el enfriamiento no ha sido adecuado, el metal puede contraerse demasiado rápido y separarse formando oquedades. La fundición solidificada tiene una estructura irregular de granos y escamas de grafito. La fragilidad de esta estructura impide que se le siga dando forma, pero puede ser tratada térmicamente y trabajada económicamente.



19 -- El laminado es el proceso más común para producir chapas, placas, planchas y barras. Por lo general se calienta el acero a unos 1204 °C (2200 °F) para volverlo muy maleable. Se le aplica alta presión pasándolo entre grandes rodillos de acero hasta lograr la forma deseada. Esta forma puede modificarse más tarde por el forjado, la extrusión, el embutido u otros procedimientos de elaboración.



20 -- Durante el laminado, las hileras y columnas de las células se deslizan y los contornos de los granos se alteran, pero no llegan a romperse. La nueva estructura granular y las inclusiones se alinean en la dirección del laminado, estableciendo así las líneas de deformación plástica. Por una parte, esto hace que la resistencia del acero en la dirección del grano sea mayor que en cualquier otra. Pero, por la otra, en esa dirección las grietas se desarrollan con más rapidez, de la misma manera que la madera se raja con más facilidad siguiendo la veta.



21 -- El forjado, que sirve igualmente para dar forma a los metales, se realiza calentando el material a unos 1204 °C (2200 °F) y golpeándolo con un martillo de forja. Los granos del acero caliente van adquiriendo la forma de la matriz y la deformación plástica es paralela a las cargas máximas previstas. A veces esta operación produce pliegues denominados solapas; y el calentamiento puede también resultar en quemaduras de forja.



22 -- Lo fundamental que hay que recordar sobre los materiales fundidos y labrados es que los primeros tienen una estructura irregular y escamas de grafito y los segundos una deformación plástica. A esto se debe la mayoría de las diferencias entre las propiedades físicas y el comportamiento de los dos tipos. Cuando estudiemos las fracturas, comprobaremos que su apariencia depende también del tipo de material utilizado.



23 -- Es posible que las piezas, una vez formadas y labradas, requieran un tratamiento térmico para aumentar su resistencia, tenacidad o durabilidad. Mediante este tratamiento las células del hierro fundido y del acero se benefician con átomos de carbono que las endurecen. Por lo general el tratamiento térmico tiene tres etapas:
 (1) Austenización; (2) enfriamiento; (3) revenido.

Tratamiento térmico

- **Aumenta:**
 - Fortaleza
 - Dureza
 - Resistencia al desgaste
- **Tres pasos:**
 - Disolución Tratamiento Termico
 - Inmersión Cigüenal
 - Revenido

24 -- La austenización es la primera etapa y se hace a temperaturas elevadas para introducir el carbono en las células. En la temperatura ambiente los aceros al carbono tienen una célula con centro en cuerpo y carecen, por lo tanto, de espacio para los átomos de carbono. Durante la austenización, la temperatura sube hasta 760 °C (1400 °F) y modifica la estructura de la célula, pasándola de centro en cuerpo a centro en cara, con lo cual se produce espacio para los átomos de carbono. La célula con centro en cara tiene átomos de hierro situados en los vértices del cubo y en el centro de sus caras. Los átomos de carbono entran en las aristas del cubo. El tratamiento térmico es, por lo tanto, el procedimiento mediante el cual se añade carbono a las células elementales.

1 - Etapa

Disolución Estructura celular con centro en cara

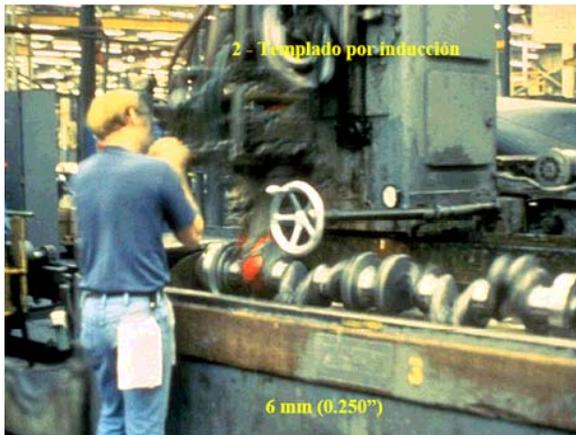
A temperatura ambiente existe una estructura celular con cuerpo en centro

- Cúbica de cuerpo centrado
- Carbono no disuelto 760 grados C
- Carbono no disuelto 1400Grados F
- Cúbica de cara centrada (≈1400°F ↑)
- Carbono disuelto

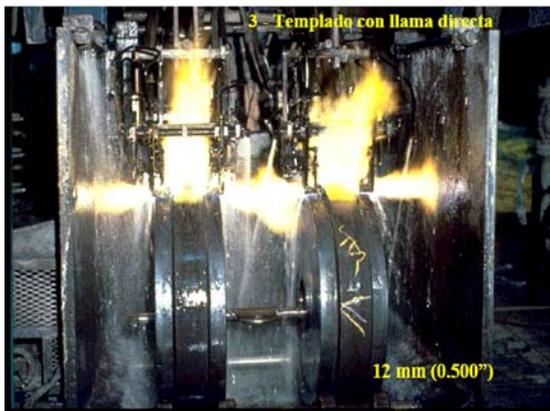
25 -- La austenización de las piezas puede hacerse de varias maneras, pero la más común es el horneado. Los hornos de temple se usan para calentar las piezas enteras antes de enfriarlas. En esta diapositiva vemos un cigüeñal al rojo, saliendo de una temperatura de 871 °C (1600 °F).



26 -- A algunas piezas hay que endurecerles sólo la capa superficial y, por lo tanto, no es necesario calentarlas totalmente. El endurecimiento por inducción se hace calentando eléctricamente unos 6 mm (0,250 pulg.) de superficie. En esta diapositiva vemos la austenización de la superficie de un cigüeñal mediante endurecimiento por inducción.



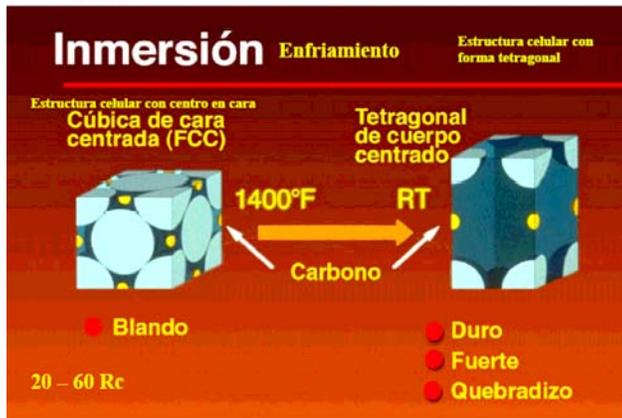
27 -- El templado en fragua es el tercer método térmico de austenización para superficies de unos 12 mm (0,5 pulg.). De estos tres procedimientos térmicos se pasa inmediatamente al enfriado y revenido.



28 -- Enfriado: es la segunda etapa y consiste en enfriar rápidamente el metal austenizado para

que llegue a la temperatura ambiente. La célula con centro en cara adquiere una forma tetragonal que fija los átomos de carbono. Esto produce un acero muy duro y resistente, pero muy quebradizo y con muchos esfuerzos residuales. Después de enfriado, la dureza de un cigüeñal típico de acero semiduro aumentará de 20 Rc a 60 Rc.

2 - Etapa



29 -- El enfriado puede hacerse con agua, aceite o aire. Para los aceros blandos o semiduros, se utiliza por lo general el agua; para los que tienen un alto contenido de carbono o para las aleaciones se utiliza el aceite o el aire.

3 - Etapa

PROCESO/ELEMENTO USADO EN LA INMERSION	
● ROCIADO/AGUA	Agua
● AGITACION/AGUA	Blandos semiduros
● BAÑO/AGUA	
● AGITACION/ACEITE	Duros aleaciones
● BAÑO/ACEITE	
● AGITACION/AIRE	Accite
● SIN AGITACION/AIRE	

30 -- Revenido: última etapa del tratamiento térmico que reduce los esfuerzos residuales y mejora la tenacidad mediante la descarga controlada de algunos átomos de carbono de las células. El control cuidadoso de las temperaturas de temple permite controlar la salida del carbono, reduciendo al mínimo la pérdida de dureza. Si las piezas se mantienen a la temperatura correspondiente, la tenacidad y dureza del metal serán estables. El revenido del cigüeñal anterior reduce la dureza a unos 52 Rc.

Revenido

Descarga controlada de átomos de carbón

- **Alivia tensiones**
- **Mejora dureza**

Cicloenal
20 Re
60 Re
48 Re

31 -- La cementación es otro tratamiento térmico para endurecer las superficies de las piezas. Los aceros duros y semiduros son muy costosos, y para reducir esos costos, se utilizan aceros de bajo contenido de carbono a los que se les añade carbono o nitrógeno (un elemento de liga como el carbono) o los dos a las capas superficiales. Los tres tratamientos de cementación usuales son: carburizado, carbonitruración y nitruración.

El carburizado se produce a una temperatura de 927 °C (1700 °F) y el carbono que se añade puede llegar a una profundidad de 3 mm (0,125 pulg.) Requiere posteriormente enfriado y revenido y produce una superficie resistente al desgaste con un núcleo de apoyo tenaz y capaz de tolerar cargas grandes. El enfriado causa muchas deformaciones que deben enderezarse o re trabajarse para responder a las especificaciones.

La carbonitruración se hace a 760 °C (1400 °F) y puede añadir carbono y nitrógeno hasta una profundidad de 0,3 mm (0,015 pulg.); requiere enfriado y revenido y produce una superficie fina, dura y resistente al desgaste. Al utilizarse una temperatura más baja las posibilidades de distorsión también se reducen.

La nitruración añade nitrógeno a unos 538 °C (1000 °F) hasta una profundidad de 0.3 mm (0,015 pulg.); antes de hacerse este tratamiento, requiere austenización, enfriado y revenido. Produce una superficie dura y resistente al desgaste con un núcleo de apoyo tenaz y capaz de tolerar cargas medianas. Al utilizarse una temperatura muy baja, no se producen distorsiones, por eso se aplica a las piezas ya terminadas.

Cementado **Cementación**

	1700° F (927°C)	
	3 mm (0.125")	deformaciones
● Carburización		
● Carbunituración		
Amoniaco	1400° F (760°C)	
	0,3mm (0.015")	
● Nitruración		
	Enfriado y revenido	
	1000° F (538°C)	
	0,3mm (0.015")	
	Austenización Enfriado y revenido	

32 -- Los ensayos de dureza sirven para determinar la eficacia del tratamiento térmico. Las pruebas de Rockwell C miden la resistencia a la indentación, utilizando un inventador de diamante que se aprieta con una presión muy exacta contra la superficie metálica. Cuanto más duro es el metal, menos profunda es la indentación. Una pieza típica de acero labrable no tratada térmicamente tiene una dureza inferior a 20 Rockwell C. Las piezas que tienen 40 Rockwell C no son labrables y deben amolarse. Las superficies de desgaste endurecidas y tratadas térmicamente pueden tener entre 45 y 65 Rockwell C.



33 -- El afino, el labrado y el tratamiento térmico son procesos metalúrgicos que pueden dejar fallas o defectos en los materiales. Durante el afino es posible que el metal retenga cierta suciedad del mineral, escorias de la colada o partículas de los ladrillos del horno. Estas impurezas se denominan defectos o inclusiones y están presentes en todos los materiales; pero, por lo general, son muy pequeñas y no causan ningún problema.

**Impurezas por refinación
(Defectos e inclusiones)**

- Suciedad
- Escoria
- Ladrillo

34 -- Las inclusiones son tan pequeñas que después del laminado o forjado ya no producen fallas. De vez en cuando un área que soporta una carga crítica tiene una falla lo suficientemente grande como para que se agriete. Dado que estos defectos son generalmente internos, comprobamos que las grietas, causadas por suciedad, escoria o ladrillo, siempre empiezan en la parte de adentro de la pieza.



35 -- En los metales fundidos y labrados, los procesos de elaboración pueden producir defectos internos o superficiales. Debemos familiarizarnos con su apariencia, para poder reconocerlos por el tipo de fractura que producen. Lo que no hay que olvidar es que si la grieta comienza en el interior, su origen es casi siempre un defecto. Esa falla indica que el material es defectuoso, el proceso inadecuado o la carga tal vez excesiva. También es necesario recordar que las grietas internas avanzan hacia la superficie, mientras que las externas van hacia el interior. Veamos más

detalladamente los defectos más comunes, sus causas, su ubicación en las piezas y su apariencia.

