

Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería de Materiales

Guía de Actuación de un Ingeniero Forense en el
Ámbito de Fallos de Materiales

Autor: Emilio Gómez Castro

Tutor: José María Gallardo Fuentes

Dpto. de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte

Facultad de Física

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018



Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería de Materiales

Guía de Actuación de un Ingeniero Forense en el Ámbito de Fallos de Materiales

Autor:

Emilio Gómez Castro

Tutor:

José María Gallardo Fuentes

Catedrático de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica

Dpto. de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte

Facultad de Física

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018

Proyecto Fin de Carrera: Guía de Actuación de un Ingeniero Forense en el Ámbito de Fallos de Materiales

Autor: Emilio Gómez Castro

Tutor: José María Gallardo Fuentes

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal

A mi madre.

*“Cuando todo aquello que es imposible ha sido eliminado,
lo que quede, por muy improbable que parezca, es la verdad”*

Sherlock Holmes

Agradecimientos

En primer lugar, agradecerle a José María Gallardo Fuentes por ofrecerme la oportunidad de realizar este trabajo. Gracias a él he podido adentrarme en el ámbito de la Ingeniería Forense y aprender de su gran experiencia en este sector. Por otro lado, a Jesús Pinto Quintana, técnico del laboratorio de Metalurgia e Ingeniería de los Materiales por su dedicación y su gran ayuda en la parte experimental de este trabajo.

A mi madre, a mi hermano y a mi familia por apoyarme en cada paso que he dado y compartir conmigo el día a día, sin importar si estaba soleado o nublado. Sin ellos, nada de esto hubiera sido posible.

A mi padre, por darme fuerzas y mostrarme el camino en los momentos de flaqueza.

Por último, a mis amigos de clase, que después de estos cuatro años de carrera, se han convertido en un pilar fundamental de mi vida, siendo un punto de apoyo en todo momento. Gracias por lo vivido y por todo lo que habéis compartido conmigo.

Emilio Gómez Castro

Este trabajo tiene el objetivo de diseñar una guía de actuación con todos los aspectos que debe tener en cuenta un Ingeniero a la hora de afrontar un fallo en el servicio. Puede aplicarse a cualquier ámbito técnico, pero en este caso se focalizará en el fallo de materiales. Con la ayuda de este manual, el ingeniero será capaz de abordar el problema y saber el procedimiento que deberá seguir para llegar a una conclusión de lo ocurrido.

Se abordarán los diversos aspectos que pueden intervenir en un fallo del material, desde su diseño hasta su puesta en servicio, así como la figura y las competencias de un Ingeniero Forense.

Por último, se mostrará un caso práctico de un fallo real de una matriz de pulvimetalurgia mostrando la metodología que se ha seguido para determinar el origen del fallo de esta.

Abstract

This project aims to design a guide covering the standards needed to assess a failure in the operation of material. Even though this guide could be deemed as part of a broader technical scope, it particularly delves into material failure. With the aid of these standards, engineers may be able to tackle the operational failure and learn standard procedures taken towards reaching a conclusion upon causes of material failure.

Various aspects that could trigger material failure will be investigated, comprising from early stages of the designing of a material to its operation up to failure. Furthermore, insight upon the role of a forensic engineer and responsibilities will also be presented.

Finally, a practical example concerning the failure of a matrix will be thoroughly analysed and the methodology followed in order to assess the plausible cause of the material failure will be detailed.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xii
Índice	xiiiv
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvii
1 Introducción a la Ingeniería Forense	1
2 La Visita	3
2.1. Encargo del informe del Fallo	4
2.1.1 Cliente	4
2.1.2 Entrevista inicial para el encargo del informe	4
2.1.3 Forma del contrato: Condiciones	4
2.2. Visita al lugar del fallo	5
2.2.1 Realización de la entrevista	6
2.2.2 Obtención de datos de la pieza falla	6
2.2.3 Inspección de la zona del incidente	7
2.2.4 Toma de muestras	8
2.2.4 La evidencia	9
3 Hipótesis del trabajo	10
3.1. Análisis de la Causa-Raíz del Fallo	10
3.1.1. Diagrama causa-efecto: Método de Ishikawa	11
3.1.2. Análisis de tareas	12
3.1.3. Análisis de barrera	12
3.1.4. Análisis de cambio	13
3.1.5. Diagrama de árbol de fallos	13
3.1.6. Diagrama de afinidad	14
3.1.7. Análisis modal de fallos y efectos (EMFE)	15
3.1.8. Diagrama de Pareto	16
3.2. Realización de ensayos	17
3.2.1. Calibración de los equipos	18
3.2.2. Aceptación o rechazo de muestras	18
3.2.3. Preparación de muestras	19
3.2.4. Normas de seguridad	19
3.2.5. Medición de muestras	19
3.2.6. Orden de examen	20
3.2.7. Incertidumbre de resultados	20
3.2.8. Ensayos para fallos de materiales	20
4 El Informe Forense	22
4.1. Objetivo del informe	22

4.2. <i>Requisitos generales</i>	22
4.3. <i>Norma UNE 197001. Criterios generales para la elaboración de informes y dictámenes periciales</i>	23
4.3.1. <i>Identificación</i>	23
4.3.2. <i>Cuerpo del informe o dictamen pericial</i>	24
4.4. <i>Pautas para la redacción</i>	25
5 Proceso Judicial	26
4.1. <i>Juicios Civiles</i>	26
4.2. <i>Juicios Penales</i>	26
4.3. <i>Condiciones y actuaciones de la Ingeniería Forense en un proceso judicial</i>	27
4.4. <i>Tachas de los peritos</i>	28
4.4. <i>Mediación en asuntos civiles y mercantiles</i>	29
6 Proceso de cobro	30
7 Caso práctico: Rotura de una Matriz de Pulvimetalurgia	31
7.1. <i>Materiales y Método Experimental</i>	31
7.2.1. <i>Observaciones visuales</i>	31
7.2.2. <i>Análisis metalográfico</i>	32
7.2.3. <i>Dureza</i>	35
7.2.4. <i>Análisis de tensiones mediante Elementos Finitos</i>	36
7.2.5. <i>Análisis con Microscopio Electrónico de Barrido</i>	37
7.2. <i>Conclusiones</i>	38
Referencias	41
Bibliografía	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla utilizada en el análisis de tareas	12
Tabla 2. Tabla utilizada en el análisis de cambio	13
Tabla 3. Tabla de un análisis modal de fallo en el ensamblaje de componentes	15
Tabla 4. Tabla de la probabilidad de fallos en un sistema	16
Tabla 5. Tabla de las posibles causas de la falta de eficiencia del sistema con su respectiva relevancia	16
Tabla 6. Causas ordenadas y con el porcentaje acumulado	17
Tabla 7. Listado de ensayos no destructivos comúnmente utilizados en fallos de materiales	21
Tabla 8. Ensayos destructivos utilizados en análisis de fallos	21
Tabla 9. Composición media nominal del acero F-522	31
Tabla 10. Propiedades del acero F-522	31
Tabla 11. Valores de dureza	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología en la visita de un Ingeniero Forense	9
Figura 2. Esquema del diagrama de Ishikawa aplicado a un caso concreto de fisura de piezas	12
Figura 3. Simbología empleada en la construcción de un diagrama de árbol de fallos	14
Figura 4. Representación gráfica de un árbol de fallos	14
Figura 5. Imágenes de la matriz de pulvimetalurgia fracturada	31
Figura 6. Zona de inicio de la grieta	33
Figura 7. Alineación de carburos	33
Figura 8. Estructura de martensita y carburos	34
Figura 9. Inclusiones en la estructura	34
Figura 10. Muestra sin atacar donde se observa las inclusiones de la pieza	35
Figura 11. Tensiones (MPa) de Von Mises en la matriz para una fuerza de 200 KN	36
Figura 12. Tensiones (MPa) de Von Mises en la matriz para una fuerza de 1,1 KN	37
Figura 13. Micrografía SEM del aspecto de la zona de inicio de la fractura	37
Figura 14. Micrografía SEM mediante la cual se ha calculado el tamaño de grano	38
Figura 15. Influencia de la temperatura de revenido con la dureza HRC	39

1 INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA FORENSE

En este primer capítulo se explicarán los conceptos esenciales del ámbito de la Ingeniería Forense como, por ejemplo: qué es la ingeniería forense, de qué se encargan los ingenieros que se dedican a esta profesión y sus competencias o las entidades relacionadas con esta rama de la Ingeniería.

La ingeniería Forense es la aplicación de los conocimientos y metodologías ingenieriles para analizar, esclarecer y determinar sucesos relacionados con accidentes, catástrofes, degradación en las propiedades de materiales y demás hechos que han desembocado en un determinado fallo. No obstante, sería conveniente explicar el término *forense* para comprender en su totalidad el concepto de Ingeniería Forense. Forense proviene del latín *forum* que significa plaza o mercado y era la zona central de las ciudades donde se encontraban los organismos judiciales, entre otros. Por tanto, la Ingeniería Forense tiene una connotación judicial y relacionada con los tribunales y la legislación, pues, el ingeniero forense será el encargado de explicar y debatir antes algún organismo judicial las causas que originaron el accidente o fallo y emita una opinión sobre la responsabilidad de este.

Cómo se puede intuir, la formación y cualificación del Ingeniero Forense debe ser multidisciplinar, ya que, en su actividad profesional debe analizar y encontrar el origen del suceso ocurrido, así como conocimientos sobre aspectos legales para intervenir ante cualquier proceso judicial/extrajudicial. Dentro de esta multidisciplinariedad, este tipo de Ingenieros debe de tener competencias técnicas y científicas como, por ejemplo: conocimientos de construcción, de equipos mecánicos, de seguridad, conocimientos eléctricos y de materiales, metodologías de instalación, conocer las normas de seguridad, normas de trabajo, leyes, reglamentos y políticas de la empresa. Sin embargo, lo más importante de esta profesión es la experiencia, la cual se obtiene a través del tipo de trabajo realizado por el ingeniero y por la posterior formación en cursos especializados. De este modo, un ingeniero forense evalúa lo que había antes y después del accidente y la condición en la que se encontraba y se encuentra. Realiza hipótesis sobre las causas que han originado el fallo, busca evidencias que niegue o apoye las diversas hipótesis y aplica conocimientos y habilidades ingenieriles para averiguar lo ocurrido.

Respecto a la actuación de los ingenieros forenses en un juicio, consiste en dar su testimonio a cerca de los hechos y responder una serie de preguntas que le formula un abogado de una de las partes involucradas para poder evaluar el análisis y la razonabilidad de las conclusiones del ingeniero. A veces, se pide al ingeniero forense implicado en la preparación del análisis del fallo para revisar el informe de un mismo hecho por el perito de la otra parte involucrada.

Entre las entidades y organizaciones relacionadas con este tipo de profesión destacan la organización que reúne a todos los ingenieros forenses de todas las disciplinas es *The National Academy of Forensic Engineers (NAFE)*. Además, existen otras organizaciones que apoyan los intereses de los Ingenieros Forenses como, por ejemplo: *American Bar Association (ABA)*, *National Society of Professional Engineers (NSPE)*, *Standing Committee on Structural Safety (SCOSS)*. Por otro lado, existen organizaciones que ayudan a la cualificación de estos ingenieros, como *American Society of Civil Engineers (Technical Council on Forensic Engineering) (ASCE/TCFE)*, *the American Society of Mechanical Engineers (ASME)*, *The Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)* y *The American Society of Chemical Engineers (ASChE)*. Estas instituciones profesionales promulgan unos estándares comunes que deben tener cualquier ingeniero que quiera dedicarse a la Ingeniería Forense. Por último, mencionar a *The American National Standards Institute (ANSI)* y *The American Society of Testing and Materials (ASTM)* que normalizan este tipo de actividades y *European Expertise and Expert Institute (EEEI)*. No obstante, destacan algunas asociaciones españolas, entre ellas se encuentran: *El Instituto de Probática y Derecho Probatorio*, *el Grupo Pericial*, *Peritos Judiciales y Forenses* y *El Consejo General de Peritos Judiciales*.

Por último, las normas españolas en rigor aplicables a esta profesión son:

- *UNE-EN 16775. Servicios periciales. Requisitos generales para los servicios periciales.*
- *UNE 197001. Criterios generales para la elaboración de informes y dictámenes periciales.*
- *UNE 197010. Criterios generales para la elaboración de informes y dictámenes periciales sobre Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC).*

Actualmente, se encuentra en desarrollo cinco normas ISO en desarrollo.

2 LA VISITA

En este capítulo, se abordarán asuntos relacionados con la visita del Ingeniero forense al lugar del accidente. Se explicará quienes serán los posibles clientes, que tipo de contrato se debe firmar, incluyendo las condiciones y la guía de actuación que se debe seguir a la hora de iniciar la inspección del fallo del material.

2.1 Encargo del Informe del Fallo

Cuando ocurre algún tipo de fallo de una pieza o componente de un sistema en servicio, del cual se desconoce su origen y/o se produce algún tipo de daños, material o humano, se acude a un profesional para que esclarezca las causas de lo ocurrido.

Antes de aceptar un determinado estudio, el ingeniero forense debe tener ciertas consideraciones éticas antes de acceder a realizar una investigación. Debe de estar dentro de los límites de su experiencia y formación. Por ejemplo, si el fallo no está dentro de las competencias del ingeniero, es este el que debe de determinar cuál puede ser el experto para hacer el análisis del fallo. Por otro lado, debe de ser capaz de hacer un análisis objetivo y tomar decisiones difíciles, aunque estas no sean del agrado del cliente.