Defectos de moldeo		
Fundición	<u>Superficie interna</u>	<u>Superficie</u>
	- Cavidades de contracción - Bolsas de gas - Inclusiones de escoria	- Puntos fríos - Lágrimas calientes - Fisuras
Fraguado	- Bolsa de contracción - Defecto de extrusión - Exfoliado - Puntos calientes del forjado	- Rebabas, grietas - Astillas - Quemaduras de rectificado

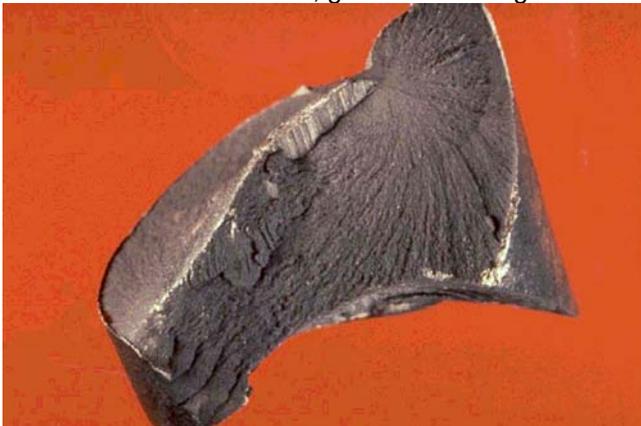
36 -- Una falla interna y corriente en la fundición es la bolsa de contracción que se forma al volcar el hierro demasiado caliente o al no suministrar suficiente metal para llenar ciertas secciones. A medida que se enfrían, se contraen y es necesario poner más metal para impedir que la fundición se separe. De lo contrario, se formarán oquedades internas, grandes e irregulares, que le restan resistencia al metal. Durante la operación, si la bolsa es demasiado grande o si las cargas son excepcionalmente pesadas, la oquedad puede dar lugar a una grieta.



37 -- Una falla superficial y común en la fundición es la grieta que proviene del uso abusivo de la pieza. Cuando se abren esas grietas no han cambiado de color, a menos que hayan estado expuestas al calor o a elementos corrosivos. Las grietas por fatiga del metal, de las que hablaremos con más detenimiento en la sección de fracturas, pueden empezar en la superficie, si las cargas son elevadas.



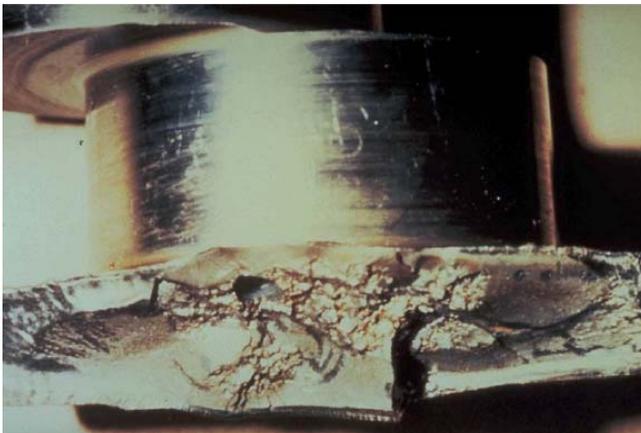
38 -- Los tres defectos internos más comunes en los materiales labrados son las bolsas de contracción, las escamas y los puntos calientes. Las bolsas se producen cuando los lingotes se solidifican dejando una oquedad en la parte superior del centro. Antes del laminado, esta parte por lo general se serrucha. A veces, una porción de la oquedad permanece en el lingote y se lamina. Esto forma un agujero irregular en el centro, al que se denomina "bolsa", y puede ser un concentrador de esfuerzos, generando una grieta interna por fatiga.



39 -- Cuando se disuelve el gas de hidrógeno produce escamas en el acero durante el afinado. El hidrógeno atrae a su alrededor las inclusiones, crea una alta presión y hace que el acero estalle internamente. En la cara de las fracturas, las escamas se asemejan a pequeñas manchas, brillantes, lustrosas y redondeadas.



40 -- Los puntos calientes se producen por sobrecalentamiento del acero durante el forjado. El calor generado de la intensa elaboración mecánica aumenta la temperatura de los contornos de los granos en las partes más trabajadas, hasta llegar al punto de fusión y causa un debilitamiento interno de dichos granos. Si esto produce fallas, en la superficie de la rotura las áreas derretidas parecerán granos o cristales grandes.



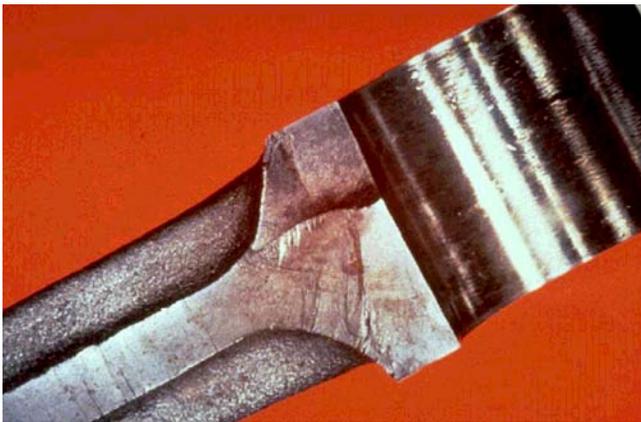
41 -- Las costuras y solapas son defectos superficiales comunes y de apariencia muy similar. Se producen en el laminado o forjado, al plegarse el metal sobre sí mismo. Laminillas superficiales se comprimen en la costura o solapa, impidiendo que se suelden en las altas temperaturas. En la superficie de las fracturas aparecen como ásperas, a causa de las laminillas, y tienen un color negro oscuro.



42 -- Además de las fallas de afinado y labrado, puede haber otras provenientes del tratamiento térmico: grietas por enfriamiento, puntos blandos y grietas por enderezamiento.

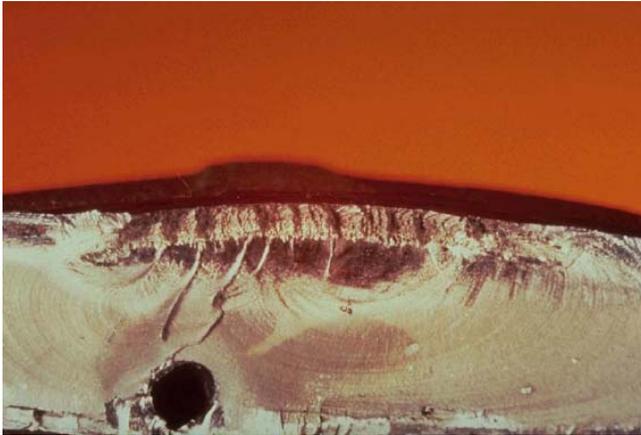


43 -- Los defectos por enfriamiento se producen al sobrecalentar el material, por enfriamiento excesivo en agua o aceite o por usar agua para enfriar acero que requería enfriarse con aceite. El severo impacto térmico resulta en una contracción demasiado rápida del metal y la formación de grietas superficiales. Las grietas por enfriamiento ocurren generalmente en los concentradores de esfuerzos que ya existen, por ejemplo en los filetes, los dientes de engranaje, las ranuras, las lengüetas y los fondos de las roscas. Si las piezas han sido templadas con aire a más de 260 °C (500 °F), la grieta puede presentar una cierta descoloración.



44 -- El tratamiento térmico produce esfuerzos residuales que, por lo general, terminan en una distorsión. Un método corriente de enderezar las distorsiones es utilizando prensas hidráulicas. Si las piezas han tenido un esfuerzo excesivo en esta operación, es posible que comiencen a

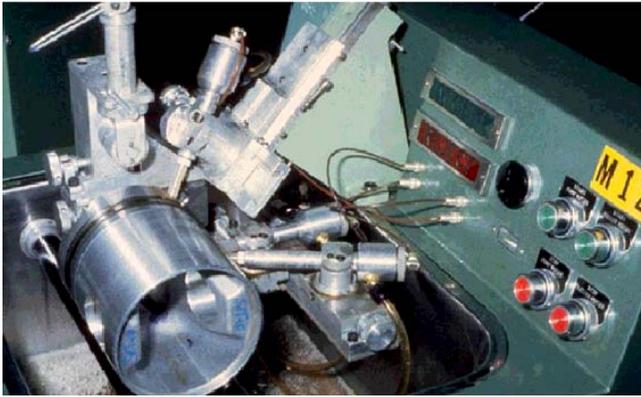
agrietarse donde haya un concentrador de esfuerzos. Estas grietas se denominan grietas por enderezamiento y pueden producir fracturas por fatiga durante el uso.



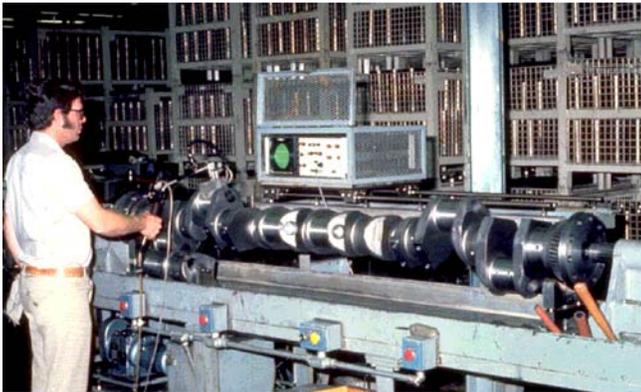
45 -- Para controlar el afinado, labrado y enfriado, y asegurar que el producto final no tenga defectos peligrosos se utilizan ensayos no destructivos. Esta prueba se usa asimismo para detectar defectos de materiales, haciendo un control del 100 %. Los métodos más corrientes son: magnaglo, zyglo, ultrasonidos y corriente parásita. Los ensayos con magnaglo, zyglo y la corriente parásita sirven para detectar defectos superficiales. Los ensayos ultrasónicos se utilizan con los defectos internos.



46 -- Los fabricantes de pistones usan pruebas ultrasónicas para verificar la calidad del aglutinante de la faja de fundición donde van los aros del émbolo. Este método ha permitido reducir drásticamente el número de pistones con fallas de aglutinante.



47 -- Algunas aplicaciones de los motores, como las navales, por ejemplo, requieren cigüeñales de calidad excepcional. Las pruebas ultrasónicas de estas piezas con un diámetro interior considerable permiten certificar que los niveles de inclusión se hallan muy por debajo del tamaño que podrían producir fallas.



48 -- Con esto se termina nuestra sección sobre los principios básicos de la metalurgia. El afinado, el labrado y el tratamiento térmico de los metal es pueden producir fallas o defectos en las piezas. Cuando aprendemos a distinguirlos por la apariencia, podemos determinar rápidamente si son la causa de una fractura. Si no los encontramos, buscaremos las causas en otra parte, recopilando más datos o indicios que nos lleven a la causa principal de la rotura.

Identificar la causa de la falla

Pensar ● Hechos ●

Pregunta de doble verificación

Obtener hechos relacionados

- Calor
- Carga
- Aplicación, Operación y Mantenimiento

49 -- Al hacer frente al desafío que representa la búsqueda de la causa principal de un problema y el método de corrección adecuado, debemos tener siempre en cuenta estos principios básicos de metalurgia. Debemos asegurarnos que contamos con todas las informaciones antes de pensar que

una pieza es defectuosa. Con demasiada frecuencia descubrimos que piezas de acero o fundición elaboradas cuidadosamente, pero expuestas a condiciones anormales, fallan por esta última razón.



PRINCIPIOS BÁSICOS DE DESGASTE

1 --¡Bienvenidos! En esta sección estudiaremos los desgastes anormales y las condiciones que los producen. Veremos la relación que existe entre ciertas condiciones negativas y determinados tipos de desgaste. Si logramos establecer el tipo, nos será más fácil saber en qué circunstancias se produjo. Estudiaremos las "claves" o "indicios" de los siete tipos más comunes de desgaste para poder reconocerlos al examinar los problemas.



2 -- El análisis de fallas es mucho más fácil, si antes de que se presenten los problemas nos familiarizamos con los clientes y sus equipos. Es importante conocer los equipos y saber cómo se utilizan, operan y mantienen. Con frecuencia los clientes no cumplen con sus responsabilidades. Reuniéndonos con ellos, haciendo una lista de sus equipos, ayudándoles a adquirir las guías necesarias y respondiendo a sus preguntas, nos aseguramos de que sean conscientes de sus responsabilidades y nos preparamos además para analizar los problemas y determinar más rápidamente sus causas.

Conozca a su cliente

- **Equipo**
- **Aplicación**
- **Operación**
- **Mantenimiento**

3 -- Las piezas se desgastan gradualmente mientras prestan buen servicio. Por lo general, se consideran reutilizables si el desgaste está dentro de los límites permitidos. De vez en cuando, sin embargo, se produce un desgaste anormal y debemos examinar la falla para determinar su origen. Si seguimos un procedimiento de análisis de desgaste ya establecido, estaremos en mejores condiciones de encontrar la causa principal.