2.1.1 Clientes

La persona o entidades que pueden requerir la ayuda de un Ingeniero Forense, pueden ser de diversos ámbitos. En primer lugar, se debe aclarar que los posibles clientes pueden ser cualquiera que haya sido afectado por el fallo (de manera directa o indirectamente) o un abogado que contrate al ingeniero para “defender” al demandado o demandante. Estos pueden ser partes individuales, entidades gubernamentales (por ejemplos, juzgados, institutos de Seguridad e Higiene) o empresas.

En muchas situaciones, la contratación del Ingeniero Forense se basa en las referencias que tenga el cliente sobre este profesional, debido al escaso conocimiento que tiene la sociedad sobre esta disciplina. Es más común que cuando falla un material de un sistema, la empresa afectada recurre al fabricante del equipo para que dictamine la causa del accidente y de una solución acerca de la reparación. Desde luego, cabe esperar que la solución este parcialmente afectada por los intereses de la propia compañía fabricante del bien. No obstante, existen entidades que tienen a este tipo de profesionales contratados para que actúen en estos casos.

En determinados sectores tienen muy presente la figura del ingeniero forense y recurren a ellos de manera habitual. Un claro ejemplo son las compañías de seguros. El ingeniero es contratado para que estudie casos relacionados con accidentes de automóviles o casos de incendios. Cuando se origina un incendio en una nave se debe realizar un estudio que determine si los materiales de la estructura se han visto afectados por el fuego con el objetivo de que la aseguradora tome una medida u otra cumpliendo con sus obligaciones.

Los colegios profesionales también suelen requerir de los servicios de los Ingenieros Forenses, enviando con regularidad circulares con determinados trabajos.

2.1.2 Entrevista inicial para el encargo del informe

Antes de aceptar cualquier tarea relacionada con un servicio pericial hay que realizar una evaluación inicial de la solicitud del cliente. Según la Norma *UNE-EN 16775 “Servicios periciales. Requisitos generales para los servicios periciales”* se debe verificar:

- El tipo y la naturaleza de la tarea.
- Que la tarea esté claramente definida y entendida.
- Que la tarea esté acorde con sus competencias y campo de experiencia.
- Los conocimientos específicos requeridos.
- Las infraestructuras, instrumentos y materiales necesarios.
- La posibilidad de cumplir los plazos indicados por el cliente.
- Las reglamentaciones específicas aplicables.
- La necesidad de obtener recursos específicos o un apoyo profesional externo.
- La información necesaria.
- La posibilidad de acceder a la información necesaria.
- El cumplimiento de todos los principios del código ético que aparece en la norma UNE-EN 16775.
- Cualquier otra circunstancia o requisito bajo los que se deben llevar a cabo las actividades periciales.
-

2.1.3 Forma del contrato: Condiciones

El ingeniero forense es comúnmente un profesional dado de alta en régimen de autónomo y según la legalidad autorizado a realizar este tipo de actuaciones. Antiguamente, el Colegio de Ingenieros tenía la potestad de visar los trabajos realizados por el ingeniero colegiado para certificar la capacidad del ingeniero para realizar tal trabajo y podía imponer ciertas condiciones tanto al trabajo como al contrato. Actualmente, al no tener que presentar el trabajo realizado en el Colegio recae sobre la figura del ingeniero el tipo de contrato. Ahora bien, si el ingeniero pertenece a una empresa, es el CEO (*Chief Executive Officer*) de esta el que confecciona y firma el convenio con el cliente.

La forma del contrato aparte de depender de si es autónomo o trabaja para algún tipo de empresa está influenciada por el tipo de cliente. Como se ha hecho mención anteriormente, este puede ser físico o jurídico. Cuando el cliente es físico, bastará con un encargo “informal”, pudiendo ser un fax, email o carta donde se exponga la necesidad del cliente. Del mismo modo, ocurre si el convenio se realiza con una empresa, se debe firmar un contrato con la empresa que requiera de este tipo de servicios

En el contrato, se debe incluir:

- Alcance del trabajo.
- Nombres de las personas que intervendrán durante el estudio.
- Entregables que van a ser intercambiado por las dos partes involucradas.
- Temporalización de trabajo.
- Presupuesto.
- Propiedad de los documentos y del estudio realizado. Normalmente, esta propiedad recae sobre el cliente. Sin embargo, en ocasiones se pide autorización al cliente para usar la documentación con la finalidad de redactar un artículo divulgativo.
- Anexo técnico. En este apartado aparece todo lo relacionado con los aspectos técnicos del estudio. Se describe la metodología y técnicas que se van a emplear para la realización del trabajo.

2.2 Visita al lugar del Fallo

A menudo es necesario que el ingeniero forense se desplace rápidamente al lugar donde ha ocurrido el fallo, pues en muchas ocasiones las pruebas son destruidas debido a las circunstancias que rodean al hecho (incendios, colapsos de sistemas, limpieza, maniobras para rescatar a personas). El ingeniero forense debe abordar el análisis del fallo teniendo cuenta qué ha podido ocasionar el incidente, desde las circunstancias que rodeaban al fallo como el diseño y el procesado del material.

El procedimiento típico a seguir en cualquier investigación está compuesto de las siguientes etapas. En primer lugar, se recopila información sobre lo ocurrido formulándole preguntas al cliente para tener una descripción del suceso, recopilar todos los documentos pertinentes, fotografías y declaraciones de testigos. Se realiza un examen in situ del fallo ocurrido y la ubicación y se revisan los manuales de mantenimiento sobre el material involucrado. El ingeniero debe preguntar sobre cualquier modificación en la escena del accidente que pueda haberse realizado después del accidente y antes de la investigación y debe mantener una lista de todas las partes entrevistadas y anotado lo que se ha dicho. Se realiza un interrogatorio a todas las personas que hubieran estado presente en el momento del accidente con la finalidad de conocer sus responsabilidades dentro de la planta, su función dentro de la planta y lo que estaban haciendo en el momento del accidente. En ocasiones, es necesario visitar de nuevo a la planta donde ha ocurrido el suceso para realizar una serie de comprobaciones. Esto se hace, sobre todo, en los casos donde el lugar no está dotado de vigilancia.

El proceso de inspección tiene como objetivo establecer los hechos que han originado el fallo del material. Este proceso debe proporcionar información sobre:

- ¿Qué ha ocurrido?
- ¿Dónde ha ocurrido?
- ¿Cuándo ha ocurrido?
- ¿Cómo ha ocurrido?
- ¿Quién/quienes estaban involucrados?

En cualquiera de los casos será necesario trazar una estrategia para realizar el examen forense. La estrategia a seguir dependerá de las circunstancias, el juicio profesional y la información disponible. Contemplará los siguientes aspectos:

- Disponibilidad de recursos.
- Riesgos para la salud, la seguridad y precauciones que se deberán tomar incluyendo el equipo de protección personal.
- Medidas de protección necesarias para prevenir la contaminación.
- Método de búsqueda apropiados.
- Los elementos que deben de recopilarse y los requisitos para su recolección.
- Secuencia de exámenes.

Además, se considerarán determinados factores adicionales para realizar la inspección de la pieza fallada:

- Mecanismos para asegurar la escena, incluyendo las rutas de entrada y salida.
- Las áreas dentro de la escena que requieren ser examinadas.
- Condiciones ambientales que requerirían priorizar el procesamiento de ciertas áreas o artículos.
- Exámenes que deberán llevarse a cabo antes de que se maneje y/o mueva un elemento.
- Si se requiere coordinación adicional y/o asesoramiento especializado.

2.2.1 Realización de entrevistas

Cuando falla alguna pieza de un sistema es habitual, que el ingeniero forense realice una serie de entrevistas para saber cómo ocurrieron los hechos: el día, la actividad que se estaba realizando, si hubo algún incidente fuera de lo normal, que ocurrió después del fallo, es decir, si hubo alguna modificación del lugar. Para contestar a todas estas preguntas se interroga a trabajadores, responsables de la planta, a los afectados (en el caso que los hubiera), vigilantes de seguridad o cualquier persona testigo del fallo en cuestión.

A continuación, se destacará algunas pautas a seguir a la hora de hacer la entrevista.

- La entrevista debe ser individual para así evitar influencias. En el caso de existir versiones muy diferentes de lo ocurrido, se recurrirá a entrevistas colectivas.
- Elegir un lugar apropiado para realizar la entrevista, siendo el mejor sitio el lugar del accidente (siempre que sea una zona segura), ya que esto puede hacer que el testigo recuerde con más facilidad los detalles.
- Se debe hacer sentir cómodo al entrevistado, puesto que ayudará a obtener respuestas de mayor calidad.
- Se debe dejar a la persona que se exprese libremente sin realizar ningún tipo de juicio o valoraciones personales, planteado las preguntas necesarias en el momento oportuno.
- Evitar preguntas que pongan a la defensiva al entrevistado y su respuesta no debe de contestarse con un “sí” o “no”, pues no se estimula a la memoria.
- Hacer preguntas cuya respuesta el ingeniero ya conozca, pues ayudará a evaluar si la persona estuvo presente en lo ocurrido.
- Es conveniente la repetición de determinados comentarios del testigo, de esta forma, se asegura el haber comprendido la información recibida, permite al entrevistado corregir sus detalles y permite realizar una entrevista más dinámica.
- No se debe olvidar, apuntar toda la información clave para tener en cuenta los aspectos más destacables y mostrar interés en los que se cuenta. Se debe evitar el uso de sistemas de grabación, dado que crea un clima de incomodidad para el testigo.
- Utilizar ayudas visuales siempre es de gran utilidad, pues ayuda a recordar lo ocurrido (el mejor lugar que se puede elegir, es la zona del accidente).

2.2.2 Obtención de datos de la pieza fallada

Así mismo, será necesario buscar información adicional sobre la pieza fallada. Esto se refiere a datos sobre la composición, empresa fabricante, especificaciones del material, certificados de control de calidad en la fabricación, recepción y evaluación de las condiciones de trabajo de la pieza. Es muy importante conocer el sistema de mantenimiento, pues constituye la causa habitual de los fallos. Otro aspecto a destacar es la planificación de paradas (reparación-renovación) y el seguimiento de un posible deterioro (en funcionamiento y medidas preventivas que se hayan podido realizar para evitar el fallo, por ejemplo, alguna reparación).

Además, se debe conocer a fondo la historia de la pieza, desde sus planos con las especificaciones pertinentes, la historia de sus posibles averías, hasta incluso el tratamiento térmico que se le haya podido realizar durante su fabricación. Muchos de estos aspectos se pueden conocer realizando las entrevistas mencionadas anteriormente. Sin embargo, en ocasiones los involucrados en el fallo por desconocimiento o de manera consciente, desconocen lo ocurrido. Un ejemplo de esto, es saber si la pieza ha tenido alguna avería o si se ha realizado una reparación de la misma. Otros datos que puede proporcionar información muy valiosa son los registros de funcionamientos previos, durante y después del accidente (videos, registros de funcionamiento, velocidades, cargas y presiones del sistema).

2.2.3 Inspección de la zona del incidente

El objetivo de esta inspección es evaluar el daño ocasionado, describir la pieza, la zona afectada y sus condiciones. En todo momento hay que ser especialmente crítico e incrédulo con lo que se observa y anotar todo.

Los detalles relevantes del incidente deberán ser obtenidos cuanto antes para determinar la naturaleza de la respuesta forense requerida, incluyendo las posibles peticiones del cliente, el personal requerido y el equipo. Antes de la pertinente inspección de la zona, se comprobará:

- La necesidad de cordones y si los cordones existentes tienen una posición adecuada.
- Quién ha tenido asociación o contacto con la zona y con qué objetivo, así como la modificación de algún elemento.
- Personas implicadas o testigos potenciales.
- La existencia de algún peligro para la seguridad asociado con la escena.

La inspección se iniciará con una inspección perimetral de las instalaciones, para conocer las condiciones que rodean a la zona afectada, por si alguna variable pudo intervenir en el fallo. Después se hace otra inspección de la zona afectada, para tener detalles de lo ocurrido, ya que en ocasiones y debido a la propia experiencia del ingeniero forense se puede dar un dictamen previo. Por ejemplo, muchas fisuras o roturas son características de un fenómeno concreto. La corrosión intergranular en piezas soldadas se manifiesta con la aparición de una línea delgada y recta a lo largo de la unión o la forma característica del ataque de la corrosión por erosión en forma de herradura.

Durante la inspección, todas las muestras se harán constar en su contexto situacional por si hubiese cualquier tipo de perturbación. El examen a realizar puede incluir notas, diagramas, fotografías, etc. Este debe ser riguroso para no pasar por alto cualquier tipo de detalle y que permita a otro ingeniero o examinador capacitado conocer todos los datos de la inspección realizada. Debe contener:

- Ubicación de la escena, descripción y condiciones ambientales cuando se necesario.
- Ubicación de artículos, hallazgos y observaciones de interés forense.
- Los exámenes que se llevaran a cabo, dónde, cuándo y por quién.
- Resultados de los exámenes, tanto positivo como negativo.
- Descripción de los artículos recolectados con sus respectivos identificadores únicos asociados con esos artículos.