Principios de análisis de fallas por desgaste

- **Familiarizarse con el cliente y el producto**
- **Seguir los 8 pasos**
- **Identificar los hechos de la falla del producto**
- **Identificar los mecanismos de desgaste**
- **Seguir los 8 pasos**

4 -- Al comenzar el examen, deberíamos utilizar los "8 pasos aplicables al análisis de las fallas", porque nos ayudarán a recordar las etapas importantes de un análisis lógico y porque nos ahorrarán tiempo y evitarán confusiones y errores.

Para cada una de las etapas es necesario obtener todos los datos pertinentes, incluyendo el análisis de las partes desgastadas. Después de haber estudiado esos datos en forma lógica, estaremos en condiciones de responder a las preguntas siguientes: "¿Qué tipo de desgaste se produjo?" "¿Por qué se desgastó la pieza?" y "¿Quién es responsable del desgaste?"

Una vez que hayamos determinado la causa principal, pasaremos a ejecutar los pasos 6, 7 y 8, es decir, a obtener la recompensa.

Noten el signo de exclamación alrededor de los "Ocho pasos..." para indicar la importancia que tiene la solución de un problema. Este signo aparecerá con frecuencia en esta presentación y en las siguientes.



5 -- Muchas veces el desgaste es anormal como resultado de lubricación contaminada o mal funcionamiento de algún sistema hidráulico, de enfriamiento, de admisión de aire o de combustible. A medida que recogemos datos, debemos informarnos sobre la cantidad y calidad de los aditivos, acondicionadores y fluidos utilizados, además de las temperaturas y presiones de operación. Los datos sobre mantenimiento de sistemas, tales como intervalos de servicio y procedimientos de reacondicionamiento son útiles también. Posteriormente, cuando consideremos todos estos datos, nos ayudarán a definir el problema y a guiarnos a la causa original.



6 -- Las informaciones sobre la calidad y cantidad de los lubricantes son muy valiosas, porque la lubricación también sirve para enfriar los componentes. Por ejemplo, si preguntamos "¿había aceite en el Carter?", la respuesta será "sí" o "no", pero seguiremos sin saber la cantidad o la calidad del aceite. Para llegar a la causa principal del problema es necesario hacer el tipo de preguntas siguientes: "¿Cuál era el nivel del aceite en la varilla?", "¿Cuánto aceite había en el Carter?", "¿Qué tipo de aceite se utilizaba?" o "¿Qué sugirió el Análisis Periódico del Aceite?". A medida que obtenemos estos datos debemos anotarlos.



7 -- Al observar las piezas desgastadas, es necesario que determinemos y anotemos dónde se encuentra el desgaste, qué tipo de desgaste se ha producido y qué carga lo ha ocasionado.

Por ejemplo: un desgaste descentrado puede sugerir que las piezas están desalineadas o dobladas; el desgaste se va acumulando y las picaduras indican cierto movimiento de las superficies. La inspección con lupa de las áreas desgastadas puede ayudarnos a reconocer las diferentes formas de desgaste.

Como las formas de desgaste dependen de la carga, la identificación de configuraciones anormales de desgaste nos puede guiar a la identificación de condiciones de carga perjudiciales.

Los datos que obtengamos no deben guardarse en la memoria, sino meticulosamente en el papel, para que el grupo que hace el análisis de fallas pueda utilizarlas.



8 -- Hay muchos tipos de desgaste, pero los siete que damos a continuación son los más comunes:

- por abrasión
- por adherencia

- corrosión
 - erosión
 - erosión por cavitación

- fatiga por contacto
- desportillamiento por rozadura

Cada uno de ellos tiene su propia apariencia y proviene de condiciones específicas. Por lo tanto, al reconocer un tipo determinado de desgaste, estamos reconociendo indirectamente las condiciones que lo causaron.

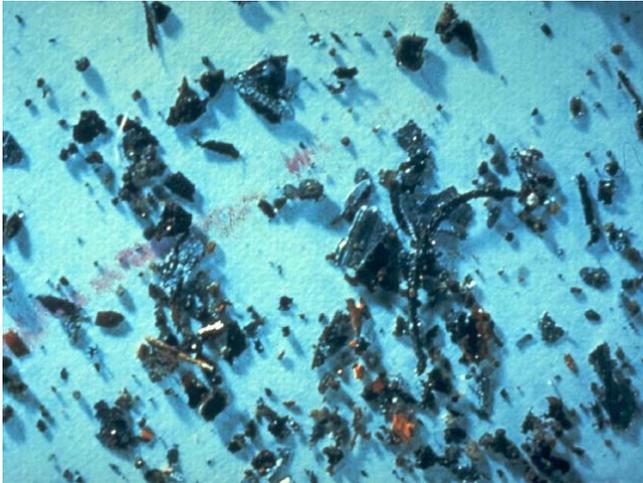


9 -- El desgaste por abrasión es el más común. Se produce cuando partículas duras y más grandes que la película de lubricante se introducen entre dos superficies móviles. Esas partículas cortan las superficies blandas, las rayan y producen desechos secundarios. Las superficies duras no se cortan tan fácilmente, pero al rozar con los desechos pueden generar más calor. Con buena lubricación se disipa el calor generado y se produce poca elevación del calor en las superficies.

Si el desgaste por abrasión aumenta, las superficies se ponen ásperas, pueden entrar en contacto, a pesar del lubricante, y generar más calor del que éste puede enfriar. Esto ocasionará desgaste secundario por adherencia. La persona que examine la pieza deberá hacerlo cuidadosamente para distinguir el desgaste secundario por adherencia y el que se origina por abrasión.

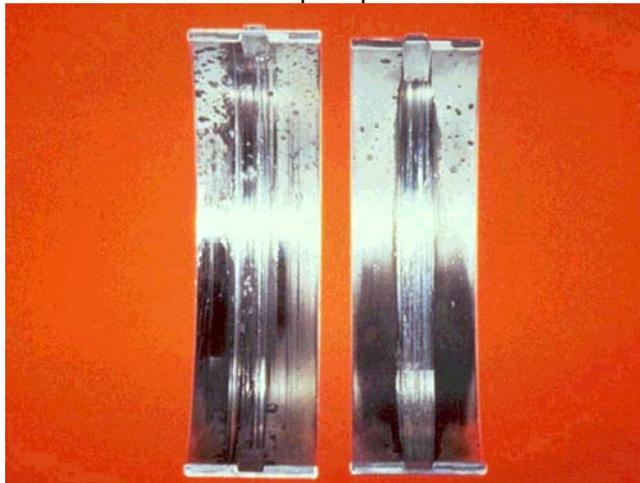


10 -- Ejemplos de partículas abrasivas son las virutas de acero y aluminio, la arena para machos, restos de pintura, suciedad y otras materias extrañas. Si esas partículas son grandes, es posible que se hayan producido durante la fabricación, el mantenimiento o las reparaciones. Si son pequeñas, pueden haber entrado durante la operación o por un mantenimiento inadecuado. El desgaste por abrasión se determina fácilmente, pero lo que se busca es la causa, es decir "¿Qué tipo de desechos son y de dónde provienen?" Por lo tanto, en un análisis del desgaste por abrasión es muy importante tener todos los datos sobre las partículas abrasivas, porque esto nos lleva a su origen y a comunicarnos con el miembro del equipo responsable de la falla.



11 --La superficie blanda de este cojinete de biela de la familia 3600 no sólo está rayada profundamente y con partículas duras incrustadas, sino que tiene incrustados desechos secundarios.

El cojinete principal contiguo a éste no se dañó. Por lo tanto, los residuos deben haber quedado en los conductos de lubricación al perforar el cigüeñal o en el cojinete mientras se armaba. La persona que examine la pieza deberá sacar algunas de las partículas duras que están incrustadas y anotar su tamaño, forma, propiedades magnéticas y color. Por lo general, estos datos son suficientes para determinar de dónde provienen los desechos o para ponernos a buscar datos en otra dirección.



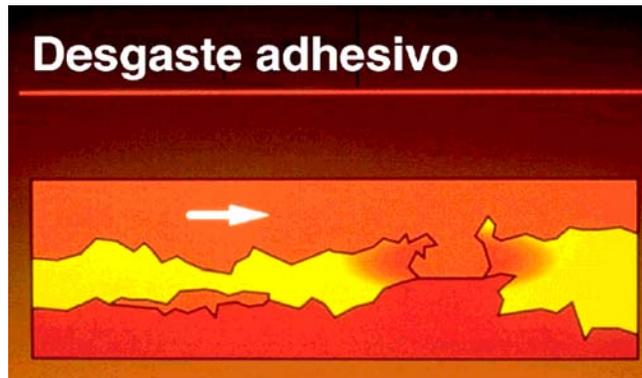
12 -- Las partículas de desgaste no se incrustan fácilmente en las superficies duras, pero pueden producir rayaduras por abrasión. Aquí vemos un ejemplo de esto en un anillo superior de un pistón. Empecemos por lo más importante y preguntemos “¿Qué apariencia tiene actualmente el anillo?”, “¿Qué apariencia tenía originariamente?”, “¿Cuál es el grado de desgaste?”, “¿Cuánto tiempo hace que el anillo está en uso?” y “¿Entraron materias extrañas en el sistema de admisión de aire o en alguna otra parte?”

Si los otros anillos superiores están en condiciones similares, es posible que haya una contaminación en el sistema de admisión de aire y deberíamos buscar allí datos de entrada de suciedad.

Es necesario anotar el tamaño, la forma, ubicación y frecuencia de las rayaduras. También debemos examinar otras piezas que pudieran haber estado expuestas a materiales abrasivos y anotar todos los datos obtenidos durante ese examen.



13 -- El desgaste por adherencia es el que más rápido se desarrolla. Se produce cuando dos superficies móviles entran en contacto sin adecuada lubricación ni refrigeración. Al rozar una con la otra, generan calor por fricción, elevan la temperatura de la superficie hasta el punto de fusión y se adhieren.



14 -- Cuando la superficie más débil aparece pulida o manchada, estamos frente al primer indicio de desgaste por adherencia. Si hay manchas, quiere decir que la superficie ha alcanzado temperaturas de fusión. Recordemos, sin embargo, que debido a la conducción del calor, al entrar en los niveles más profundos del metal, las temperaturas descienden rápidamente y la fusión se produce sólo en las capas superficiales.

Si varias piezas tienen manchas de adherencia, es necesario buscar las causas en los sistemas. Los indicios quedan grabados en las piezas y nos llevan a los problemas que tiene el cliente.

Estos cojinetes funcionaron durante cinco minutos sin presión de aceite, produciéndose daño permanente por adherencia.



15 -- A medida que avanza el desgaste, una de las superficies se atasca y se suelda a la otra, sacándole a la más blanda pedazos de metal. Este faldón de pistón se adhirió a la camisa del cilindro por lo que se rompieron las secciones recalentadas y debilitadas. Como no vemos atascamiento en el área de los anillos, sabemos que este desgaste comenzó en el faldón. Esto nos sugiere que examinemos los otros pistones y que reunamos datos sobre los sistemas y las condiciones que pudieron haber causado las altas temperaturas del faldón. Si los demás pistones están bien, hay que reunir datos sobre la lubricación y la refrigeración del pistón averiado.

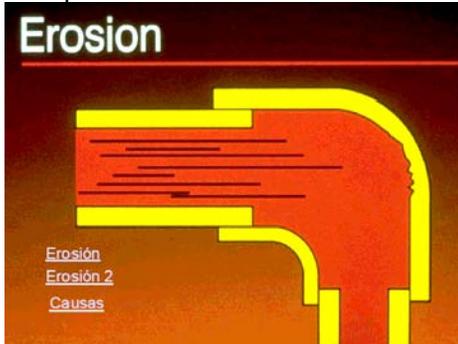


16 -- Si la pieza sigue funcionando, el desgaste por adherencia producirá temperatura de fusión que terminará por reducir la resistencia del metal y ocasionar una rotura. Aunque la pieza esté hecha pedazos, la limpieza cuidadosa, el orden y examen de los pedazos nos revelarán las causas. Este pistón funcionó hasta que se destruyó en un motor sin refrigerante.

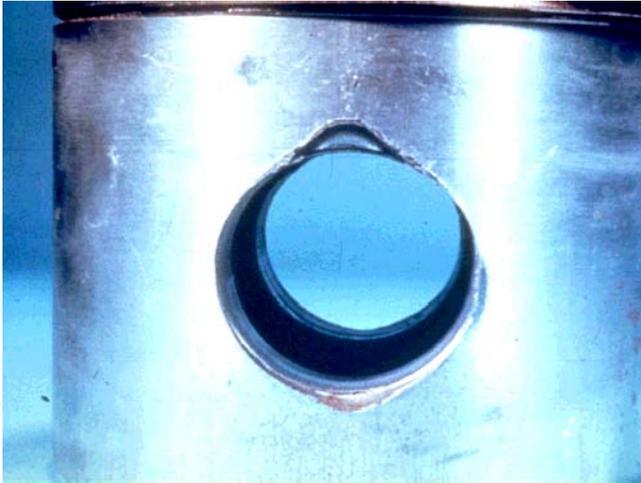


17 -- Se produce erosión cuando los fluidos de movimiento rápido acarrean partículas que chocan contra las superficies a alta velocidad y producen un impacto muy fino y daño por abrasión. Por lo general, la superficie desgastada tiene una apariencia granallada o sin brillo.

El desgaste por erosión ocurre en todos los sistemas del motor. Los filtros y los intervalos de cambio de filtros han sido diseñados con el fin de controlar el desgaste por erosión (y el desgaste por abrasión) para mantenerlo dentro de los límites aceptables. Cuando los clientes utilizan filtros de la competencia pueden perder el control de desechos y cuerpos extraños que se logra con los filtros. En consecuencia, se puede producir desgaste por erosión o por abrasión a límites inaceptables.



18 -- Si las piezas se rompen o se aflojan, el desgaste por erosión puede empezar rápidamente. En este ejemplo se rompió el retén del pasador de biela y las piezas flojas erosionaron gravemente el agujero para el pasador de biela. Al estudiar el daño, nótese que la erosión es peor en la parte superior del agujero. Esto se debe a la carga y al movimiento del pistón contra el retén roto (el movimiento descendente del pistón es más violento y súbito que el ascendente).



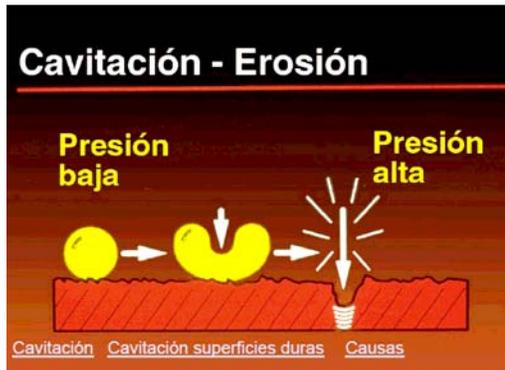
19 -- Aquí vemos un caso de desgaste por erosión producido por la fractura de un anillo de pistón. Nótese nuevamente que el daño es mayor encima del anillo que debajo del mismo. Después de reunir los datos sobre el desgaste debemos estudiar las posibles causas de la fractura del anillo.



20 -- La erosión por cavitación se produce cuando se rompen burbujas gaseosas contra superficies metálicas. Todos los líquidos contienen gases disueltos que forman burbujas en áreas de baja presión. En condiciones anormales de uso se pueden producir más burbujas gaseosas que las previstas. Cuando entran en las áreas de alta presión, las burbujas revientan por la presión produciendo un chorro de fluido que da contra la superficie metálica a velocidades supersónicas. Esto forma a veces grietas finas que se unen entre sí hasta que pequeñas partículas se desprenden dejando el metal con picaduras. Se pueden formar burbujas cuando:

- 1 los líquidos llegan al punto de ebullición;
- 2 los fluidos pasan por las cavidades con mucha rapidez (principio de Bernoulli)
- 3 las piezas se mueven dentro de un fluido, creando áreas de baja presión (Ej. : vibración de una camisa de cilindro) ;
- 4 las presiones estáticas del sistema son bajas (Ej. : tapa de radiador en mal estado, funcionamiento del motor a grandes alturas);
- 5 las restricciones de admisión producen cavitación en la bomba de fluidos;
- 6 las pérdidas en la línea de aspiración dejan entrar burbujas de aire;
- 7 los bajos niveles del fluido producen aeración del mismo.

Estas condiciones son normales en los motores diesel y por lo general ocurren al mismo tiempo. En los sistemas de enfriamiento se usan acondicionadores para crear una capa de protección que impide a las burbujas entrar en contacto con los metales. Al tratar de determinar la causa principal de la erosión por cavitación, es importante recordar estos datos.



21 -- Esta camisa áspera se ha picado por cavitación. Solo una parte de la camisa está dañada. Al desarmarla, vemos que esa parte va entre las camisas. Deberíamos preguntarnos: ¿A cuántas condiciones de uso diferentes se debe la erosión por cavitación de esta camisa?" Para responder, hay que informarse debidamente.



22 -- Los cojinetes usados de un motor suelen estar erosionados por cavitación. La rotación del eje y la presión de los gases en los cojinetes de biela y cojinetes de bancada crean áreas de baja y alta presión (la 3ra. condición mencionada anteriormente). Las zonas de baja presión producen burbujas de vapor y las de alta presión hacen que esas burbujas exploten. Cuando esto ocurre, la superficie del metal sufre un esfuerzo y se desarrollan grietas finas que, una vez unidas, forman "picaduras". Las diferentes aplicaciones de los motores producirán distintos tipos de erosión por cavitación.



23 -- Esa erosión puede dañar las cajas de aluminio de los sistemas de enfriamiento, especialmente si hay restricciones en la succión que reducen la presión y producen cavitación por los fluidos en el rodete de la bomba. Las burbujas se forman del lado de baja presión (succión) y revientan violentamente en el lado de presión alta (descarga).



24 -- Al agrandar esta imagen, vemos una superficie centelleante, picada y como cristalizada, típica del aluminio fundido.



25 -- La fatiga por contacto se produce cuando una superficie se desliza o rueda contra otra, desarrollando un esfuerzo elevado, un movimiento de las superficies y grietas por fatiga en una o ambas superficies. Estos esfuerzos se producen si:

- 1 la carga es excesiva,

- 2 las superficies de desgaste están desalineadas y concentran los esfuerzos normales en un punto, o
- 3 la calidad o cantidad del lubricante no corresponde y la lubricación es deficiente.

Se puede producir desplazamiento de las superficies si las cargas aplicadas son excesivas o si la pieza misma es demasiado débil y no puede aguantar las cargas normales. Los movimientos cíclicos continuos que sobrepasan los límites de las especificaciones de diseño ocasionan grietas, picaduras y descascarillado designados "fatiga por esfuerzos de contacto".

Contacto Tensión Fatiga (Deslizamiento o rodamiento)



- Cargas muy grandes
- Falta de alineación
- Lubricación inadecuada

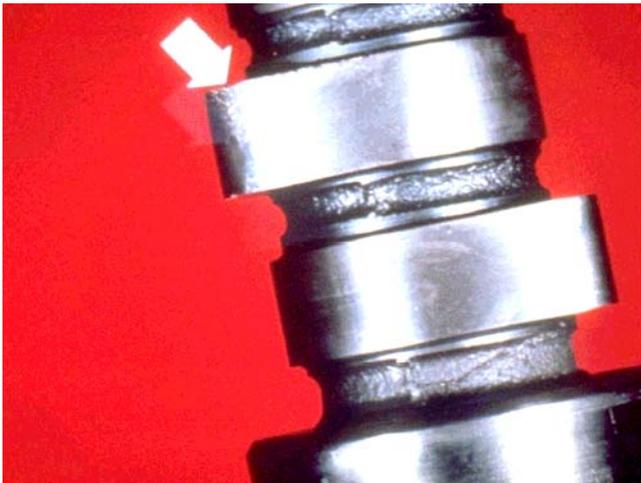
26 -- Si hay contacto por deslizamiento, la carga va en la dirección del deslizamiento y crea un movimiento cíclico de "tira y afloje" en las superficies. Si ese movimiento es demasiado grande, empiezan a formarse grietas que se agrandan hasta picar las superficies. Esta nueva condición crea un esfuerzo mayor, lo que a su vez aumenta las picaduras. Las materias que se desprenden pueden entrar en el sistema de lubricación y producir desgaste secundario por abrasión.



27 -- Si hay contacto por rodamiento, la carga es perpendicular a la superficie, lo cual crea flexión cíclica de la superficie más dura contra el núcleo más blando. Este movimiento de la superficie produce grietas por fatiga entre la superficie y el núcleo. Las grietas se unen y avanzan hacia arriba, a la superficie, dejando que se desprendan pedazos grandes de material y que la superficie se descascarille.



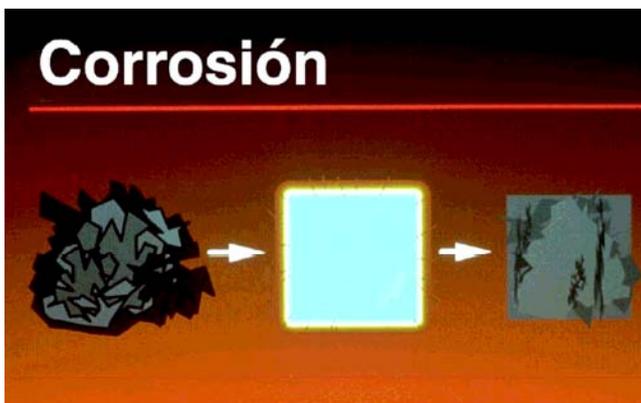
28 -- ¿Qué tipo de carga ocasionó fatiga por contacto en este árbol de levas: rodamiento o deslizamiento? ¿Cuáles podrían haber sido las causas?



29 -- ¿Qué tipo de carga produjo fatiga por contacto en este cojinete: rodamiento o deslizamiento? ¿Cuál podría haber sido la causa?

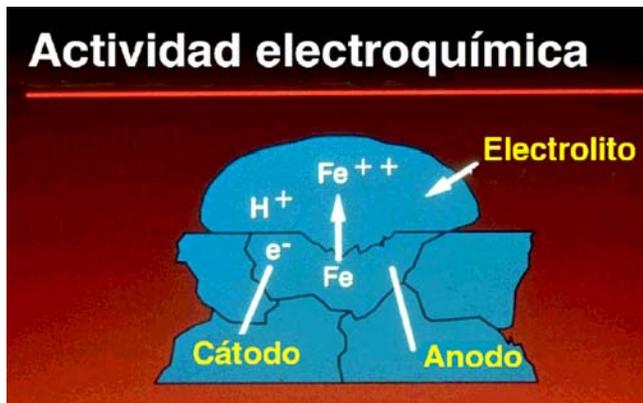


30 -- La corrosión es un cambio químico y representa un deterioro de la superficie metálica. El mineral no afinado es metal oxidado. El mineral se afina para producir metal puro, pero éste es menos estable. Los metales tienen la tendencia a oxidarse nuevamente, es decir a hacerse más estables; eso ocurre cuando están en presencia de un electrolito (solución líquida que tiene elementos químicos eléctricamente positivos y negativos). La corrosión es, por lo tanto, el proceso de volver a un estado oxidado más estable.



31 -- Toda corrosión es de naturaleza electroquímica. La actividad electroquímica requiere la presencia de un cátodo (área menos activa del metal) y un ánodo (área más activa) rodeados por un electrolito. Estos son los mismos componentes básicos de las baterías que usamos todos los días.

Las superficies metálicas pueden tener numerosas áreas anódicas y catódicas, debido a las impurezas o imperfecciones de la estructura granular del metal. Durante la corrosión, el metal anódico pasa al electrolito donde se combina con oxígeno para formar óxidos metálicos. En este proceso se desprende hidrógeno que se acumula en el cátodo protegiéndolo contra la remoción de metal. Esta actividad continúa hasta que quedan destruidas las áreas anódicas o hasta que se saca el electrolito.



32 -- Mencionemos a continuación algunos de los numerosos tipos de corrosión:

- 1 corrosión general, donde un metal se expone a un electrolito;
- 2 corrosión galvánica donde dos metales diferentes están presentes dentro de un electrolito;
- 3 por alta temperatura, donde la superficie caliente del metal está expuesta al aire y se oxida.



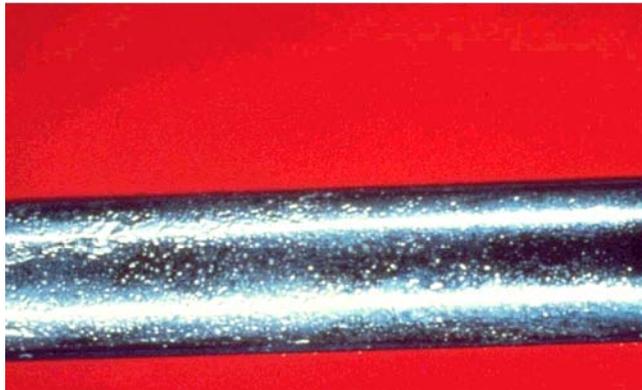
33 -- Corrosión general: se produce cuando un electrolito entra en contacto con el metal. Aquí, las gotitas de agua que permanecieron en la superficie de la biela eran el electrolito. La superficie debajo de cada una de ellas se ha corroído (oxidada).



34 -- Observando con una lupa, vemos que hay picaduras. Podemos quitar el óxido de la superficie pero no podemos restaurar la superficie a su condición original. Estas picaduras pueden ser extremadamente perjudiciales en las áreas que soportan cargas altas.



35 -- La actividad del electrolito puede aumentar en presencia de ácidos. La parte inferior del vástago de esta válvula se picó considerablemente al aumentar el nivel de ácido sulfúrico del electrolito. A continuación, debemos obtener datos sobre las condiciones que permiten este exceso de ácidos; condiciones tales como combustible o aceite inapropiados, intervalos largos entre cambios de aceite o bajas temperaturas del refrigerante.