En ocasiones es necesario hacer una inspección de otra zona que hayan sido afectada aún sin ser esta la ubicación de la pieza fallada. Normalmente se realiza cuando la magnitud del efecto del fallo es elevada. Si el fallo es de carácter estructural, por ejemplo, el derrumbe de una nave industrial por la rotura de una cartela, será necesario realizar una planimetría, para obtener planos del lugar. Aquí se suelen añadir detalles de la estructura, materiales empleados, sistema de seguridad, instalaciones eléctricas de tuberías y otros detalles que sean conveniente destacar.

Antes del cierre final de la escena, la metodología seguida durante la inspección debe ser revisada para determinar si ha sido adecuada y si el propósito del examen se ha alcanzado. No obstante, se considerará la posibilidad de realizar exámenes adicionales si las circunstancias cambian o si se obtiene más información. Esto hace que la seguridad y la integridad de la escena deban de mantenerse por si es probable que esto ocurra. Antes de finalizar, la escena se despejará para garantizar que no se dejan muestras recolectadas o equipos.

2.2.4 Toma de muestras

Normalmente, con todos estos datos se puede empezar a realizar las primeras hipótesis, las cuales se deberán contrastar con otro tipo de métodos, como por ejemplos ensayos en un laboratorio.

Una vez hecho lo descrito anteriormente, se debe analizar la evidencia para averiguar que originó el fallo e ir

descartando posibles causas. Para hacer esto se observará cualquier detalle que tenga el material y realizar todas las fotos necesarias. También es necesario trasladar las muestras al laboratorio para realizar los ensayos que el ingeniero crea que son oportunos para acotar lo ocurrido. Esto es lo que se denomina toma de muestra, las cuales deben ser extraídas cuidadosamente, con el objetivo de alterar lo menos posible la zona afectada y la pieza en sí.

Respecto a la toma de muestras es un problema complejo, ya que numerosos parámetros pueden intervenir a la hora de obtener resultados correctos. Las etapas principales son las siguientes:

1. La toma en sí.
2. El envasado, conservación y transporte.
3. La preparación.
4. La aplicación de ensayos.

Existen varios procedimientos para la recolección de muestras, todos ellos contemplan:

- Modos de recolección de los artículos.
- Instrucciones para la recolección de muestras.
- Medidas para minimizar el riesgo de pérdida, degradación, contaminación o alteración.
- La cantidad requerida para permitir la replicación de pruebas.

El embalaje de las muestras recogidas debe ser adecuado para preservar y minimizar su perturbación y daño. Las medidas a seguir durante el embalaje son:

- Las medidas necesarias para hacer que los artículos estén seguros y protegidos.
- La necesidad de un embalaje separado para aquellos artículos en los que el envasado de los artículos puede comprometerlos.
- Tipo de embalaje que se utilizará.
- La manera en que el envase está sellado y asegurado.
- Cualquier medida que se requiera para preservar la integridad, incluso durante el transporte.
- Medidas oportunas para un almacenamiento a corto o largo plazo.

Será necesario el etiquetado de todas las muestras que se tomen. El embalaje y/o artículo tendrán un identificador único que permitirá rastrear la cadena de custodia. Debe de contener los siguientes datos:

- Descripción del artículo.
- La ubicación y fecha de la recolección de la muestra.
- El nombre o identificador de la persona que hizo la recolección.
- El caso o investigación al que se refiere el artículo.
- Cualquier otra información relevante que pueda ser de interés para procesos posteriores.

Un error en cualquiera de estos pasos influirá directamente en la calidad y reproducibilidad del proceso.

Respecto a las características de las muestras, estas deben ser representativas, esto quiere decir, que las muestras obtenidas deberán de presentar las propiedades deseadas del conjunto. Cuanto mayor sea el número y el volumen de las muestras mayor será la representatividad. Sin embargo, hay que tener en cuenta la viabilidad económica. Por ejemplo, si el fallo ocurrido se encuentra en un pilar de acero, es impensable trasladar la pieza al completo para realizarle los ensayos pertinentes en el laboratorio. Sin

embargo, el tamaño de la muestra debe de ser tal, que minimice los errores que puedan aparecer durante el proceso.

F A L L O	1	2	3	4	H I P Ó T E S I S
	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	OBSERVACIÓN E INSPECCIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA AFECTADA	TOMA DE MUESTRAS	
	ENTREVISTAS		CARACTERÍSTICAS	EXTRACCIÓN	
	BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN	MONTAJE FOTOGRÁFICO	PLANIMETRÍA*	ENVASADO, CONSERVACIÓN Y TRANSPORTE	

Figura 1. Metodología en la visita de un Ingeniero Forense.

2.2.5 La evidencia

Se denomina evidencia a cualquier elemento físico o inmaterial que permita o ayude a la resolución del caso. Por ejemplo: testimonios o muestras.

Con las evidencias se debe de tener especial precaución, puesto que hay que tener un alto nivel de protección con ellas. Las evidencias tienen que ser preservadas a toda costa, porque su daño puede influir profundamente en los resultados de la investigación.

A continuación, expondremos dos ejemplos para entender este concepto. Respecto a evidencias materiales, lo más común son las muestras tomadas. Si estas muestras, le realizamos un ensayo de dureza dañando su integridad, no se podrán realizar otros ensayos sobre la misma pieza y tampoco una tercera persona tampoco podrá hacerlo para aprobar la veracidad del estudio. En el hipotético caso que sea necesario realizar técnicas de ensayos que impliquen la destrucción o daño de la muestra, se debe pedir autorización al cliente o al juez encargado del caso. Por tanto, siempre que sea posible deberemos acudir a los ensayos no destructivos. Dentro de las evidencias inmateriales, destacan la disposición de los elementos en la zona afectada. Una alteración del lugar a estudiar antes de tomar fotografías o realizar una inspección puede generar una falta de información a la hora de sacar las conclusiones de lo ocurrido.

3 HIPÓTESIS DEL TRABAJO

Una vez que el ingeniero inspecciona la pieza o sistema que ha fallado y recopila toda la información necesaria para comenzar el estudio, lo primero que se debe hacer es plantear las hipótesis del trabajo. En general las bases de las hipótesis planteadas se apoyan en la propia experiencia, pues a partir de detalles que puedan parecer “insignificantes” se pueden sacar unas primeras conjeturas. No obstante, será necesario posteriormente demostrar las suposiciones que se realicen mediante ensayos y pruebas.

Antes de nada, se plantea según las evidencias, a que podría estar asociado el fallo durante el servicio del material. Para hacer esto, se tendrán en cuenta todos los factores posibles que han podido originar el fallo, como, por ejemplo: diseño de la pieza, fabricación y uso en servicio de la misma.

Respecto al diseño de la pieza analizaremos:

- Geometría.
- Material empleado.
- Condiciones de servicios diseñados para la pieza.
- Proceso de fabricación.

En el ámbito de la fabricación de la pieza se debe analizar:

- El material empleado es el correcto según los criterios de diseño.
- El proceso de fabricación que se ha llevado a cabo se rige por las pautas del diseño o según las prácticas recomendables.
- Procesado del material (forja, mecanizado, soldadura, tratamientos térmicos).

También se analizarán las condiciones durante el servicio del sistema:

- Condiciones adecuadas con las estrategias de diseño.
- Posible superación de las propiedades del material según el diseño.
- Malas prácticas en el mantenimiento.
- Condiciones del medio de funcionamiento de la pieza.
- Mal uso del sistema.

3.1 Análisis de la Causa-Raíz del Fallo

Una vez que se haya considerado todas las posibles causas del fallo, se estructurará la información para la elaboración de una hipótesis.

El análisis de causa raíz es una metodología de investigación que permite conocer las causas que han originado el problema de estudio. El Análisis de Causa Raíz es una disciplina que estudia y analiza siniestros, averías y hechos anormales en instalaciones de todo tipo. Con este tipo de estudios se podrá determinar las causas que provocan los hechos no deseados analizados, tanto las subyacentes, presentes normalmente durante largos espacios de tiempo sin provocar un daño inmediato, como las desencadenantes, que son las que provocan que las consecuencias aparezcan en un momento determinado y no en otros. La determinación de unas y otras, permite, por un lado, establecer responsabilidades, cuando corresponde, y por otro, determinar medidas preventivas para que los hechos estudiados no vuelvan a producirse de nuevo.

Los objetivos del análisis causal son los siguientes:

- La adopción de medidas preventivas para evitar que vuelvan a suceder los mismos hechos de nuevo. La determinación de las causas subyacentes y desencadenantes permite identificar los problemas y evitarlos.
- El establecimiento de responsabilidades para determinar consecuencias económicas, laborales y hasta penales.
- La resolución judicial de conflictos.

La estructura de este método es la siguiente:

1. Determinar cuáles son las causas que se van a evaluar, ya que todas las causas planteadas anteriormente no van a ser el origen del fallo. Hay que descartar aquellas que no tengan relación alguna con el incidente.
2. Ordenar la información obtenida durante la visita del ingeniero al lugar de lo ocurrido.
3. Analizar la información. Para realizar esta tarea se pueden emplear diversos métodos que nos ayudaran a tomar decisiones y a llegar a una posible conclusión. Entre estos métodos de análisis de información, destacan:
 - Diagrama causa-efecto: Método de Ishikawa.
 - Análisis de barrera.
 - Análisis de cambio.
 - Diagrama de árbol de fallos.
 - Diagrama de afinidad.
 - Análisis modal de fallos y efectos.
 - Proceso de trazabilidad: Los 5 porqués.
 - Diagrama de Pareto.
 - Análisis de tareas.
 - 8 disciplinas para la resolución de un problema.
4. Comprobar la situación y buscar experiencia operativa. La finalidad de este apartado es asegurar a corto plazo que el incidente no se repita, y comprobar que el fallo no ha ocurrido anteriormente.
5. Determinar las causas raíz a partir de los datos recolectados.
6. Definir acciones correctivas para solucionar las causas raíz halladas.
7. Implantar las acciones correctivas y comprobar que son eficaces.
8. Documentar todo el proceso.

3.1.1 Diagrama causa-efecto: Método de Ishikawa.

Esta técnica, también conocida como diagrama de espina de pescado, consiste en organizar y representar las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un problema, permitiendo representar gráficamente el conjunto de causas que dan lugar a una consecuencia, o conjunto de factores y subfactores (espinas) que han propiciado el incidente (cabeza del diagrama).

Para elaborar este tipo de diagramas, se seguirán los siguientes pasos:

- 1) Se identifica el fallo ocurrido.
- 2) Se identifican las causas principales de dicho fallo.
- 3) Se identifican las causas secundarias.
- 4) Se puede hacer una asignación de la importancia de cada factor. La dirección en la que se averigua el indicio es de derecha a izquierda.

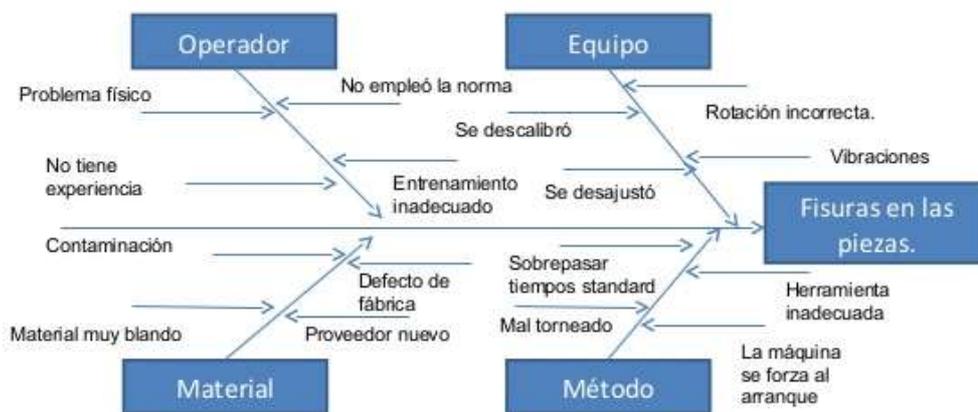


Figura 2. Esquema del diagrama de Ishikawa aplicado a un caso concreto de fisuras de piezas

3.1.2 Análisis de tareas

Es una técnica que se utiliza para saber si el fallo se ha producido por una mala ejecución de la tarea que realizaba el sistema fallado. Para realizar este método será imprescindible la información obtenida de los individuos involucrados. El análisis de la tarea requerirá una revisión de los documentos de trabajo, registros, manuales técnicos, y otros documentos para conocer cómo se estaba realizando el trabajo y como debería haberse realizado.

La tarea se divide en subtareas que identifican:

- Secuencia de acciones.
- Instrucciones.
- Condiciones.
- Herramientas.

3.1.3 Análisis de barrera

Las barreras son mecanismos, protocolos, etc. utilizados para proteger y mejorar la seguridad y el rendimiento de una planta. Pueden ser físicas (por ejemplo: características de diseño y seguridad) o administrativas (por ejemplo: cualificación de trabajadores). Este tipo de análisis permite clasificar las barreras del proceso que evitan que sucedan el fallo que se ha producido y buscar cuáles de estas barreras han podido fallar.

Tabla 1. Tabla utilizada en el análisis de tareas.