36 – Algunos metales son más activos que otros; en presencia de un electrolito, la corrosión empezará por el metal más activo (ánodo). Este proceso se denomina corrosión galvánica. Una serie galvánica representa una lista de metales clasificados de mayor a menor actividad. Aquí vemos la serie galvánica para los metales en electrolito de agua de mar.

Si se atornilla una pieza de aluminio a una caja de hierro fundido y ambas están en contacto con el agua de mar, la pieza de aluminio se convierte en ánodo y se corroe.

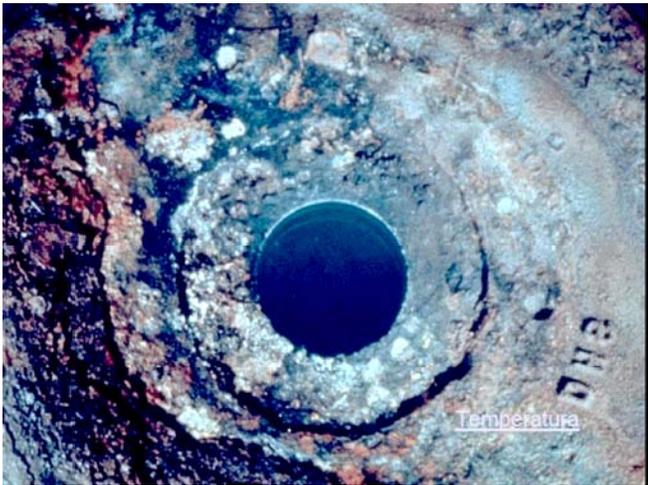
Series galvánicas en agua salina

Anodo (+)	<ul style="list-style-type: none"> ● Zinc ● Aluminio ● Acero ● Hierro fundido ● Acero inoxidable ● Bronce ● Niquel ● Oro ● Plata
Cátodo (-)	

37 -- En esta imagen vemos un tubo de un enfriador de aceite, donde el ácido del aceite aceleró la corrosión, picando el cobre debajo de un deflector de acero. Este tubo va colocado en una sección de poco flujo del enfriador. Parece que ha habido una combinación de corrosión general (por el ácido) y corrosión galvánica (por el deflector de hierro y el tubo de cobre).



38 -- A temperaturas elevadas los átomos de un metal se mueven con más rapidez y, en consecuencia, los átomos de oxígeno se mezclan mejor y se combinan más fácilmente con los del metal. Este protector antitérmico de turbo alimentador está profundamente picado y descascarado debido a la corrosión por alta temperatura.

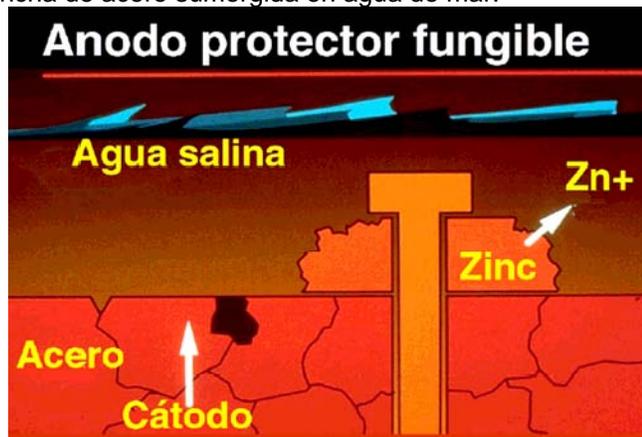


39 --Como protección contra la corrosión:

- 1 Evitar el contacto con electrólitos
- 2 Evitar el paso de corrientes eléctricas entre los metales y los electrólitos
- 3 Pintar o revestir los metales
- 4 Usar aleaciones metálicas
- 5 Hacer que el ánodo sea mayor que el cátodo
- 6 Usar ánodos de sacrificio (uniendo físicamente a un ánodo existente un metal nuevo más activo para transferir la corrosión a ese metal nuevo).



40 -- Cuando se utilizan ánodos de sacrificio, ambos metales (por ejemplo el acero de una estructura de un barco y el ánodo de sacrificio) están en contacto con el electrolito. A medida que hay corrosión, el ánodo se cambia periódicamente. Aquí vemos un ánodo de sacrificio de zinc protegiendo a una plancha de acero sumergida en agua de mar.



41 -- El último tipo que vamos a estudiar se denomina desportillamiento por rozadura. Se produce cuando dos piezas que deben casar exactamente tienen cierto espacio para moverse, produciendo una soldadura por resistencia en las pequeñas irregularidades de la superficie. El movimiento continuo hace que se desprendan pequeños trozos de cada superficie. Estos trocitos se corroen y forman óxidos de un color marrón rojizo. De vez en cuando esos óxidos se depositan en una de las superficies en acumulaciones duras de forma irregular. Esta acumulación a menudo interfiere con los espacios libres de las piezas nuevas durante los reacondicionamientos o puede provocar picaduras en los puntos de altos esfuerzos. Por esto, antes de instalar piezas nuevas, es importante inspeccionar las piezas usadas y ver si hay desportillamiento por rozadura o si tienen

acumulaciones de óxido.



42 -- Este perno de biela muestra un caso típico de desportillamiento por rozadura. Noten las picaduras y la formación de polvo de óxido color marrón rojizo.



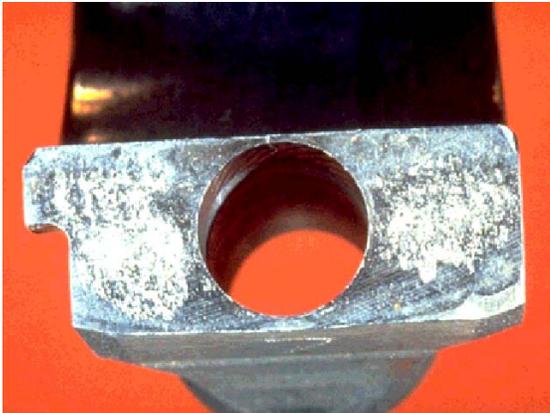
43 -- Los sujetadores flojos permitieron movimiento entre la tapa y la biela y dejaron separadas las dos mitades del cojinete (por falta de presión) permitiendo que el cojinete se moviera dentro de su asiento en la biela. Aquí el daño más grave se produjo en la tapa de la biela y en la biela misma.



44 -- La inspección de la biela con una lupa indica que se produjo soldadura por resistencia de asperezas y que se desprendieron trozos de material.



45 -- Se debe hacer siempre una inspección de las superficies que casan cuando encontramos desportillamiento por rozadura. Sólo así podemos darnos una idea completa del daño para asegurarnos de que no haya acumulación de óxido en ninguna parte. La inspección minuciosa es particularmente importante si estamos considerando el reacondicionamiento del producto sin volver a labrar las áreas críticas.



46 -- Si se produce desportillamiento por rozadura en áreas que soportan mucha carga, como en el caso de esta bancada, se debe descartar la pieza o reacondicionarla antes de volver a usarla. Cuando se efectúa un reacondicionamiento en el bastidor y las bancadas no se pueden examinar visualmente por no haberse desmontado, se puede examinar la cara posterior de los cojinetes usados para ver si muestra evidencia de desportillamiento por rozadura. Si hay evidencia puede ser necesario desarmar y examinar más componentes.



47 -- Si reutilizamos piezas dañadas, pueden terminar fracturándose. Esta tapa de cojinete se rompió porque tenía picaduras profundas, ocasionadas por desportillamiento por rozadura en el área donde las cargas son más elevadas.



48 – El perno de esta biela se dañó a causa del desportillamiento por rozadura que produjo picaduras en el área de mayor carga. Si se vuelve a utilizar un perno en esta condición, puede producir una falla importante.



49 -- Aquí vemos un perno como el anterior que se reutilizó teniendo desportillamiento por rozadura. El perno se fracturó a las pocas horas del reacondicionamiento y causó la destrucción total de un motor.



50 -- Aquí se ven varias picaduras, pero la que causó la fractura del perno es la señalada por la flecha. En la sección siguiente, sobre fracturas, veremos cómo la picadura puede debilitar el perno y causar la falla.



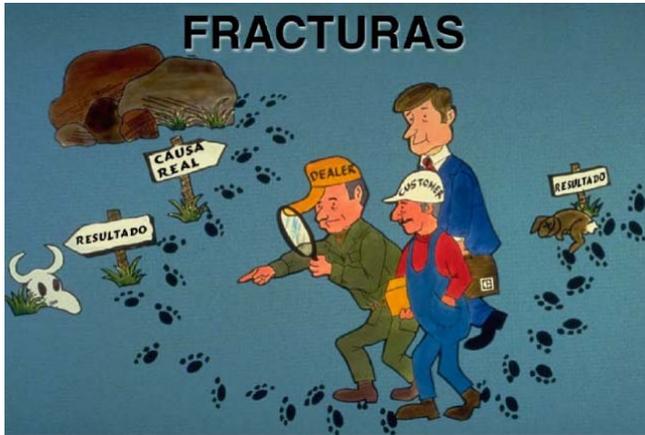
51 -- Si comprendemos bien los tipos de desgaste y su apariencia, a medida que obtenemos y evaluamos los datos podemos reconocer los problemas e identificar las causas más rápidamente. Necesitamos recordar que hay que verificar las condiciones ambientales y hacerse la pregunta de la doble verificación: ¿Es posible que la falla haya sido causada por otro miembro del equipo? Después de todas estas verificaciones estamos en condiciones de identificar el origen del problema. ¿Termina allí nuestra tarea?



52 -- Después de haber determinado lógica y sistemáticamente la causa más probable, no debemos olvidar los pasos 6, 7 y 8 aplicables al Análisis de Fallas. Estos pasos nos ayudan a OBTENER LA RECOMPENSA! permitiendo que nos comuniquemos con el miembro del equipo responsable de la falla, que hagamos las reparaciones según instrucciones de la parte responsable y que continuemos en contacto con el cliente para asegurarnos de que ha quedado completamente satisfecho.

PRINCIPIOS BÁSICOS DE FRACTURAS

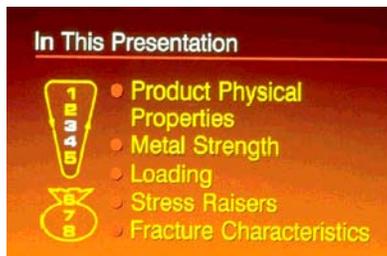
1 -- ¡Bienvenidos! Estudiaremos las características de las fracturas y las condiciones que las producen. Los productos se diseñan para no romperse durante su vida útil, siempre y cuando las cargas sean normales. Las roturas se deben, por lo general, a condiciones de uso anormales más que a fallas de diseño, materiales o procesos. Por las características de las fracturas, se puede determinar si las causas están en los materiales o en las condiciones de uso. Esto nos llevará directamente a las áreas específicas donde encontraremos la información necesaria para el análisis.



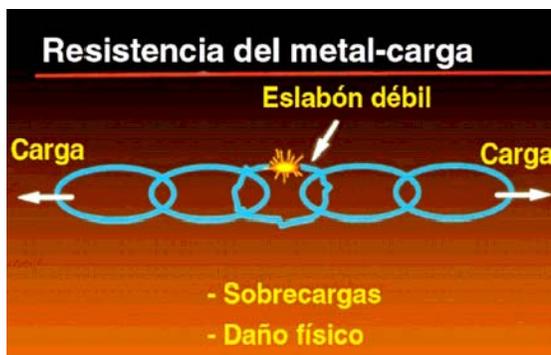
2 -- Para facilitar el análisis de fracturas, es conveniente seguir un procedimiento similar al denominado "Ocho pasos aplicables al análisis de fallas". Este método nos ayuda a encontrar una perspectiva adecuada, a buscar datos con cierta lógica, a determinar con mayor rapidez las causas principales y a establecer mejores relaciones con los clientes.



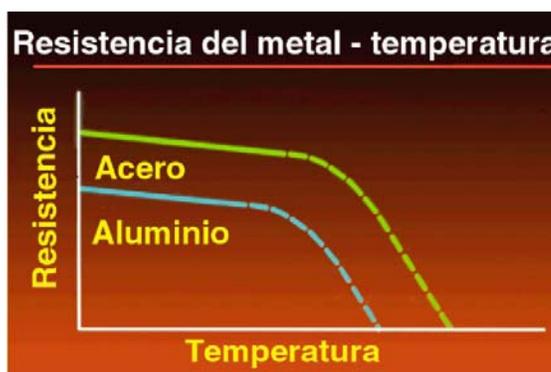
3 -- En esta sección estudiaremos las condiciones que influyen en el desarrollo de fracturas. Analizaremos además las características físicas de los productos, por ejemplo la dureza y la resistencia, y los diversos factores que pueden iniciar una fractura, por ejemplo, las cargas, los concentradores de esfuerzos y la temperatura. Asimismo hablaremos de la rapidez con que se desarrollan las fracturas en el metal y de las características que nos ayudan a clasificarlas.



4 – Para entender mejor como se producen las fracturas, es necesario tener algún conocimiento de la resistencia de los metales y de las cargas que se les aplican. Las piezas están diseñadas para tolerar sin romperse las cargas especificadas. Las fallas pueden producirse al aumentar esas cargas o al dañarse las piezas (por ejemplo, por escopladuras, picaduras o ranuras creadas por desgaste, sobrecalentamiento). Se dice que “la cadena se rompe por el eslabón más débil”.



5 -- Al observar la relación entre la temperatura y la resistencia del acero y del aluminio, comprobamos que a medida que la temperatura sube, la resistencia baja; este proceso, que al comienzo es lento, se desarrolla luego más rápidamente. Aunque otros metales pueden tener características diferentes, lo cierto es que todos pierden su resistencia con el aumento de temperatura. Un sobrecalentamiento puede producir este tipo de perdida y ocasionar la falla de las piezas aun si las cargas responden a las especificaciones.

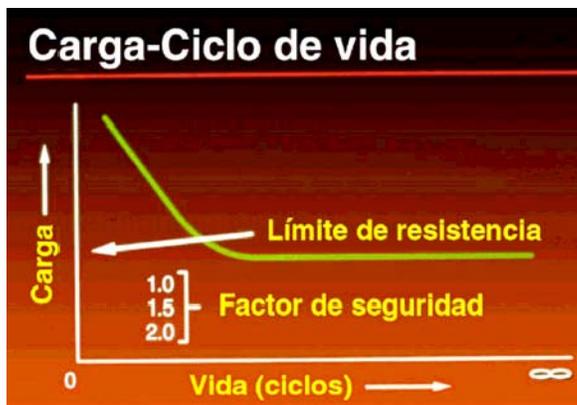


6 -- La rotura de este cojinete produjo temperaturas superiores a 817 °C (1.600 °F). En consecuencia, la biela perdió tenacidad y se despedazó. El vástago de la biela se oxidó durante el sobrecalentamiento y cuando se enfrió los óxidos produjeron varios colores. El azul, amarillo y gris pálidos y el azul oscuro nos indican que las temperaturas fueron de 260 °C a 650 °C (500 °F a

1.200 °F). Si se hubieran pasado los 650 °C, se habría producido un óxido color negro. En las piezas de acero o fundición, la presencia de óxidos color azul oscuro o negro indica que las temperaturas fueron extremadamente elevadas.



7 -- Los diseños de Caterpillar siempre se conciben para tolerar cargas más grandes que las especificadas; de este modo los productos se gastan, pero no se rompen. Esta gráfica muestra la carga especificada para un material y el número de ciclos de carga que se le aplicó. Noten que si la carga aplicada es inferior al límite de aguante (es decir, la carga máxima que nunca producirá fracturas por fatiga), la pieza no se romperá. Pero si la carga es superior a ese límite, la fractura será inevitable. Si la carga es sólo de la mitad del límite de aguante, el factor de seguridad del material es dos. Ese factor se reduce, sin embargo, con todo aumento de una carga o daño del material. Los productos de Caterpillar tienen factores de seguridad muy amplios, para compensar los defectos normales de los materiales, los problemas de fabricación y los de uso.



8 -- Cuando se rompen las piezas, la superficie de ruptura tiene características determinadas. A veces esas características son más visibles en una cara. Antes de estudiarlas, veamos cinco términos básicos relacionados con las fracturas:

- 1 Concentradores de esfuerzos: son irregularidades físicas (por ejemplo, grietas, ranuras, picaduras, defectos) que se presentan en la superficie o el interior de una pieza y que incrementan los esfuerzos ya existentes.
- 2 Puntos de iniciación: son los lugares donde empiezan las grietas o donde comienza a romperse el material. Con frecuencia los puntos de iniciación y los concentradores de esfuerzos coinciden.
- 3 Fractura final: es el lugar donde termina la grieta o la última parte donde se rompe el material.

- 4 Las cargas por impacto o sobrecargas producen fracturas rápidas, por lo general ásperas al tacto y que son el resultado de otro factor.
- 5 Las cargas cíclicas excesivas o la reducción de resistencia de la pieza producen fracturas lentas, por lo general suaves al tacto y que se asocian con la causa principal.

Términos básicos

- Concentraciones de esfuerzo (Irregularidades físicas)
- Sitio de inicio (Inicio)
- Sitio de fractura (Final)
- Fractura rápida (Quebradizo, Ductil)
- Fractura lenta (Fatiga)

9 -- Esta fractura empezó lentamente y fue creciendo desde abajo hacia arriba, donde está el agujero. Eso redujo la resistencia de la pieza y con cada nuevo ciclo se sobrecargó el metal, incrementando la velocidad de la rotura. Noten la textura áspera que tiene la parte de la fractura rápida.



10 -- Los concentradores de esfuerzos reducen la resistencia de una pieza, porque reúnen todos los esfuerzos en esa área y crean de este modo una sobrecarga localizada. Ese aumento varía de un 1,5 en las ranuras redondas a un 3,0 en las que tienen forma de "V" y pueden sobrepasar un 8,0 en las grietas superficiales. En términos generales, cuanto mayor sea el ángulo más grande será la concentración.



11 -- A continuación tenemos algunos ejemplos de concentradores de esfuerzos producidos por:

- 1 filetes, agujeros o ranuras que son demasiado angulares,
- 2 defectos importantes en los materiales como inclusiones grandes, oquedades y grietas,
- 3 fallas de manufactura, como pliegues de forja, grietas producidas durante el enfriamiento o por la muela,
- 4 abusos (por ejemplo: rayaduras, muescas, escopladuras) Y
- 5 cualquier otro desgaste que cree un concentrador de esfuerzos.

El “eslabón más débil de la cadena” son los concentradores de esfuerzos, ya que por lo general indican el punto de iniciación de la falla.

Ejemplos de concentración de esfuerzos	
Geometría	Manufactura
● Arista	● Depresiones de forjado
● Orificio	● Fisuras por templado
● Muecas	● Fisuras por rectificado
Defectos del metal	Abuso
● Inclusiones	● Rayones
● Huecos	● Cortes
● Fisuras	● Estrías

12 -- Las cargas son de tres tipos:

1. Las carga por impacto
 2. Sobrecarga
 3. Carga cíclica
- Las fracturas también pueden clasificarse en:
1. Frágiles,
 2. Dúctiles,
 3. Por fatiga

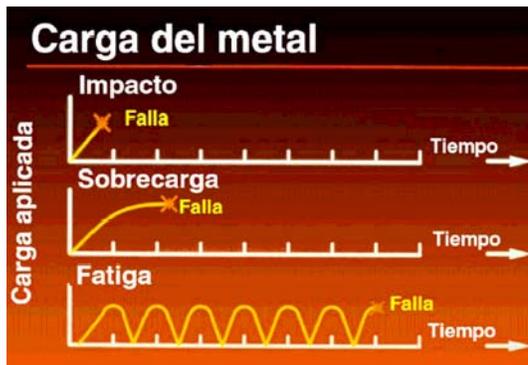
Las cargas por impacto y las sobrecargas producen fracturas rápidas, frágiles o dúctiles, con una superficie de ruptura áspera, que por lo general es resultante y no causante de la falla. Las cargas cíclicas producen fisuras lentas, por fatiga, con superficie de ruptura lisa, que se inician en los concentradores de esfuerzos y se asocian generalmente con las causas de la falla. Cuando decimos que las fracturas son “frágiles” o “dúctiles” no nos estamos refiriendo a las propiedades de los materiales; son términos establecidos por el uso, pero que no tienen nada que ver con el tipo de material.

Carga	Concentración esfuerzos	Fractura
Impacto-sobrecarga	Ninguno	Quebradiza/dúctil <ul style="list-style-type: none"> ● Rápida ● Dura ● Resultado
Ciclo	Presente	Fatiga <ul style="list-style-type: none"> ● Lenta ● Suave ● Asociada con causa real

13 -- Las cargas por impacto se deben al uso inadecuado de los equipos o a la falla de un componente que choca súbitamente con la pieza. Eso produce cargas extremadamente altas que

se aplican casi en forma instantánea en lugares no diseñados originariamente para recibirlas. La fractura puede ser frágil o dúctil, dependiendo de la dureza de la pieza, la temperatura, el índice de carga, etc. Volveremos sobre esto dentro de unos minutos. Por ejemplo, la carga por impacto se produce cuando un pistón se atasca y se rompe. La biela golpea la camisa y el bloque y crea cargas por impacto muy grandes que la pieza no puede tolerar.

Por lo general, las sobrecargas son cargas adicionales que se deben al uso inadecuado de los equipos, a un mal funcionamiento del sistema o a una falla en alguno de los componentes. Por ejemplo, si un perno de biela se rompe, el otro tiene que sustentar toda la carga, sobrecargándose y produciendo un estiramiento, con rotura final. Aquí también la fractura puede ser frágil o dúctil. Las fisuras por sobrecarga tardan más tiempo en producirse que las provenientes de los impactos. Por lo general, las cargas cíclicas no producen ninguna fractura si se mantienen dentro del límite establecido o si no hay concentradores anormales de esfuerzos como radios de rosca muy pequeños, fallas serias de los materiales o grietas creadas por los procesos. En esas condiciones, las cargas cíclicas pueden iniciar grietas por fatiga después de muchos ciclos. Con frecuencia se requieren cientos de miles o millones de cargas cíclicas para producir fracturas por fatiga. Por eso se las denomina grietas lentas.



14 -- Tal como se mencionó, las cargas por impacto y las sobrecargas pueden causar fracturas frágiles o dúctiles. Este cuadro muestra que las frágiles ocurren por lo general en los materiales duros y las dúctiles en los blandos. Las frágiles se producen con más frecuencia cuando baja la temperatura. Si la concentración de esfuerzos es mínima o inexistente, es más probable que se produzca una fractura dúctil. Con cargas excesivas, típicas de los impactos o choques, por lo general se dan fracturas frágiles. Hay otros factores que influyen en el tipo de roturas, pero estos son los más comunes y lo que se afirma sobre ellos son generalizaciones; recordemos, sin embargo, que siempre existen excepciones.

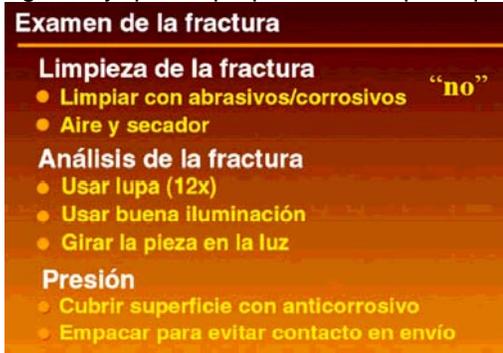
Factores que afectan las fracturas	
Fractura quebradiza	Fractura dúctil
● Dureza media-alta	● Dureza media-alta
● Temperatura baja	● Temperatura alta
● Esfuerzo alto concurrente	● Esfuerzo bajo concurrente
● Grado de carga alta	● Grado de carga baja

15 --La superficie de ruptura debe limpiarse bien antes del análisis, para poder determinar claramente las características de la fractura. Tendríamos que evitar métodos abrasivos o

corrosivos de limpieza porque pueden eliminar las claves que buscamos. Los solventes como el Stanisol y el Freón sacaran el aceite y los deshechos sin dañar la superficie de ruptura.

Después de secar la fractura con aire, se la debe estudiar utilizando una lupa y buena iluminación. Para ver mejor la superficie tridimensional, conviene hacer rotar la fractura a la luz y cambiar de posición las sombras.

Después de terminado el análisis, debemos proteger las superficies de ruptura con aceite, grasa o cualquier anticorrosivo similar, para que no se deterioren. Si la pieza rota necesita enviarse a otro lugar, hay que empaquetarla bien para que no se rompa durante el transporte.



Examen de la fractura

- Limpieza de la fractura**
 - Limpiar con abrasivos/corrosivos “no”
 - Aire y secador
- Análisis de la fractura**
 - Usar lupa (12x)
 - Usar buena iluminación
 - Girar la pieza en la luz
- Presión**
 - Cubrir superficie con anticorrosivo
 - Empacar para evitar contacto en envío

16 -- Las fracturas frágiles se consideran resultados, no causas, y se desarrollan muy rápidamente (se quiebran en una fracción de segundo), son cristalinas (se quiebran a lo largo de los contornos o a través del grano sin cambiarle la forma), son ásperas al tacto y tienen escasas deformaciones plásticas (si juntamos las dos partes, la pieza tendrá el aspecto original). Si una fractura frágil se produce en materiales labrados, al hacerla rotar a la luz, la superficie brillará y centelleará, como los diamantes. Los metales más blandos tienden a formar chevrones cuyos vértices indican el punto de iniciación. Los materiales más duros rara vez forman chevrones. Si una fractura frágil se produce en materiales fundidos, la superficie es opaca y oscura. Casi nunca tienen chevrones y, por eso, es extremadamente difícil determinar el punto de iniciación.