¿QUÉ BARRERAS HABÍA?	¿FUNCIONARON LAS BARRERAS EXISTENTES?	¿POR QUÉ FALLARON LAS BARRERAS?	IMPACTO DEL FALLO DE LA BARRERA
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

3.1.4 Análisis de cambio

Este método se basa en hacer una comparación de una pieza que ha fallado con otra que no con las mismas características con la finalidad de obtener una conclusión.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1) Analizar la situación del material que ha fallado.
- 2) Analizar una situación comparable que no tiene el fallo.
- 3) Realizar una comparación entre ambas situaciones.
- 4) Recoger todas las diferencias que se perciban.
- 5) Evaluar las diferencias de las dos situaciones y su influencia en el fallo.

Tabla 2. Tabla utilizada en un análisis de cambio.

CONDICIÓN ANTERIOR	CONDICIÓN ACTUAL	CAMBIOS/DIFERENCIAS	IMPACTO/EVALUACIÓN
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

3.1.5 Diagrama de Árbol de Fallos

Se trata de un método deductivo de análisis que parte de la existencia de un "suceso no deseado o evento que se pretende evitar" para averiguar el origen. En el caso de Ingeniería Forense el "suceso no deseado" es el fallo a investigar.

Se representan las combinaciones de las situaciones que puedan generar el fallo, conformando niveles sucesivos. Cada suceso estará generado a partir de otro con un nivel inferior. La unión entre los diferentes niveles serán operadores o puertas lógicas. El árbol se desarrolla en sus distintas ramas hasta alcanzar una serie de "sucesos básicos", denominados así porque no precisan de otros anteriores a ellos para ser explicados.

Para la resolución de árboles de fallos se realizan los siguientes pasos:

- 1) Identificación de todas las puertas lógicas y sucesos básicos.
- 2) Resolución de todas las puertas en sus sucesos básicos.
- 3) Eliminación de los sucesos repetidos en los conjuntos de fallo: aplicación de la propiedad idempotente del álgebra de Boole.
- 4) Determinación de entre todas las combinaciones posibles, los conjuntos mínimos de fallo: aplicación de la ley de absorción del álgebra de Boole.

SÍMBOLOS	SIGNIFICADO DEL SÍMBOLO
	SUCESO BÁSICO. No requiere de posterior desarrollo al considerarse un suceso de fallo básico.
	SUCESO NO DESARROLLADO. No puede ser considerado como básico, pero sus causas no se desarrollan, sea por falta de información o por su poco interés.
	SUCESO INTERMEDIO. Resultante de la combinación de sucesos más elementales por medio de puertas lógicas. Asimismo se representa en un rectángulo al "suceso no deseado" del que parte todo el árbol.
	PUERTA "Y". El suceso de salida (S) ocurrirá si, y sólo si ocurren todos los sucesos de entrada (E1).
	PUERTA "O". El suceso de salida (S) ocurrirá si ocurren uno o más de los sucesos de entrada (E1).
	SÍMBOLO DE TRANSFERENCIA. Indica que el árbol sigue en otro lugar.
	PUERTA "Y" PRIORITARIA. El suceso de salida ocurrirá si, y sólo si todas las entradas ocurren en una secuencia determinada, que normalmente se especifica en una etiqueta ubicada a la derecha de la puerta.
	PUERTA "O" EXCLUSIVA. El suceso de salida ocurrirá si se hace una de las entradas, pero no las o más de ellas.
	PUERTA DE ANIDACIÓN. La salida ocurrirá si, y sólo si se hace su entrada y además se satisface una condición dada (X).

Figura 3. Simbología empleada en la construcción de un diagrama de árbol de fallos.

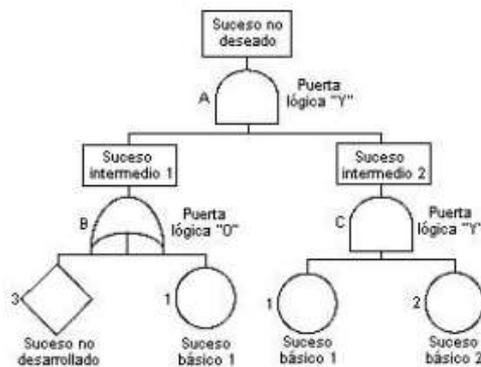


Figura 4. Representación gráfica de un árbol de fallos.

3.1.6 Diagramas de Afinidad

El diagrama de afinidad se utiliza para organizar datos y agruparlos según su correspondencia. Esta metodología tiene la finalidad de ayudar a localizar un problema que está poco definido mediante la aportación de ideas u opiniones sobre el problema. Cabe mencionar que este diagrama no da la solución, pero si aclara cuáles son los factores potenciales que ha originado el fallo.

Los casos en que se utiliza este tipo de análisis son aquellos que el problema es complejo, está desorganizado, requiere de la participación de un equipo y/o es necesario determinar los aspectos determinantes dentro de un gran número de problemas.

Para el desarrollo de esta técnica se sigue la siguiente ruta:

1. Reunir al grupo de trabajo.
2. Identificar el problema de estudio.
3. Reunir los datos a partir del material recolectado.
4. Transferir los datos a algún medio físico describiéndolos con una frase. Normalmente se utilizan *post it*.
5. Los *post it* similares se agrupan.
6. Creación de un título para cada grupo de *post it*.

7. Esbozo del diagrama de afinidad.
8. Discusión.

3.1.7 Análisis modal de fallos y efectos (AMFE)

El objetivo de esta metodología es analizar los fallos potenciales que pueden darse en un futuro clasificándolos según su importancia. Por tanto, es una técnica muy utilizada en la Ingeniería de Calidad. Sin embargo, haciendo el proceso de manera inversa puede ser de gran utilidad en el ámbito de la Ingeniería Forense.

Los pasos a seguir para hacer este tipo de análisis son:

1. Enumerar todos los posibles modos de fallos. Para hacer esto se recomienda descomponer el producto en piezas y ver cómo podría fallar cada una de ellas. También hay que reflexionar acerca de la aplicación que se va a hacer del producto.
2. Establecer su índice de prioridad. Se realiza una tabla donde se asigna tres valores a cada uno de los diferentes fallos:
 - G: nivel de severidad (gravedad del fallo)
 - O: nivel de incidencia (probabilidad de que ocurra el fallo)
 - D: nivel de detección (probabilidad de que no detectemos el error antes del uso)

3. Después, se calculará el Índice de Prioridad de Fallos (NPR) mediante la siguiente expresión:

$$NPR = Severidad \cdot Probabilidad\ de\ Incidencia \cdot Probabilidad\ de\ detección$$

4. Cuando se haya calculado el NPR para todos los modos de fallo estudiados, se ordenarán de mayor a menor.

Tabla 3. Tabla de un análisis modal de fallo en el ensamblaje de componentes

AMFE: ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS POTENCIALES (PROCESO)														
Nombre del proceso: Ensamble de componentes			Proveedor del material: Empresa ABC					Nombre y firma:						
Producto: Silla modelo TL-65			Fecha de fabricación:					Supervisor:						
Fecha AMFE Inicial: 02/05/2017				Fecha AMFE última revisión: 15/05/2017										
Modos de fallo	Efecto potencial del fallo	Causa potencial del fallo	Condiciones Existentes					Estado y acción recomendados	Área responsable acción correctora	Resultados				
			Controles actuales	O	G	D	Índice prioritario del riesgo (NPR)			Acción correctora	O	G	D	Índice prioritario del riesgo (NPR)
Falta de soldadura	Rebajos, ruidos y falta de rigidez	Defectos de acoplamiento	Ninguno	8	8	2	128	Control	Fabricación	Previstos grupos de aprietes en la zona	6	8	2	96
		Pestañas fuera de geometría	Ninguno	6	8	2	96	Rediseño	Diseño	Pestañas bien diseñadas para la geometría	3	6	2	36
Soldadura defectuosa	Agujeros en la chapa	Desacoplamiento de chapas	Ninguno	8	8	2	128	Rediseño	Diseño	Garantizar acoplamientos	6	8	2	96
	Mala ejecución de la soldadura	Falta capacitación soldadores	Ninguno	8	8	4	256	Formación	RR.HH y supervisor	Formación y supervisión a los soldadores	5	6	3	90

3.1.8 Diagrama de Pareto

En este tipo de diagrama se hace una clasificación de los posibles modos de fallos según su probabilidad de que ocurran. Esto permite separar gráficamente los aspectos más destacables de aquellos que son triviales. Como en el caso anterior, es un método muy común en la Ingeniería de Calidad, que puede adaptarse a la Ingeniería Forense.

Los pasos a seguir son:

1. Hacer una lista de todas las causas que han podido generar el fallo.
2. Organizar las causas potenciales del fallo con su probabilidad de que ocurran (ordenados de mayor a menor frecuencia) y se calcula el porcentaje acumulado. La estadística para determinar la relevancia de la causa se realiza mediante bases de datos o la propia experiencia de ingeniero.
3. A continuación, se representa mediante un diagrama de barras el porcentaje acumulado de cada modo de fallo.

Tabla 4. Tabla de la probabilidad de fallos en un sistema.

CAUSA DEL FALLO	DETALLE DEL PROBLEMA	PROBABILIDAD (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

El Diagrama de Pareto es especialmente útil cuando se trata de:

- Mostrar la relevancia de las diferentes causas que originan un determinado fallo,
- Determinar los factores más importantes.
- Decidir sobre que modos de fallos hay que centrarse y realizar los ensayos para contrastar la hipótesis.

A continuación, se expondrá, un caso práctico para comprender de manera más clara el mecanismo de este proceso: Fallo en un sistema de producción.

Tabla 5. Tabla de las posibles causas de la falta de eficiencia del sistema con su respectiva relevancia.

CAUSAS		
Descripción	Cantidad	Porcentaje
Partida fría	8	1,80%
Rotación del operador	121	27,20%
Cansancio del operador	11	2,50%
Inestabilidad de la máquina	56	12,60%
Rotación de la maquina	35	7,90%
Cambios ambientales	191	42,90%
Desgaste del equipo	3	0,70%
Fluctuación de energía	9	2,00%
Error de medición	6	1,30%
Desviación del material	5	1,10%
TOTAL	445	100,00%

Tabla 6. Causas ordenadas y con el porcentaje acumulado.

CAUSAS			
Descripción	Cantidad	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Cambios ambientales	191	42,90%	42,90%
Rotación del operador	121	27,20%	70,10%
Inestabilidad de la máquina	56	12,60%	82,70%
Rotación de la maquina	35	7,90%	90,60%
Cansancio del operador	11	2,50%	93,00%
Fluctuación de energía	9	2,00%	95,10%
Partida fría	8	1,80%	96,90%
Error de medición	6	1,30%	98,20%
Desviación del material	5	1,10%	99,30%
Desgaste del equipo	3	0,70%	100%
TOTAL	445	100,00%	

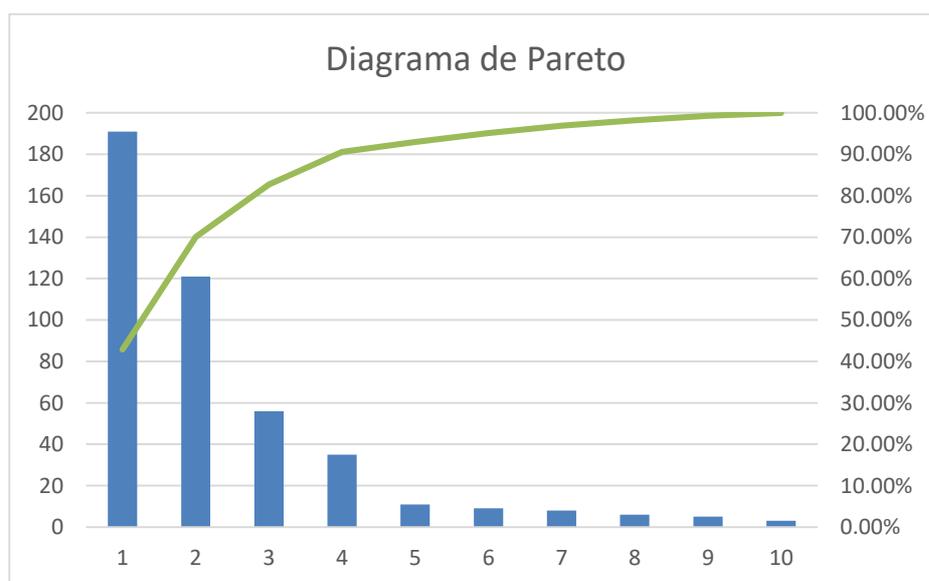


Figura 5. Diagrama de Pareto.

3.2 Realización de ensayos

Una vez establecidas las hipótesis más relevantes habrá que realizar una serie de ensayos en el laboratorio para corroborar las conjeturas. Se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Realizar el mínimo de ensayos posibles.
- Comenzar por los ensayos de menos a más destructivos para preservar las evidencias, por si un tercero tiene que contrastar nuestro estudio.

- Los ensayos deben realizarse sobre las muestras más representativas del fallo.
- Trazabilidad de las muestras: Hay que demostrar en todo momento que las muestras ensayadas son las originales del incidente. Esto es esencial en los casos que para su resolución pasan por vía judicial.

La elección de un ensayo u otro se basará en:

- Lo que se quiere medir o determinar.
- El tipo de muestra que se va a examinar.
- La cantidad del artículo disponible para el examen.
- La sensibilidad requerida.
- La obtención de resultados óptimos.
- La disponibilidad de instrumentación y operadores adecuados.
- La naturaleza no destructiva o destructiva de la técnica.

3.2.1 Calibración de los equipos

Las instalaciones forenses identificarán los parámetros críticos del equipo. Se establecerán un cronograma de calibración y mantenimiento para los equipos críticos, de modo que se pueda demostrar que estos son adecuados para su propósito. Se deben mantener registros de todo el mantenimiento, servicio y calibración del equipo. Los registros de calibración se mantendrán cerca del sistema para realizar el ensayo o en un lugar accesible.

Los registros de calibración deben incluir:

- La fecha en que se realizó la calibración.
- La identidad del equipo que se está calibrando.
- La naturaleza de cualquier material de referencia utilizado para la calibración.
- La identidad de la persona que realiza la calibración.
- El resultado de la calibración.

Cuando el equipo no cumple con los requisitos, ya sean los resultados de las comprobaciones de calibración o por cualquier otro motivo, se retirará del servicio.

3.2.2 Aceptación o rechazo de muestras

No todos los artículos recibidos por un laboratorio de ensayos serán adecuados para el análisis, por ejemplo:

- El artículo está empaquetado de forma inapropiada, de modo que su integridad está comprometida.
- El artículo es inapropiado para la prueba solicitada.
- Se ha determinado que el artículo ya no es relevante para la investigación.
- La continuidad del artículo ha sido comprometida.
- Es poco probable que el análisis proporcione evidencias sobre lo ocurrido.

Todas las muestras que van a ser ensayadas deben estar vinculadas con un documento donde aparezca:

- Información relevante del caso.
- Todos los tipos de ensayos forenses solicitados.
- Una lista de elementos enviados (y sus respectivos identificadores de artículos).
- El identificador del caso.

- El nombre o identificador de la persona que solicita el examen y los datos de contacto.
- El nombre o identificador de la persona que envía el artículo.

Todos los artículos recibidos por un proveedor de servicios forenses deberán marcarse inmediatamente con un identificador único que permita rastrear su historia.

3.2.3 Preparación de muestras

Una vez que se han elegido los métodos analíticos, la muestra puede requerir preparación antes del análisis. El tipo de preparación de muestra requerida dependerá de la técnica analítica que se aplique y las propiedades de la muestra.

Se tomarán las medidas pertinentes durante la preparación para preservar la muestra, prevenir la contaminación y mantener la continuidad de esta.

Se destacarán los siguientes tipos de técnicas de preparación de muestras:

- **Preparación de muestra sólida o líquida.** En los casos en que la muestra se analiza como un líquido o sólido, se puede necesitar una preparación, ya sea para conseguir una forma adecuada para el análisis o para asegurar que la muestra esté en un estado que produzca resultados óptimos.
- **Preparación de soluciones** La preparación de una solución requerirá la selección de un disolvente apropiado en el que la muestra sea soluble y que sea aplicable a la técnica que se utilizará. Cuando la técnica ha sido validada para un rango de concentración particular.
- **Mejora química** Algunos artículos requerirán una mejora química antes de examen. Cualquier tratamiento químico que altere el artículo solo se realizará después de considerar cualquier otro examen que pueda requerirse. Se deberán seguir procedimientos normalizados.
- **Extracción.** Cuando los componentes requieren extracción de una mezcla.
- **Separación.** Cuando los componentes se separan de una mezcla y se recolectan para su análisis, los componentes separados pueden necesitar ser recolectados como submuestras.

3.2.4 Normas de seguridad

Cuando los ensayos están en un marco judicial, los artículos que se envían para su examen y requieran de más un de una disciplina forense con la consecuencia de un cambio de ubicación se gestionarán a través de un sistema de gestión de artículo. Esto nos permitirá conocer en cualquier momento:

- El lugar de almacenamiento dentro de la instalación.
- El oficial forense que tiene posesión del artículo.
- Movimiento de los artículos fuera de la instalación forense.

3.2.5 Medición de muestras

El peso o tamaño del artículo recibido para el examen puede ser importante, sobre todo cuando se requiere un análisis cuantitativo. Cualquier equipo y software utilizado para dicha medición debe ser apto para fines específicos y apropiadamente calibrados. Cuando las mediciones se registran manualmente y el elemento que se está midiendo no es de naturaleza permanente, las mediciones se deben hacer, registrar y verificar. Las mediciones

realizadas estarán vinculadas con la incertidumbre de la medición. La instalación tendrá políticas sobre el redondeo de valores numéricos y el uso de cifras significativas.

3.2.6 Orden de examen

El orden del examen se refiere a la secuencia de exámenes que se llevarán a cabo en una muestra y debe tener en cuenta las prioridades de la investigación y la información del caso. Las instalaciones forenses deberían tener procedimientos escritos para cubrir secuencias comunes de análisis. Las circunstancias de casos individuales pueden, sin embargo, requerir una variación de la secuencia. Cualquier variación significativa de los procedimientos habituales se anotará en las notas del caso junto con los motivos de dicha variación.

Cuando la cantidad de la muestra es limitada o es probable que el ensayo consuma o modifique dicha muestra, el orden del examen se planificará y aplicará de manera que se garantice que, en la medida de lo posible, se dé prioridad y se realice los ensayos no destructivos antes de aplicar técnicas destructivas. Sin embargo, tales consideraciones no deben poner en peligro el objetivo principal de maximizar el valor de las pruebas.

Ciertas técnicas destructivas proporcionan información tan valiosa que su uso está justificado. Por ejemplo, muchas pruebas químicas, como la cromatografía de gases y espectrometría de masas, son por su naturaleza de carácter destructivo. Siempre que sea posible, se debe considerar, en función del riesgo, la retención de material de cada muestra para la posibilidad de poder de realizar ensayos posteriores sobre las mismas. Esto puede incluir retener parte de la muestra original o parte de un extracto u otro material derivado de esa muestra original.

3.2.7 Incertidumbre de los resultados

Aquellos que presten servicios forenses calcularán y, cuando corresponda, informarán sobre la incertidumbre asociado con los resultados. Al estimar la incertidumbre de los resultados, se tendrán en cuenta todos los componentes de importancia en el análisis. Las principales fuentes de incertidumbre relacionadas con un método se registrarán junto con la incertidumbre general, con una explicación de cómo se derivó.

3.2.8 Ensayo para fallos de materiales

A continuación, se expondrán una relación de los ensayos más utilizados en el ámbito de la Ingeniería Forense:

Tabla 7. Listado de ensayos no destructivos comúnmente utilizados en fallos de materiales.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END)		
ENSAYO	OBJETIVO	EJEMPLO
Corriente inducida	Detección de efectos internos y externos.	Inspección de soldadura
Ensayo de fugas	Detección de fugas.	Defectos en un intercambiador de calor.
Inspección visual	Detección de imperfecciones.	Estado superficial de una pieza.
Líquidos penetrantes	Detección de discontinuidades superficiales.	Fisuras de componentes mecánicos.
Partículas magnéticas	Detección de discontinuidades superficiales y sub-superficiales.	Defectos en piezas de forja.
Radiología industrial	Detección de defectos internos.	Fisuras internos de barras corrugadas.
Ultrasonidos	Detección de defectos internos.	Localización de rechupes en una pieza.

Tabla 8. Ensayos destructivos utilizado en el análisis de fallos.

ENSAYOS DESTRUCTIVOS (ED)		
ENSAYO	OBJETIVO	EJEMPLO
Dureza	Determinar la resistencia que opone un material a ser penetrado.	Templabilidad de aceros.
Tracción/Compresión	Determinar aspectos importantes de la resistencia y alargamiento.	Resistencia de materiales.
Fluencia	Analizar el comportamiento viscoelástico de materiales.	Comportamiento de polímeros.
Pandeo	Determinar el comportamiento de cargas de compresión axial.	Comportamiento de vigas.
Torsión	Determinar el comportamiento ante un esfuerzo cortante o de torsión.	Resistencia de ejes.
Plegado	Determinar la capacidad para el doblado sin la aparición de grietas.	Evaluar soldaduras.
Cizalladura	Determinar comportamiento antes fuerzas de corte.	Comportamiento de pernos.
Soldadura	Aptitud de los materiales para ser unidos por soldadura.	Soldabilidad de aceros
Fatiga	Determinas el comportamiento ante esfuerzos de magnitud y sentido variables.	Velocidad de propagación de grietas
Impacto	Determinar la sollicitud al choque de materiales.	Resiliencia de aceros.
Metalográfico	Determinar características estructurales o de constitución de los metales y aleaciones.	Distribución de las fases de una aleación.
Corrosión/oxidación	Determinar el comportamiento de piezas ante la corrosión/oxidación.	Pérdidas de propiedades por corrosión.

4 EL INFORME FORENSE

Una vez obtenido todos los resultados acerca de la causa que originó el fallo en el material, se procederá a redactar un informe que recoja todos los datos del accidente, esclareciendo lo ocurrido.

4.1 Objetivo del informe

Lo primero que se debe tener en cuenta es por qué se escribe el informe y quiénes serán sus destinatarios. La finalidad de este puede ser:

1. **Para informar.** Aumentar o mejorar el conocimiento del lector.
2. **Instruir.** Enseñar al lector a realizar una tarea específica, en este caso, analizar fallos en materiales.
3. **Influenciar.** Hacer que alguien piense de manera determinada, pero mediante una persuasión lógica. La finalidad es influir en el receptor para aceptar una solución sugerida para el fallo. Nunca se debe hacer mediante una distorsión de los hechos. Esto aparece en el apartado de opiniones del informe.
4. **Críticar.** Un informe forense puede ser crítico para las personas involucradas, el diseño, los materiales o funciones involucradas en el fallo. Esta crítica siempre será constructiva, con la finalidad de que el fallo o error no se vuelva a repetir.
5. **Para dejar constancia.** Registrar un hecho.

4.2 Requisitos Generales

En primer lugar, decir que el formato de los informes puede variar en función de factores como:

- La jurisdicción a la que se destina el informe.
- El propósito del informe.
- El tipo de información que contiene el informe.

Además, todos los informes escritos emitidos para procedimientos legales incluirán:

- La fecha de expedición.
- El nombre de la instalación forense.
- Un identificador de caso único.
- El nombre de la persona responsable del informe.
- Un medio para asegurar que cada página sea parte del informe.
- Un medio para indicar el final del informe.
- La paginación será: el número de página y el número total de páginas.

Por otro lado, los informes preparados para procedimientos legales deberían contener los siguientes puntos, ya sea en el cuerpo del informe o en el apéndice:

- Colección y continuidad del material forense.
- Análisis y comparación de materiales (procedimientos usados).
- Resultados.
- Limitaciones.

- Opiniones
- Cualificaciones y experiencia del autor
- Análisis y comparación del material.
- Definiciones y explicaciones para los términos técnicos utilizados.
- Anexos

Otros informes emitidos para otros propósitos distintos de los procedimientos legales no tienen que incluir todos los puntos expuestos anteriormente. Tendrán aquellos que sean apropiados para el objeto del informe. Los informes orales incluirán la fecha y hora de la conversación, quién se encontraba en la conversación y un resumen de esta.

Los informes deben contener solo la información, los resultados y opiniones basadas en la información que detalladamente se ha obtenido de las notas tomadas o los registros del caso. En todo momento, hay que evitar un lenguaje emotivo que pueda implicar un nivel de parcialidad del examinador.

La fecha de recepción de las muestras que van a ser examinadas debe de aparecer indicada en el informe junto a una descripción de estas. De modo que cada elemento sea inequívocamente identificado. Cuando corresponda, debe aparecer una descripción sobre el estado, el embalaje y la condición en la que las muestras fueron recibidas para su posterior análisis. Los métodos analizados en el análisis y pruebas deben de mencionarse claramente en el informe o en un apéndice adjunto.

Para las pruebas cuantitativas, las cantidades de cifras significativas debe aparecer en el informe y si así el caso lo requiere o el cliente lo exige, las suposiciones y/o limitaciones sobre las cuales se basan los cálculos deben ser claramente indicado. Si la propia experiencia del ingeniero forense está involucrada en la toma de muestras y en las técnicas de análisis empleadas debe de aparecer en otras secciones del informe como observaciones basadas en hechos.

El autor de una opinión no debe de ir más allá de su área de especialización. En el caso que la interpretación de un resultado tienda a apoyar o refutar una hipótesis, no se debe de informar de manera que resulte neutral.

4.3 Contenido del informe. ^[1]

En este apartado se comentarán los aspectos más destacables de la Norma *UNE 197001. "Criterios Generales para la elaboración de informes y dictámenes periciales"* para realizar informes en el ámbito de fallos en el servicio de materiales. Mencionar, que existe una norma similar a esta para aplicarse al ámbito informático y electrónico cuyo nombre es *UNE 197010. "Criterios generales para la elaboración de informes y dictámenes periciales sobre Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC)"*.

4.3.1 Identificación

Esta norma advierte de la necesidad de la una correcta identificación del informe. Por ello, este debe de iniciarse con la siguiente información:

- El título y código de referencia de identificación. Debe de existir una correspondencia unívoca entre el código o la referencia del informe correspondiente.
- El destinatario al que se dirige el informe, ya sea una persona física o un organismo, y el número de expediente o procedimiento si lo hubiese.
- El nombre y apellidos del perito, su titulación, y, en su caso, colegio o entidad a la que pertenece, documento de identificación, domicilio profesional, teléfono, fax, correo electrónico y cualquier otro

identificador profesional que pudiera existir, salvo aquellos cuya revelación no sea legalmente procedente.