Características de la fractura quebradiza

- Rápida
- Cristalina
- No hay deformación plástica

Fractura Frágil

	Metales fraguados <ul style="list-style-type: none">● Muchos chevrones● Brillante
	Metales fundidos <ul style="list-style-type: none">● Pocos chevrones● Opaco

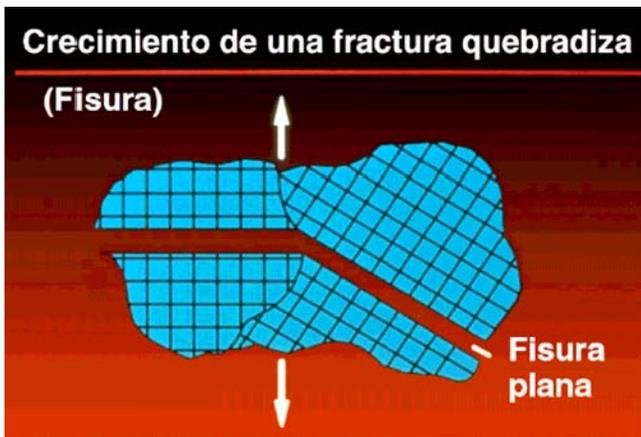
17 -- Esta pieza de fundición recibió un golpe y se rompió (carga por impacto y fractura frágil). La superficie de ruptura es áspera, cristalina y no tiene chevrones que indiquen donde empezó la grieta.



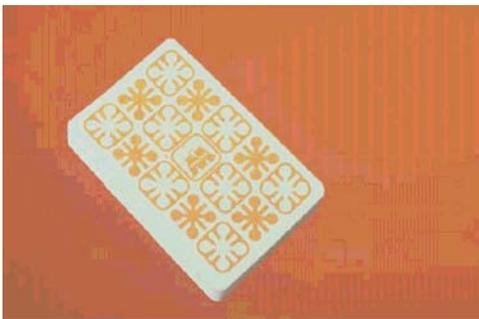
18 -- Esta pieza de acero labrado también recibió un golpe y se rompió (carga por impacto y fractura frágil). Noten que los chevrones son visibles e indican el punto de iniciación. La superficie de ruptura es áspera, brillante y centelleante.



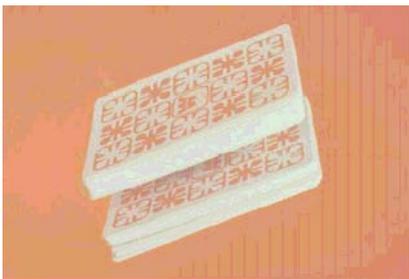
19 -- Las fracturas frágiles crecen entre las caras de las células produciendo una hendidura dentro de los granos o a lo largo de sus contornos. Cuando la grieta ha recorrido un grano, atraviesa el contorno y comienza a hundirse en el grano siguiente. Esto se realiza muy rápidamente hasta que el metal se "rompe". Dado que las caras de las células se distinguen muy bien, no se produce una deformación plástica (las dos partes de la pieza rota encajarán y la pieza tendrá la apariencia original, excepto que está agrietada) y la superficie de ruptura tiene granos paralelos a la cara (cristales), que reflejan la luz, produciendo el centelleo mencionado.



20 -- Usemos una baraja para ilustrar este tipo de fractura. Sabemos por experiencia que las barajas tienen muchos naipes o cartas. Los metales se asemejan a las barajas porque están compuestos de granos o cristales y cada uno de ellos, como las cartas de una baraja, contiene miles de capas de células bien organizadas.



21 -- Cuando cortamos los naipes, tal como se ve en esta figura, tenemos una separación entre las caras de las cartas. Cuando golpeamos una pieza de metal violentamente, es posible que las capas de células dentro del grano se separen de la misma manera. Si juntamos las dos partes de una fractura frágil, la pieza tendrá el aspecto original, excepto donde se ha roto.



22 -- Aquí tenemos una vista aumentada de una fractura de pistón. Rara vez se encuentran chevrones en las fracturas frágiles de metales fundidos, pero en este caso sí las hay y se extienden hacia arriba, partiendo del agujero para el pasador. Esas chevrones nos indican que el pistón se rompió con una carga por impacto y que la grieta empezó en la cara del agujero.



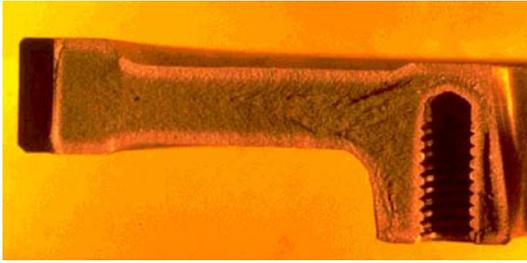
23 -- Este es un diente de engranaje de mando final de un Da. El tractor se transportaba en un remolque de plataforma baja, cuando ocurrió un accidente y el tractor cayó al fondo de una barranca rocosa. La carga por impacto produjo una fractura frágil en la raíz del fondo del diente con chevrones hacia la raíz del diente opuesto. La sección cementada no formó chevrones en el punto de iniciación de la grieta.



24 -- Este engranaje de motor se rompió a los seis meses de haberse entregado. El representante pensó que el perno central de retención había sido sobre apretado en la fábrica y que a eso se debía la grieta, o que el engranaje no era lo suficientemente resistente para tolerar las cargas normales.



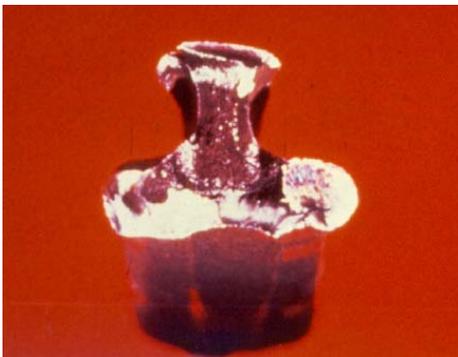
25 -- Al agrandarlos e iluminarlos mejor, los detalles se hacen más visibles. ¿Qué tipo de fractura se produjo? ¿Dónde comenzó la fractura? ¿Cómo es posible saber que empezó allí?



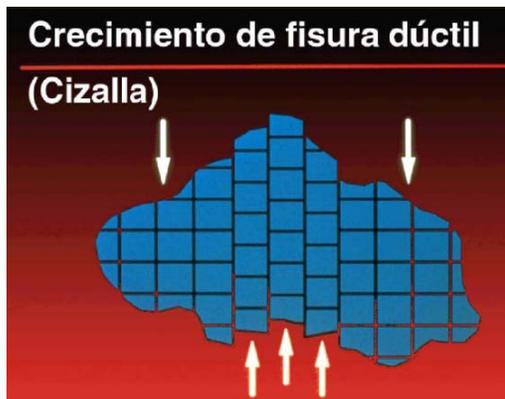
26 -- Las fracturas dúctiles son por lo general resultantes y no causantes; y se deben a sobrecargas. Son fracturas rápidas, pero se producen más lentamente que las frágiles. La superficie de ruptura es áspera y leñosa (como una rama de árbol cuando se rompe), con deformación plástica (la forma y el tamaño de la pieza ha cambiado) y con labios cortantes (las aristas exteriores de la fractura sobresalen). Dado que la superficie es muy irregular y áspera, la luz que refleja es difusa (dispersa) y por lo tanto la fractura parece oscura.



27 -- Esta sección de biela se rompió por estar sobrecargada. Al examinar la fractura, vemos la superficie áspera y oscura de una fractura dúctil en el centro y con labios cortantes alrededor de los bordes. Vemos también algunas áreas donde el daño por impacto fue menos importante, pero destruyó en diferentes lugares la superficie original de la rotura. Este corte que se produce después de la fractura deja una superficie sedosa y sin características visibles, que no debe confundirse con una superficie de rotura.



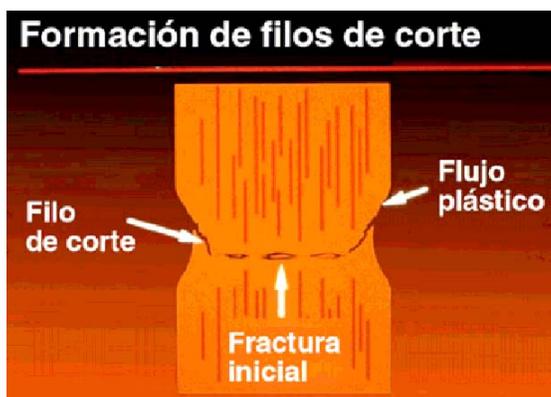
28 -- Las grietas dúctiles producen una fuerza cortante dentro de los granos. Las capas de células se deslizan, alargando y deformando los granos. A causa de esto se modifica la forma y se habla de "deformación plástica" (cambio permanente de tamaño y forma).



29 -- Podemos volver a usar la baraja para ilustrar la fuerza cortante que ocurre en las fracturas dúctiles. Las capas de células que existen dentro de los metales pueden, como los naipes, deslizarse en distintas direcciones, modificando el tamaño y la forma del metal.



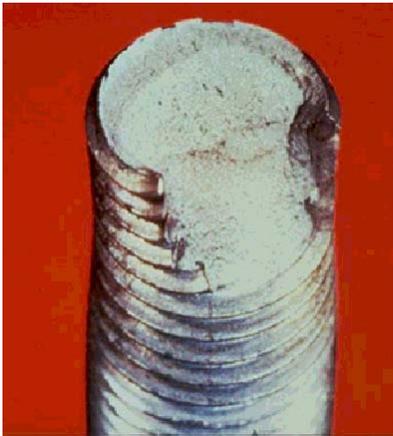
30 -- En los casos de sobrecarga, la fuerza cortante de los granos continúa hasta formar grietas pequeñas en el centro de la pieza. Estas grietas se agrandan y llegan a unirse; de allí surge la apariencia áspera y "leñosa". El metal de los bordes, todavía sin fallas, termina por romperse a unos 45° y crea un gran labio cortante.



31 -- Este perno se rompió en una máquina de pruebas de tensión, al ponerle una cuña debajo de la cabeza. Noten que el eslabón más débil de la cadena se halla en el fondo de rosca del perno, donde se produce la concentración de esfuerzos. El labio cortante es grande y está descentrado por la carga descentrada debida a la cuña.



32 -- Una inspección más minuciosa con una lupa revela que la textura de la superficie es áspera y leñosa y que el labio se extiende por detrás de la fractura. En esta diapositiva, la superficie no es oscura porque para la fotografía fue necesario usar luz extremadamente brillante.



33 -- Este perno de biela se rompió en el vástago y tiene un color muy oscuro. La fractura indica gran deformación plástica (el área de la sección transversal está reducida o "rebajada"), y la superficie de la ruptura es áspera, leñosa y contiene, además, un labio cortante grande. La apariencia oscura, áspera y leñosa de la fractura, además de la deformación plástica y del labio cortante indican que:

- 1 La grieta es dúctil y rápida;
- 2 Resulta de una sobrecarga (por eso es necesario determinar la causa de esa sobrecarga).



34 -- Las fracturas por fatiga se producen cuando las cargas cíclicas afectan a los concentradores de esfuerzos. El metal no es capaz de tolerar las fuerzas localizadas en los granos de dicho concentrador y forma una grieta. Esta crece lentamente, dejando marcas semicirculares como las de unas "marcas de playa". Por lo general, la superficie de la ruptura es plana, lisa y de color claro. (Las líneas de interrupción muy similares a este "marcas de playa" se dan a veces en fracturas dúctiles, cuando éstas se producen con muy pocas aplicaciones de carga. Sin embargo, en estos casos la superficie no es plana y lisa, sino áspera y leñosa.) Es muy importante aprender a determinar las fracturas por fatiga, ya que, como mencionamos, éstas son causantes, mientras que las frágiles y dúctiles son, por lo general, resultantes.



35 -- El punto de iniciación de la grieta puede estar dentado, lo cual indica que las cargas son muy elevadas o que el concentrador de esfuerzos es muy grande. Este tipo de indicios sugiere varios puntos de iniciación y el desarrollo hacia adentro de las grietas hasta formar una fisura de un solo frente. La grieta aumenta con cada carga cíclica hasta que se produce un cambio de carga y de este modo forma "marcas de playas" o "líneas de interrupción" visibles. Si no hay una modificación de la carga, esas "olas" no se forman. Dichas marcas de playa nos lleva al punto de iniciación, como cuando tiramos una piedra en el agua y se van formando círculos alrededor del lugar donde cayó la piedra. Eventualmente la pieza se debilita demasiado para sustentar la carga y se produce la fractura final, que puede ser frágil o dúctil. Noten que es posible que se forme un labio cortante pequeño, si la fractura final es dúctil.