- El nombre, apellidos y documento de identificación del solicitante del informe o dictamen pericial, sea en nombre propio o en representación de otra persona física o jurídica, cuyos datos también figurarán y cualquier otro identificador que pudiera existir, cuya revelación sea legalmente procedente.
- Cuando proceda, nombre y apellidos del letrado y del procurador del solicitante.
- La fecha de emisión del informe o dictamen pericial.

4.3.2 Cuerpo del informe o dictamen pericial

El cuerpo del informe o dictamen pericial debe ser claramente comprensible por todos los interesados, especialmente en lo que se refiere a sus objetivos, las investigaciones realizadas y las razones que han conducido a las conclusiones adoptadas.

El título y el contenido de cada capítulo que compone el informe será el siguiente:

1. **Objeto.** En este capítulo del cuerpo del informe o dictamen pericial se debe indicar su finalidad.
2. **Alcance.** En este capítulo del cuerpo del informe o dictamen pericial se deben indicar las cuestiones planteadas por el solicitante.
3. **Antecedentes.** En este capítulo se deben indicar los hechos, cosas, sucesos o asuntos que se hayan producido con anterioridad al inicio del informe o dictamen pericial y que estén en conocimiento del perito.
4. **Consideraciones preliminares.** En este capítulo del cuerpo del informe o dictamen pericial se deben enumerar todos aquellos aspectos necesarios para la comprensión de la investigación llevada a cabo y de la metodología empleada.
5. **Documento de referencia.** Este capítulo del cuerpo del informe o dictamen pericial debe recoger el conjunto de disposiciones normativas, otras normas de no obligado cumplimiento, la buena práctica profesional y la bibliografía que se han tenido en cuenta, y que hayan sido citadas en el informe o dictamen pericial.
6. **Terminología y abreviaturas.** En este capítulo del cuerpo del informe o dictamen pericial se deben relacionar todas las definiciones de palabras técnicas, así como el desarrollo y significado de todas las abreviaturas o siglas que se hayan utilizado en el informe o dictamen pericial.
7. **Análisis.** En este capítulo del cuerpo del informe o dictamen pericial se deben describir las bases y datos de partida establecidos por el solicitante y los que se deriven de:
 - La legislación, reglamentación y normativa aplicables.
 - La investigación realizada encaminada a la definición de las conclusiones.
 - Las referencias, documentos, muestras y procedimientos de toma y conservación de las mismas que puedan fundamentar las conclusiones del informe o dictamen pericial.
 - También se deben indicar los distintos razonamientos estudiados, qué caminos se han seguido para llegar a ellos, las ventajas e inconvenientes de cada uno y cuál es la justificación de las conclusiones.

8. **Conclusiones.** En este capítulo del cuerpo del informe o dictamen pericial se debe establecer de forma inequívoca la interpretación técnica y experta resumida que se emite sobre los extremos que constan en el capítulo 2 de Alcance.
9. **Anejos.** Deben estar identificados de manera correlativa y paginados de forma inequívoca. Como anejo, se puede añadir las referencias, documentos, muestras y procedimientos de toma y conservación de las mismas que puedan fundamentar las conclusiones del informe o dictamen pericial.

4.4 Pautas para la redacción

Los resultados obtenidos durante la investigación del fallo del material en cuestión, deben ser recogidos en un escrito para informar de dichos resultados.

Existen varios formatos para redactar dichos informes. El más sencillo consiste en una narración donde el ingeniero describe las actuaciones realizadas en orden cronológico, desde que recibe la llamada del cliente hasta que obtiene todos los resultados de la investigación. Este tipo de escrito carece de complejidad y las evidencias son directas. Esta estrategia no será válida cuando la investigación sea complicada y requiera de un análisis minucioso donde las relaciones entre las diferentes partes del informe pueden resultar difusa.

En cualquier caso, el informe no debe prepararse como si se tratase de un documento académico, ya que esto dificultaría su comprensión. En ocasiones el receptor de este tipo de documentos no posee de conocimientos técnicos o no son experto en el campo de estudio. Por tanto, para determinar el formato a utilizar se considerará quién será el lector. Para satisfacer a los diferentes receptores, a menudo se utiliza un formato consistente con el método de investigación. Este transmite con éxito la información sobre el caso a diferentes profesionales, que puede elegir el nivel de detalle que deseen conocer del informe según las diferentes secciones que lo componen.

Generalmente, en la última página del cuerpo principal del informe, después de las conclusiones, el ingeniero autorizado firma y sella el escrito. También se debe mencionar a los profesionales técnicos que trabajaron bajo la dirección del ingeniero forense o grupo de ingenieros responsables.

Poner un índice puede resultar bastante útil para el lector con el objetivo de encontrar rápidamente las secciones en las que esté interesado. Por último, en los casos en que el informe es largo y complejo se suele adjuntar un resumen ejecutivo donde aparece los aspectos más destacados de la investigación.

5 PROCESO JUDICIAL

Un informe forense emitido por un ingeniero puede estar enmarcado en un contexto judicial. Según el Artículo 335. Objeto y finalidad del dictamen de peritos. Juramento o promesa de actuar con objetividad, “cuando sean necesarios conocimientos científicos, artísticos, técnicos o prácticos para valorar hechos o circunstancias relevantes en el asunto o adquirir certeza sobre ellos, las partes podrán aportar al proceso el dictamen de peritos que posean los conocimientos correspondientes o solicitar, en los casos previstos en esta ley, que se emita dictamen por perito designado por el tribunal”. Toda la legislación vigente sobre este tipo de procesos donde el ingeniero interviene se encuentra recogida en la Ley de Enjuiciamiento Civil desde el Artículo 335 al 352. En este capítulo se expondrán los artículos más relevantes para la comprensión del mismo.

El informe pericial puede estar dentro de un marco civil o penal. El derecho civil estudia y estipula los atributos de las personas físicas y jurídicas, dota de estructura jurídica a la familia y al patrimonio, y regula las relaciones entre particulares. Entre sus contenidos se encuentran el derecho de las personas, el derecho de familia, derecho real, derecho de sucesiones, derechos de las obligaciones, derecho de la responsabilidad civil y derechos intelectuales. En cambio, El derecho penal se puede definir como una disciplina jurídica que se encarga de estudiar el fenómeno criminal, el delito, el delincuente y la pena, a partir de lo cual se deducirán sus principios y normas jurídicas. El objetivo del derecho penal es el castigo de los delitos, mediante la aplicación de penas, para proteger a la sociedad de los delincuentes, ya sea aislándolos, ya sea imponiendo penas correctivas.

5.1 Juicios Civiles

En el caso de procesos civiles, el juez citará al ingeniero y todas las partes involucradas en el proceso podrán realizar preguntas al ingeniero. El ingeniero de la parte contraria intentará buscar contradicciones y errores en la declaración del ingeniero, pudiéndose abrir una discusión entre los ingenieros presentes. Esto es lo que se conoce como careo. En Civil se graba todo el proceso judicial y se realiza directamente en el juzgado de primera instancia. El juicio se celebra en una sala de vista en presencia de todas las partes. En este tipo de proceso no interviene la figura del fiscal.

5.2 Juicios Penales

Cuando se habla de un proceso penal, se debe diferenciar dos fases. La primera, denominada fase de instrucción y la segunda conocida como juicio oral. En la fase de instrucción se realiza una serie de investigaciones donde el ingeniero forense puede intervenir. En esta fase el ingeniero será interrogado por todas las partes involucradas incluido el ministerio fiscal y si el juez de instrucción decide abrir el juicio oral, el ingeniero será citado de nuevo para que declare ante el juzgado de lo penal o ante la Audiencia Provincial en los casos de mayor gravedad. Por otro lado, el ingeniero forense también puede ser citado para que declare en un juicio oral con un jurado. En este tipo de casos, el ingeniero deberá explicarle al jurado las causas del fallo del material.

En Juicios Penales, cuando nos encontramos frente a un proceso de sumario ordinario (Delitos castigados con penas superiores de 12 años). Todos los informes periciales tienen que estar hechos y firmados por dos ingenieros, ya que así lo dice la Ley de Enjuiciamiento Criminal.

En cualquiera de los casos citados anteriormente, el ingeniero tendrá que contestar una serie de cuestiones sobre el objeto de la pericia. En todo momento, tendrá que contestar con la verdad de lo ocurrido, ya que según el Artículo 335 de la ley de enjuiciamiento civil: “Al emitir el dictamen, todo perito deberá manifestar, bajo juramento o promesa de decir verdad, que ha actuado y, en su caso, actuará con la mayor objetividad posible, tomando en consideración tanto lo que pueda favorecer como lo que sea susceptible de causar perjuicio a cualquiera de las partes, y que conoce las sanciones penales en las que podría incurrir si incumpliere su deber como perito”

Sería conveniente destacar como el Juez nombra a un ingeniero forense. En el caso de Andalucía, la Junta de Andalucía a través de la Conserjería de Justicia tiene contratada a una empresa llamada TASSO que tiene peritos de diversas disciplinas. No obstante, la Junta de Andalucía no obliga al Juez a contratar a esos ingenieros. Sin embargo, el ingeniero forense que pertenezca a esta empresa no tendrá problema alguno a la hora del cobro por su trabajo. También puede ocurrir que el Juez se ponga en contacto con el Colegio de Ingenieros o que nombre a otro que no pertenezca a ninguna entidad.

Hay que remarcar la importancia de que el discurso de ingeniero forense sea didáctico, ya que las personas presentes en el juicio (salvo los ingenieros de la parte contraria) desconocen por completo cualquier término y concepto del ámbito ingenieril. Por ello, se debe ser lo más claro posible y explicar hasta el mínimo detalle. Esto hará que el discurso sea comprendido por todas las partes y reluzca el trabajo realizado. En caso, de no ser claros con las explicaciones que se den durante el juicio u omitamos conocimientos necesarios para la comprensión de lo ocurrido, el juez podría rechazar la demanda o dictaminar sentencia absolutoria por falta de pruebas.

5.3 Condiciones y actuaciones de un Ingeniero Forense en un proceso judicial [2]

Respecto a las posibles actuaciones de un ingeniero forense dentro del proceso judicial y citando el Artículo 347 de la Ley de Enjuiciamiento Civil. Posible actuación de los peritos en el juicio o en la vista. Los peritos tendrán en el juicio o en la vista la intervención solicitada por las partes, que el tribunal admita. El tribunal sólo denegará las solicitudes de intervención que, por su finalidad y contenido, hayan de estimarse impertinentes o inútiles, o cuando existiera un deber de confidencialidad derivado de la intervención del perito en un procedimiento de mediación anterior entre las partes.

En especial, las partes y sus defensores podrán pedir:

- Exposición completa del dictamen, cuando esa exposición requiera la realización de otras operaciones, complementarias del escrito aportado, mediante el empleo de los documentos, materiales y otros elementos a que se refiere el apartado 2 del artículo 336.
- Explicación del dictamen o de alguno o algunos de sus puntos, cuyo significado no se considerase suficientemente expresivo a los efectos de la prueba.
- Respuestas a preguntas y objeciones, sobre método, premisas, conclusiones y otros aspectos del dictamen.
- Respuestas a solicitudes de ampliación del dictamen a otros puntos conexos, por si pudiera llevarse a cabo en el mismo acto y a efectos, en cualquier caso, de conocer la opinión del perito sobre la posibilidad y utilidad de la ampliación, así como del plazo necesario para llevarla a cabo.
- Crítica del dictamen de que se trate por el perito de la parte contraria.
- Formulación de las tachas que pudieren afectar al perito.

El tribunal podrá también formular preguntas a los peritos y requerir de ellos explicaciones sobre lo que sea objeto del dictamen aportado, pero sin poder acordar, de oficio, que se amplíe, salvo que se trate de peritos designados de oficio conforme a lo dispuesto en el apartado 5 del artículo 339.

Respecto a las condiciones que los ingenieros forenses deben reunir, según el Artículo 340 de la Ley de Enjuiciamiento Civil. Condiciones de un perito:

- Los peritos deberán poseer el título oficial que corresponda a la materia objeto del dictamen y a la naturaleza de éste. Si se tratare de materias que no estén comprendidas en títulos profesionales oficiales, habrán de ser nombrados entre personas entendidas en aquellas materias.
- Podrá asimismo solicitarse dictamen de Academias e instituciones culturales y científicas que se ocupen del estudio de las materias correspondientes al objeto de la pericia. También podrán emitir dictamen sobre cuestiones específicas las personas jurídicas legalmente habilitadas para ello.
- En los casos del apartado anterior, la institución a la que se encargue el dictamen expresará a la mayor brevedad qué persona o personas se encargarán directamente de prepararlo, a las que se exigirá el juramento o promesa previsto en el apartado segundo del artículo 335.

5.4 Tachas de los peritos [2]

Las tachas son alegaciones que se hacen por algún litigante pretendiendo desvirtuar la fuerza probatoria de lo declarado por algún o algunos testigos o del dictamen emitido por algún perito por considerar que puede ser parcial en sus declaraciones. Con las tachas no se demuestra directamente la falta de veracidad del testigo o la incorrección del dictamen. De ahí que el juez al valorar la prueba deberá tener en cuenta la existencia de tachas, para apreciar lo que crea conveniente. Este proceso viene también recogido en la Ley de Enjuiciamiento Civil en el Artículo 343. Tachas de los peritos. Tiempo y forma de las tachas. En este se dice lo siguiente:

Sólo podrán ser objeto de recusación los peritos designados judicialmente.

- En cambio, los peritos no recusables podrán ser objeto de tacha cuando concurra en ellos alguna de las siguientes circunstancias:
- Ser cónyuge o pariente por consanguinidad o afinidad, dentro del cuarto grado civil de una de las partes o de sus abogados o procuradores.
- Tener interés directo o indirecto en el asunto o en otro semejante.
- Estar o haber estado en situación de dependencia o de comunidad o contraposición de intereses con alguna de las partes o con sus abogados o procuradores.
- Amistad íntima o enemistad con cualquiera de las partes o sus procuradores o abogados.
- Cualquier otra circunstancia, debidamente acreditada, que les haga desmerecer en el concepto profesional.

Las tachas no podrán formularse después del juicio o de la vista, en los juicios verbales. Si se tratare de juicio ordinario, las tachas de los peritos autores de dictámenes aportados con demanda o contestación se propondrán en la audiencia previa al juicio.

5.5 Mediación en asuntos civiles y mercantiles [3]

Es un proceso donde asuntos civiles, como por ejemplo la rotura de un componente de un coche, se intentan resolver en privado para evitar ir a juicio. Todo lo que se debe saber sobre este tipo de procesos está reflejado en la *Ley 5/12 del de Julio. Mediación en asuntos civiles y mercantiles*. El ingeniero forense puede adoptar la figura del mediador para aclarar lo ocurrido, en el caso de que el asunto de la mediación esté relacionado con un tema ingenieril.

La mediación está basada en la voluntariedad y libre decisión de las partes donde interviene un mediador, el cual debe tener una actitud activa con la finalidad que ayude a la resolución del conflicto entre las partes. La figura del

mediador es la pieza esencial de este proceso pues es quien ayuda a encontrar una solución dialogada y voluntaria.

Los procesos de mediación se realizan en diversos ámbitos profesionales y sociales, lo que hace que sea necesario habilidades que dependerán de la naturaleza de la mediación. Por esta razón, el mediador tendrá que tener una formación general que le permita ejercer esta tarea y ofrecer una garantía de su trabajo, pues en caso contrario podría incurrir en responsabilidades civiles. Dicho proceso se articula como un procedimiento de fácil tramitación, poco costoso y de corta duración con la finalidad de eliminar efectos jurídicos no deseados. La mediación se puede aplicar en temas civiles o mercantiles, cuando al menos una de las partes tenga su domicilio en España y la mediación se haga en territorio español. Este tipo de procedimiento no se puede aplicar en temas penales, con administraciones públicas, en asuntos laborales o en temas de materia de consumo.

En el procedimiento de mediación se garantiza que las partes intervengan de manera igualitaria respetándose en todo momento sus opiniones y oportunidades, sin que el mediador pueda actuar en perjuicio o interés de alguna de ellas. Por lo tanto, el mediador deberá de ser neutro para permitir que se alcance un acuerdo mutuo por sí mismo entre las partes involucradas.

El procedimiento de mediación y documentación utilizada en él será de carácter confidencialidad. Esta obligación se aplicará también al mediador, que quedará protegido por el secreto profesional, Esto hace que los mediadores y las personas que intervengan no estén obligados a declarar o aportar documentación en un procedimiento judicial o en un arbitraje sobre la información y documentación aportada en el proceso de mediación. Este carácter confidencialidad no se aplicará en los siguientes casos:

- Cuando exista un documento emitido por las partes donde dispensen la confidencialidad.
- Cuando, mediante una resolución jurídica, sea solicitado por los jueces del orden jurisdiccional penal.

Respecto a las condiciones para ejercer de mediación se pueden destacar las siguientes:

- Pueden ser mediadores las personas que se encuentren en pleno ejercicio de sus derechos civiles y siempre que la legislación de su profesión no se lo impida.
- El mediador tendrá que poseer un título oficial universitario o de formación profesional superior y además contar con formación específica para realizar este tipo de actividad. Esta formación se adquiere mediante cursos impartidos por instituciones acreditadas.
- El mediador deberá de suscribir un seguro o garantía que cubra la responsabilidad civil por su actuación.

Cabe preguntarse cuáles serán las actuaciones que tendrá que realizar el ingeniero forense como mediador. Estas son:

- Facilitar la comunicación entre las partes y velar porque tengan información y asesoramiento suficiente.
- El mediador tiene que desarrollar una conducta que permita conseguir un acercamiento entre las partes.
- El mediador podrá renunciar a la mediación siempre que entregue un acta a las partes donde aparezca su renuncia.
- Este no podrá iniciar o deberá abandonar la mediación cuando alguna circunstancia afecte a su imparcialidad. Por este motivo, el mediador se verá en el deber de revelar cualquier hecho que afecte a la imparcialidad o genere un conflicto de intereses. En estos casos, el mediador solo podrá aceptar o continuar la mediación cuando asegure poder tener total imparcialidad y siempre que las partes involucradas en el conflicto lo consientan.

La mediación, como cualquier otro proceso tiene derivado unos costes. En general, estos costes se dividirán de manera equitativa entre las partes, salvo caso contrario. Tanto los mediadores como la institución de mediación pueden exigir a las partes la provisión de fondos que vean necesaria. En el caso de que alguna de las partes no realice el pago dentro del plazo acordado, el mediador puede concluir con su trabajo.

Ahora se explicará los pasos que constan una mediación. En primer lugar, se encuentra la solicitud de inicio que

puede iniciarse por un acuerdo mutuo entre las partes o por una de las partes en cumplimiento de un pacto de sometimiento a mediación existente. La solicitud se formulará ante instituciones de mediación o ante el mediador propuesto o designado. A continuación, tendrá que darse un proceso de sesiones informativas. En el caso de inasistencia injustificada de cualquiera de las partes a la sesión informativa se entenderá que desisten de la mediación. Dicha información donde las partes no asistieron no tendrán un carácter confidencial. En esta sesión el mediador informará a las partes de las posibles causas que puedan afectar a su imparcialidad, de su profesión, formación y experiencia; así como de las características de la mediación, su coste, la organización del procedimiento y las consecuencias jurídicas del acuerdo que se pudiera alcanzar.

El procedimiento de mediación comenzará mediante una sesión constitutiva en la que las partes expresarán su deseo de desarrollar la mediación y dejarán constancia de los siguientes aspectos:

- La identificación de las partes.
- La designación del mediador y, en su caso, de la institución de mediación o la aceptación del designado por una de las partes.
- El objeto del conflicto que se somete al procedimiento de mediación.
- El programa de actuaciones y duración máxima prevista para el desarrollo del procedimiento.
- La información sobre los costes del proceso.
- La declaración de aceptación voluntaria por las partes de la mediación.
- El lugar de celebración y la lengua del procedimiento.

El desarrollo de la mediación se realizará mediante sesiones, las cuales deben de convocarse con suficiente antelación y pueden realizarse de manera no simultaneas entre las partes. Este proceso terminará con un acuerdo o sin haberse alcanzado. Al finalizar el proceso se devolverán a cada parte los documentos aportados y con un acta firmada por las partes y el mediador donde se refleje la conclusión del procedimiento y los acuerdos alcanzados. El acuerdo de mediación se presentará por las partes ante un notario acompañado de copia de las actas de la sesión constitutiva y final del procedimiento, sin que sea necesaria la presencia del mediador.

6 PROCESO DE COBRO

Para concluir con esta guía de actuación se abordará los temas relacionados con el cobro por el trabajo realizado por el ingeniero forense. Este trámite variará dependiendo de si el informe es encargado por un juez, por las partes implicadas en el fallo del material o si es un cliente particular.

En el caso que requiera del servicio del ingeniero en un proceso judicial alguna de las partes el pago debe de realizarse antes que se celebre el juicio. Para certificar que el cobro se ha producido, se emitirá una prueba documental de que se ha cobrado los honorarios por el trabajo realizado. En la factura figurarán diferentes conceptos por los que se cobra: horas, medios materiales, desplazamientos, dietas, y cualquier otro gasto imputable. Los precios quedan sujetos al ingeniero.

Por el contrario, si la figura del ingeniero interviene en un juicio por encargo de un juez, al finalizar este puede darse varios casos en el proceso de cobro. En primer lugar, el juez puede dictaminar que el culpable por el fallo es el que debe hacerse cargo del pago, teniendo que pagar incluso al ingeniero contratado por la otra parte imputada, en el caso que lo hubiese. Esto es lo que se conoce como condenado en costas. El procedimiento que se sigue es que el condenado tiene que ingresar en una cuenta del juzgado los costes para que el pago lo pueda realizar el secretario judicial. En el caso que el culpable se declare insolvente, la legislación decidirá a quien se le transferirá la obligación. En Andalucía, será la Junta de Andalucía la que debe realizar el pago si el culpable es insolvente.

También puede ocurrir que el juez dictamine que cada una de las partes debe hacerse cargo del pago del ingeniero que haya contratado (*“Sin mención expresa de cobro”*). Por último, el juzgado puede pagar también al ingeniero. Sin embargo, esto no se realizará hasta que acabe el juicio, pues el juez, como se ha mencionado anteriormente, puede imputar el coste a alguna de las partes. Los tiempos de pago pueden variar dependiendo de lo que tarde el juez dictamine sentencia.

En cualquiera de los casos, el ingeniero contratado en un proceso judicial, no puede cobrar por adelantado. Una vez que se le encomiende el caso y el ingeniero lo acepte, puede (dentro de un plazo) solicitar una provisión de fondos que quedará depositada en el Juzgado hasta la finalización de la acción pericial. Esto no permite cobrar por adelantado, pero asegura que esa cantidad depositada será cobrada por el ingeniero de manera segura. Según el Art. 342.3. *“El perito designado podrá solicitar, en los tres días siguientes a su nombramiento, la provisión de fondos que considere necesaria, que será a cuenta de la liquidación final. El tribunal, mediante providencia, decidirá sobre la provisión solicitada y ordenará a la parte o partes que hubiesen propuesto la prueba pericial y no tuviesen derecho a la asistencia jurídica gratuita, que procedan a abonar la cantidad fijada en la Cuenta de Depósitos y Consignaciones del tribunal, en el plazo de cinco días”*

Legalmente, el ingeniero forense tiene la obligación de realizar una factura. Si esta no se va a cobrar en un plazo de tiempo razonable, se puede expedir un escrito a la Hacienda Tributaria para que el IVA sea devuelto. Sin embargo, esta reclamación no se puede realizar hasta después de 9 a 15 meses, por lo tanto, el ingeniero tendrá que pagar el IVA de manera adelantada.

Finalmente, si el caso es de una persona o entidad particular (sin proceso judicial), la vía y los tiempos de cobro serán acordado entre el ingeniero y el cliente.

7 CASO PRÁCTICO: ROTURA DE UNA MATRIZ DE PULVIMETALURGIA

Las matrices de pulvimetalurgia suelen fabricarse en aceros de herramientas cuya elevada dureza los hace sensible a las fracturas repentinas. Para realizar una diagnosis del fallo se debe tener en cuenta el diseño de la herramienta, la selección del material, las operaciones de conformado, el acabado superficial, los tratamientos térmicos y las condiciones de uso. El estudio de estas variables permitirá obtener una conclusión de lo ocurrido. Se deberá buscar si la matriz está bien diseñada, si existen defectos metalúrgicos por una estructura incorrecta o si durante la fabricación se han producido fenómenos de fragilización o microfisuras.

La pieza de estudio es una matriz de acero F-522 cuyo objetivo es la preparación de compactos pulvimetalúrgicos cilíndricos. Dicha pieza se rompió al aplicarse una fuerza uniaxial de compresión de 200 KN durante el proceso de compactación. Se llevará a cabo un análisis de fallo para determinar la fuerza máxima que podría soportar la matriz y se valorará si la magnitud de esta está dentro de los valores que debería soportar la pieza o, por el contrario, si algún defecto durante el proceso de fabricación ha influenciado para que se produjera la rotura.

7.1 Materiales y Método Experimental

Como se mencionó anteriormente, la matriz fue fabricada en el acero de herramientas F-522, un acero indeformable al Mn cuyas propiedades lo hacen idóneo para realizar trabajos en frío. Su composición media nominal según la *UNE-EN ISO 4957: Aceros para herramientas* es la siguiente:

Tabla 9. Composición media nominal del acero F-522

C	Si	Mn	Cr	V	W
0,95	0,25	1,2	0,53	0,13	0,55

La geometría de la pieza es cilíndrica con una perforación en el centro y sus dimensiones son 80 mm de altura, 9 mm de diámetro interior y 90 mm de diámetro exterior.

La dureza que debe tener este tipo de matrices según la Norma *UNE-EN ISO 4957: Acero para herramientas* es de 60 HRC.

Las propiedades mecánicas del acero F-522, según el programa CES EDUPACK son:

Tabla 10. Propiedades del acero F-522

M. Young	C. Poisson	Límite elástico
190 GPa	0,29	1,97 MPa

El procedimiento experimental que se ha seguido para encontrar el origen del fallo ha sido:

- Macrografías y micrografías
- Medidas de dureza

- Observación en el Microscopio Electrónico de Barrido.
- Análisis mediante Elementos Finitos

7.2 Resultados y Discusión

7.2.1 Observaciones visuales

Las siguientes imágenes se observa la matriz de estudio desde diferentes perspectivas, así como el aspecto de la fractura y el inicio de la grieta. La fractura se inició en el interior de la pieza y se propago hacia el exterior, siguiendo la dirección del eje de la matriz de manera ascendente y generando zonas abruptas y fibrosas.