36 -- Esta fractura por fatiga contiene unas “marcas de playa” visible que se aparta del punto de iniciación y una rotura final frágil, indicada por los chevrones que salen a partir de la última “ola”.



37 -- Mirando detenidamente el origen, comprobamos que hay marcas dentadas en el punto de iniciación, indicando la presencia de un gran esfuerzo o de severas concentraciones de esfuerzos.



38 -- Mayor amplificación del sitio de iniciación nos ayuda a buscar pre grietas u otros concentradores de esfuerzos que pueden haber sido la causa principal de la fractura. Aquí no hay concentradores de esfuerzos visibles, pero vemos unas "marcas de playa" típica en diferentes planos separados por marcas dentadas. Esto confirma la presencia de grietas internas múltiples.



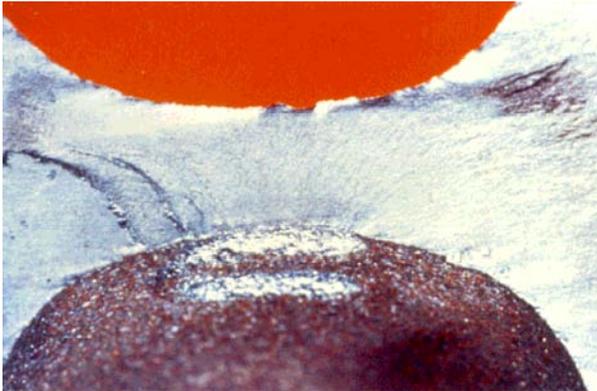
39 -- Siempre es mejor mirar los dos lados de la fractura, ya que ambos pueden darnos claves. Aquí hemos agrandado la parte que encaja con la fractura anterior, pero todavía es difícil encontrar los concentradores de esfuerzos. Esto nos lleva a tomar datos sobre la carga aplicada a la pieza y a determinar si las cargas excesivas en el eje pudieron ser el resultado de desalineación o de otra condición.



40 -- ¿Qué tipo de fractura se produjo en esta biela? (Por fatiga) ¿Dónde se inició? (En el área central inferior) ¿Dónde se produjo la fractura final (A ambos lados) ¿Qué produjo la grieta? (Es imposible verlo en esta diapositiva -- es necesario agrandar la vista del punto de iniciación).



41 -- La imagen agrandada indica que la grieta comenzó en la base de una letra de identificación forjada en la biela. Si la carga era normal, la causa principal se debió a un problema de proceso. En este caso, el forjador colocó dos letras de identificación a poco espacio una de otra, produciendo así un pliegue en el metal y creando un concentrador de esfuerzos.



42 -- Este eje se rompió con una fractura por fatiga que comenzó en la parte inferior central. Las "marcas de playa" indican que la grieta se desarrolló a ambos lados y que la fractura final se produjo en la parte superior.



43 -- Al agrandar el punto de iniciación, comprobamos que el concentrador de esfuerzos era una ranura situada en la parte exterior. Comparando la pieza rota con una nueva o con una que haya sido bien utilizada, podremos ver si la ranura había sido diseñada o si se debía al desgaste. Si es esto último, será necesario determinar la causa del desgaste. Pero si la ranura había sido

diseñada, habrá que examinar la alineación y las cargas antes de culpar a la pieza.



44 -- ¿Qué tipo de fractura se produjo en este perno? (La limpieza con glass bead destruyó muchas claves, pero la superficie plana y lisa nos lleva a pensar que se trata de una fractura por fatiga). Hay que tener mucho cuidado de no limpiar las fracturas con agentes abrasivos o corrosivos, porque éstos destruyen numerosas claves sobre los puntos de iniciación y concentración de esfuerzos.



45 -- Las fracturas por fatiga que rompen los ejes giratorios se denominan “por fatiga de flexión giratoria”. Cuando los esfuerzos son bajos, este tipo de fractura avanzará lentamente a lo largo del eje y lo romperá en el punto directamente opuesto al lugar de iniciación.

Con esfuerzos elevados, la fractura por fatiga se desarrolla más rápidamente en la superficie que en la sección transversal y las “marcas de playa” son cóncavas al llegar a la rotura final que se produce dentro del eje. Las marcas dentadas y las “marcas de playa” abundante determinan el punto de iniciación. La fractura final está rodeada de olas espaciadas y no tiene marcas dentadas. Es muy común que se atribuya la falla a una fractura final, porque tiene la apariencia de un enorme defecto interno del material.



46 -- Este eje pertenece a una bomba hidráulica de paletas. Después de 350 horas de operación se rompió en la parte posterior del cojinete de bolas doble. Era el tercer eje que se rompía más o menos en el mismo número de horas. La causa original no se había determinado y los nuevos ejes seguían rompiéndose. ¿Por qué? ¿Por dónde empezamos a analizar el problema?



47 -- Empecemos con un examen ocular de las dos superficies de ruptura. Vemos que el eje tiene una fractura por fatiga (hay "marcas de playa" y la superficie es plana y lisa). También vemos que la fractura final progresa hacia el centro.



48 -- Al observar la fractura con una lupa, vemos que la grieta comenzó en la parte inferior y que terminó dentro de la parte superior del eje. Las "marcas de playa" nos sugieren que estudiemos el punto de iniciación minuciosamente.



49 -- Para determinar cuál es el concentrador de esfuerzos, encajamos las dos partes de la pieza y buscamos las ranuras, muescas o cualquier otra irregularidad (Ahora es el único momento de la inspección en que se deberían encajar las superficies de las fracturas; de lo contrario esto debe evitarse).

Aquí se ve que la concentración de esfuerzos se ha dado en una ranura rectangular. La fractura por fatiga empezó en una de las esquinas donde la concentración era de un 3,0. Se determinó que la causa principal era una ranura innecesaria. Se hicieron nuevos diseños sin esa ranura y las fallas quedaron eliminadas.



50 -- Ahora que podemos reconocer los tres tipos de fracturas, resumamos las etapas de compilación de datos y análisis.

Primero, obtenemos las piezas rotas y limpiamos las fracturas para poder hacer un examen ocular. Luego clasificamos las fracturas en frágiles, dúctiles o por fatiga, teniendo siempre presente que las frágiles y dúctiles son resultantes, mientras que las otras se asocian por lo general con las causas. Se examinan las cargas para comprobar si son cíclicas, porque estas afectan a las fracturas por fatiga, o si son por sobrecarga o impacto, porque estas producen roturas frágiles o dúctiles.

Las fracturas por fatiga se estudian cuidadosamente para determinar el punto de iniciación y los concentradores de esfuerzos. No hay que olvidar que una descoloración puede indicar sobrecalentamiento.

Una vez que se ha encontrado el concentrador de esfuerzos es necesario saber si éste proviene de una falla de material o de proceso, o si es un concentrador diseñado que se expuso a sobrecarga.

Lista de verificación de análisis de fracturas

- Obtener las piezas que tuvieron fallas
- Limpiar las fracturas
- Clasificar las fracturas
- Verificar los hechos de carga
- Identificar los sitios de iniciación
- Identificar las concentraciones de esfuerzo

51 -- Para poder determinar la causa más probable de una falla, es necesario:

- 1 Analizar detenidamente los datos obtenidos.
- 2 Volver a preguntarse si la falla pudo haber sido causada por otro miembro del equipo.

Esta última pregunta nos hace recordar que debemos obtener los datos pertinentes a la temperatura, las cargas, los usos, la operación y el mantenimiento.

Por ejemplo:

- 1 ¿Cuál era la temperatura de los enfriadores, lubricantes, combustibles o del aire de admisión?
- 2 ¿Qué hacía el cliente con la máquina cuando se produjo la falla, la semana anterior, o el mes anterior?
- 3 ¿Es la aplicación muy severa?
- 4 ¿Qué tipo de mantenimiento se lleva a cabo?

Después de examinar todos los datos pertinentes estaremos en condiciones de dar una opinión sobre la causa original de la falla.

Identificar la causa de la falla

Pensar ● Hechos ●

Pregunta de doble verificación

Obtener hechos relacionados

- Calor
- Carga
- Aplicación, Operación, Mantenimiento

52 -- Veamos varios ejemplos y pongamos en práctica algunos de los conceptos estudiados.

Práctica de análisis de fallas

53 -- Aquí tenemos tres pernos de biela rotos. Examinando las fracturas, podemos establecer si han sido causantes o resultantes. El perno de la izquierda está doblado y rebajado a causa de la deformación plástica, por lo tanto la fractura es dúctil, resultante y debida a una sobrecarga. La superficie de ruptura del perno de la derecha casi no tiene indicios, pero es sedosa, lo que nos hace pensar que es el resultado de un corte por impacto. El perno del centro tiene un plano liso, que va de izquierda a derecha y que termina en un labio cortante en el borde derecho. Este perno se rompió a causa de la fatiga; el punto de iniciación se halla en el lado izquierdo. A medida que la grieta se acercaba al derecho, el perno se sobrecargó y finalmente se produjo una fractura dúctil. De los tres pernos, éste es el Único que causó una rotura. Es posible que un examen minucioso revele un defecto en el punto de iniciación causado por una deformación rómbica del vástago.



54 -- Estas piezas falladas pertenecen a un motor que se rompió súbitamente. Una de ellas produjo la falla. En las otras tres se ve claramente que son resultantes de la que causó la rotura. ¿Dónde está la causa?

- 1 El cojinete tiene sólo un corte por impacto y el desgaste es normal,
- 2 La parte superior de la biela tiene una fractura rápida dúctil o frágil,
- 3 La sección de la biela que se halla inmediatamente encima de la superficie de separación muestra también un corte por impacto que la separó de dicha biela e indica claramente que funcionaba con un sujetador flojo (el borde interior está redondeado a causa de golpear contra el cigüeñal).

No hay evidencia de que la temperatura haya sido excesiva o que haya faltado aceite y el color de

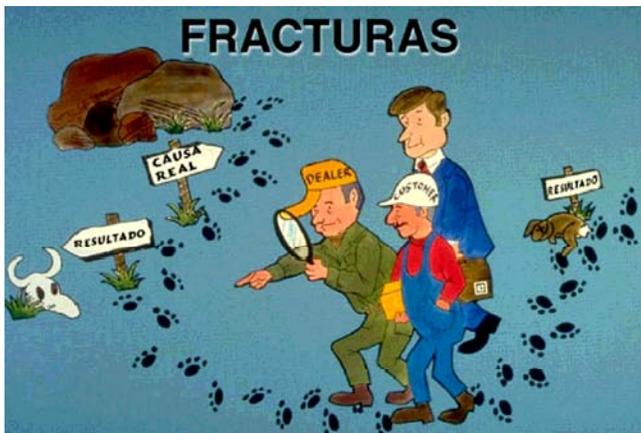
las piezas es normal. Parece que el perno de la biela se rompió a causa de la fatiga, con lo cual ésta se separó del cabezal. El cojinete de la biela se salió de posición y fue cortado en dos por la biela floja, cuando el cabezal se abrió. La biela se separó del cigüeñal, chocando contra el bloque y se rompió, parando el motor. Cuando se determina la verdadera causa, todos los daños tienen explicación. Si la causa no es la correcta, algunos daños permanecen sin explicación.

55 -- Esta camisa de cilindro es de un motor de camión con unas 450.000 millas. El camión iba subiendo una pendiente muy empinada cuando se aflojó una biela y se salió por el mono bloque. Al terminar el análisis de fallas, se estableció que la causa original había sido una fractura por fatiga de un pistón. ¿El diagnóstico era correcto o incorrecto?

Respuesta: Probablemente incorrecto. La superficie de ruptura en la camisa es frágil, lo que indica el resultado de un impacto. El excesivo desgaste por adherencia dentro de la camisa muestra que el cuerpo del pistón se atoró en la camisa. El desgaste por adherencia entre camisa y pistón proviene de un sobrecalentamiento (debido a poco juego o a altas temperaturas de combustión) o a falta de enfriamiento adecuado (falla del sistema de lubricación o de enfriamiento).

Por lo general la fractura por fatiga del pistón no crea desgaste por adherencia sino que produce una catástrofe. El examinador deberá buscar más datos en los sistemas de lubricación y de enfriamiento, sin olvidar las fallas que se produjeron en los meses anteriores a la falla.

56 -- Este ha sido un resumen de los principios básicos del análisis de fracturas y de los métodos de obtención de datos que se usan en los "Ocho pasos aplicables al análisis de fallas". Si combinamos toda la información obtenida con datos sobre desgaste, operación, mantenimiento y aplicaciones, estamos en condiciones de seguir los indicios que nos llevan a la causa original.



57 -- Si no contamos con esos datos, es posible que nos confundamos y tomemos decisiones que quizá no sean acertadas. Por eso afirmamos que LA DIFERENCIA ESTA EN LOS DATOS