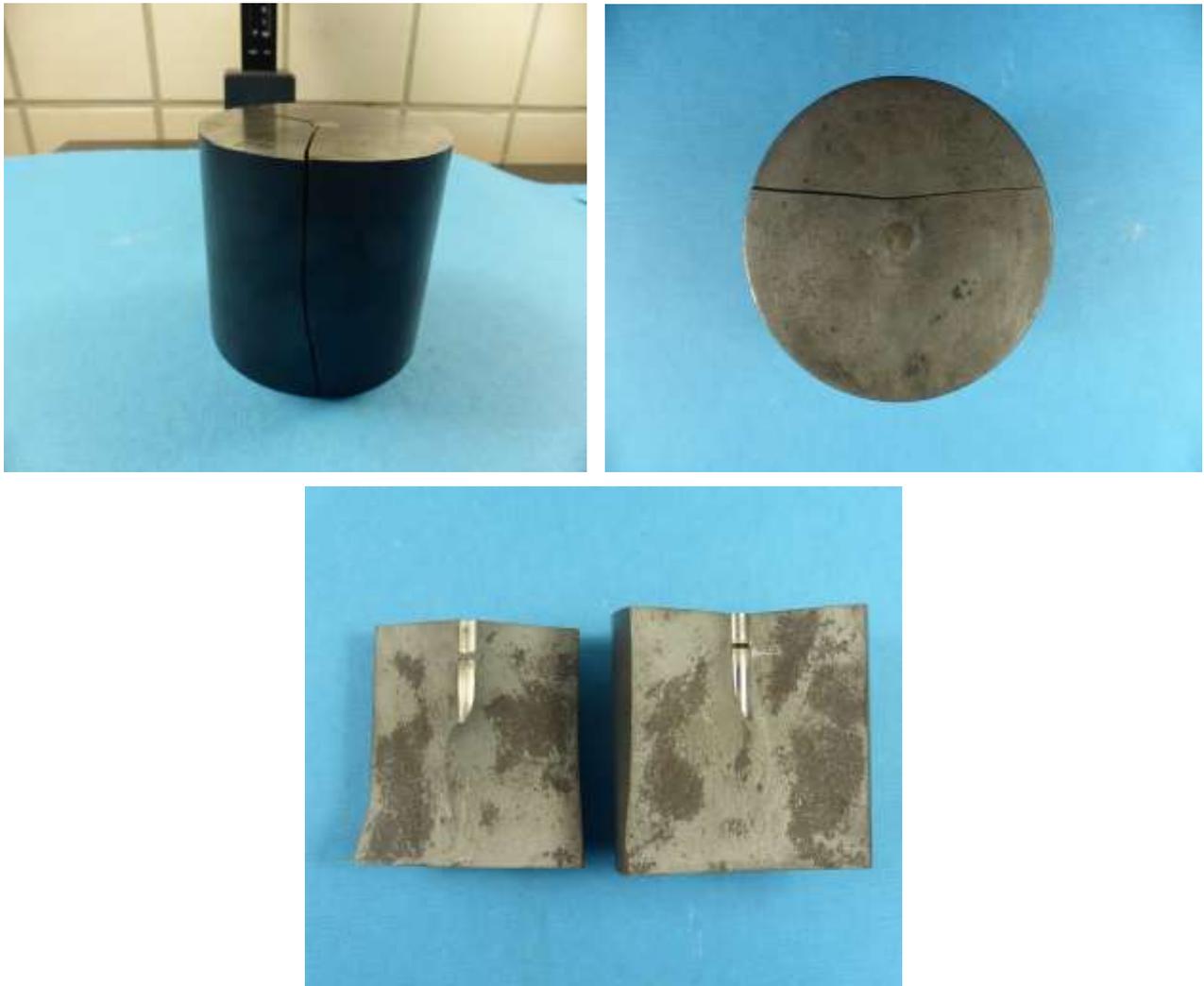


Figura 5. Imágenes de la matriz de pulvimetalurgia fracturada. Las zonas más oscuras son debidas a la corrosión que ha sufrido tras la rotura.



Figura 6. Zona de inicio de la grieta.

7.2.2 Análisis metalográfico

De la zona donde se inició la fractura, se han extraído dos muestras para realizarle un estudio metalográfico, con la finalidad de observar la estructura de este tipo de acero y determinar si el origen del fallo se le puede atribuir a este motivo.

Las muestras se han extraído de la pieza mediante un mecanizado, se han encapsulados en un epoxi, se han desbastados y pulido con diamante y una de ellas se atacó con Nital. Ambas muestras se visualizaron en el microscopio óptico. Los resultados fueron los siguientes:

La figura 6 pertenece a la muestra atacada por Nital, en ella se puede observar los carburos alineados en dirección al eje de la matriz. La presencia de carburos en este tipo de aceros es característico debido a las características mecánicas que debe tener.

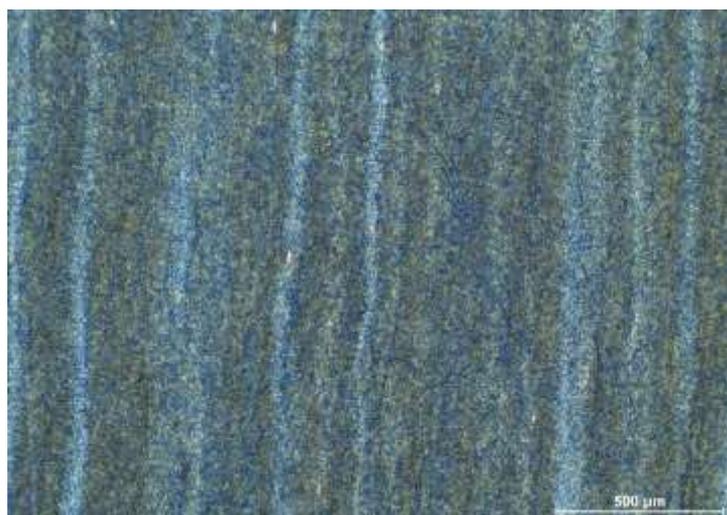


Figura 7. Alineación de carburos.

En la figura 8, se aprecia la distribución de carburos y la estructura martensítica generada debido al temple que se le realizó a la pieza durante su procesado. Los carburos tienen una distribución y tamaño heterogéneos. Este hecho hace que las propiedades de la matriz sean menores pudiendo haber intervenido en el fallo. Tanto la distribución como los tamaños de los carburos es causa de un mal temple de la pieza.

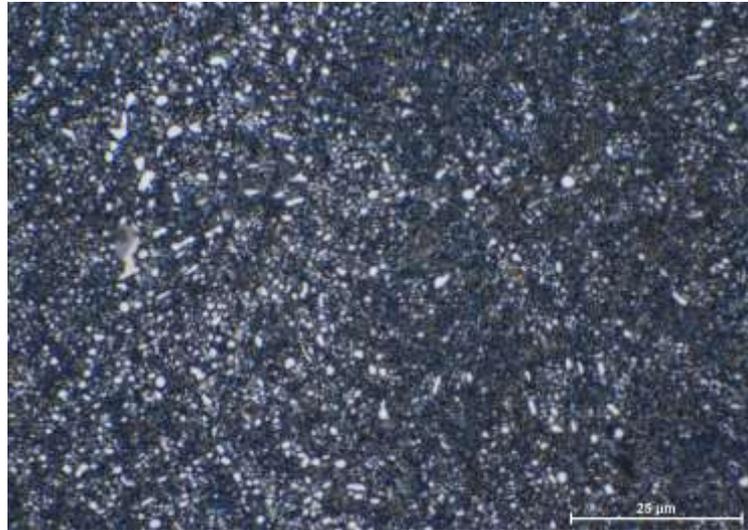


Figura 8. Estructura de martensita y carburos.

En esta imagen en concreto se observan inclusiones alargadas. Este tipo de inclusiones se han encontrado en varias partes de la muestra analizada, lo que puede haber afectado a las propiedades mecánicas del material.



Figura 9. Inclusiones en la estructura.

Por último, se realizó un análisis en el microscopio con la muestra que no fue atacada con Nital, observándose una distribución de inclusiones a lo largo de la muestra.



Figura 10. Muestra sin atacar donde se observa las inclusiones de la pieza.

7.2.3 Dureza

Para realizar este tipo de ensayo se hicieron dos tipos de dureza: Vickers (VH10) y Rockwell C (HRC).

Se realizaron varias indentaciones en la muestra y los resultados promedios son:

Tabla 11. Valores de dureza F-522

VH10	HRC
514	57,5

Se observa que la dureza HR es algo inferior a lo que a Norma *UNE-EN ISO Acero para herramientas* (60 HRC)

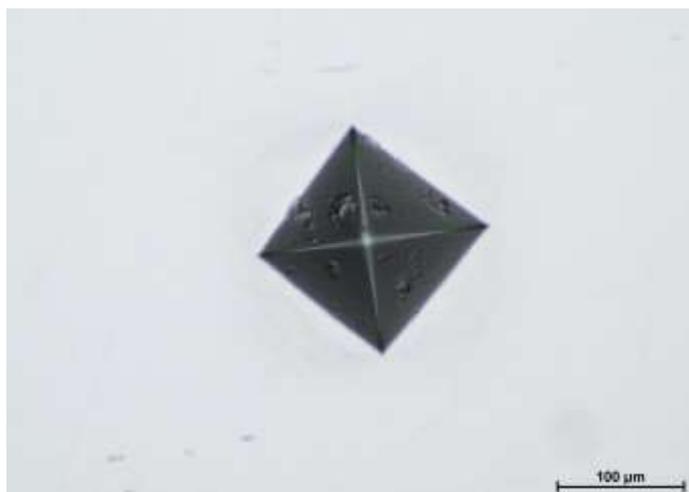


Figura 11. Huella de la indentación VH10 realizada a la muestra.

7.2.4 Análisis de tensiones mediante Elementos Finitos

Empleando el programa Abaqus, basado en el método de los elementos finitos, aplicando el criterio de deformación plana, se ha calculado el valor de las tensiones en la matriz para una fuerza de 200 KN hidroestática (fuerza a la que ocurrió la rotura. Se ha utilizado un mallado cuadrilátero lineal.

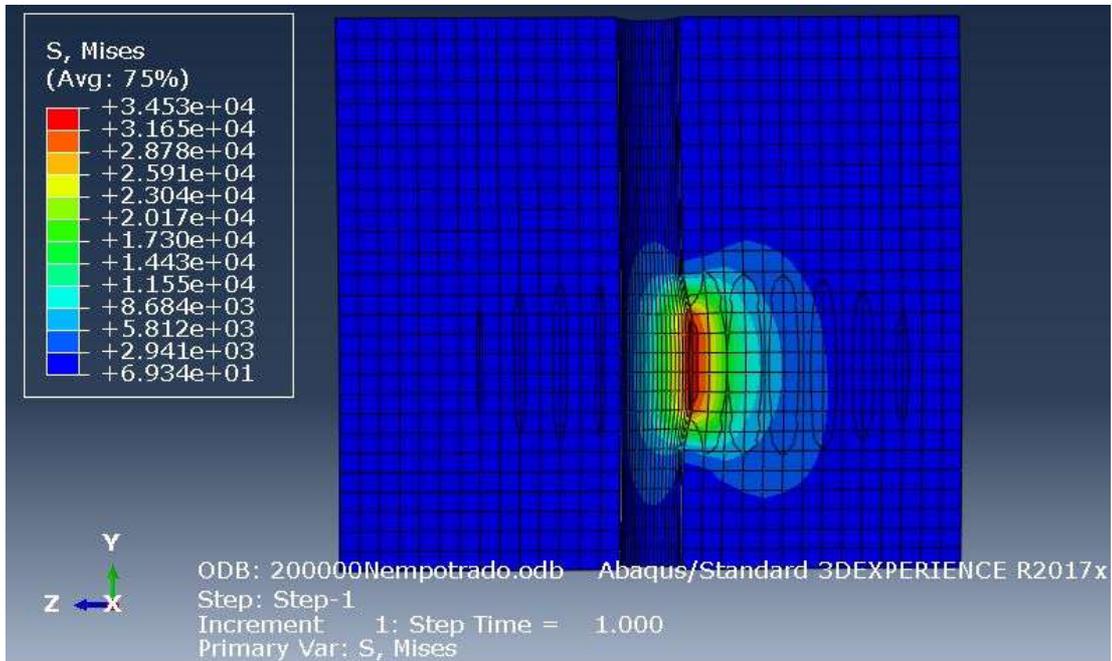


Figura 11. Tensiones (MPa) de Von Mises en la matriz para una fuerza de 200 KN.

Como se observa en la Figura 11 los valores de tensión supera con creces el valor del límite elástico de la pieza (192 MPa), por tanto, se puede afirmar que la causa principal del fallo es la aplicación de una fuerza de compresión superior a la que la matriz podía soportar. Además, en esta figura se aprecia la deformación generada por los polvos compactados.

Se ha realizado también un análisis para saber cual es la fuerza máxima que se le podría aplicar a esta matriz. En la Figura 12, se observa que la matriz admite hasta una 1,1 KN, ya que se alcanza en la zona donde se inicia la fractura un valor de 189 MPa, valor que se aproxima al límite elástico del material (Criterio de Von Mises) sin alcanzarlo.

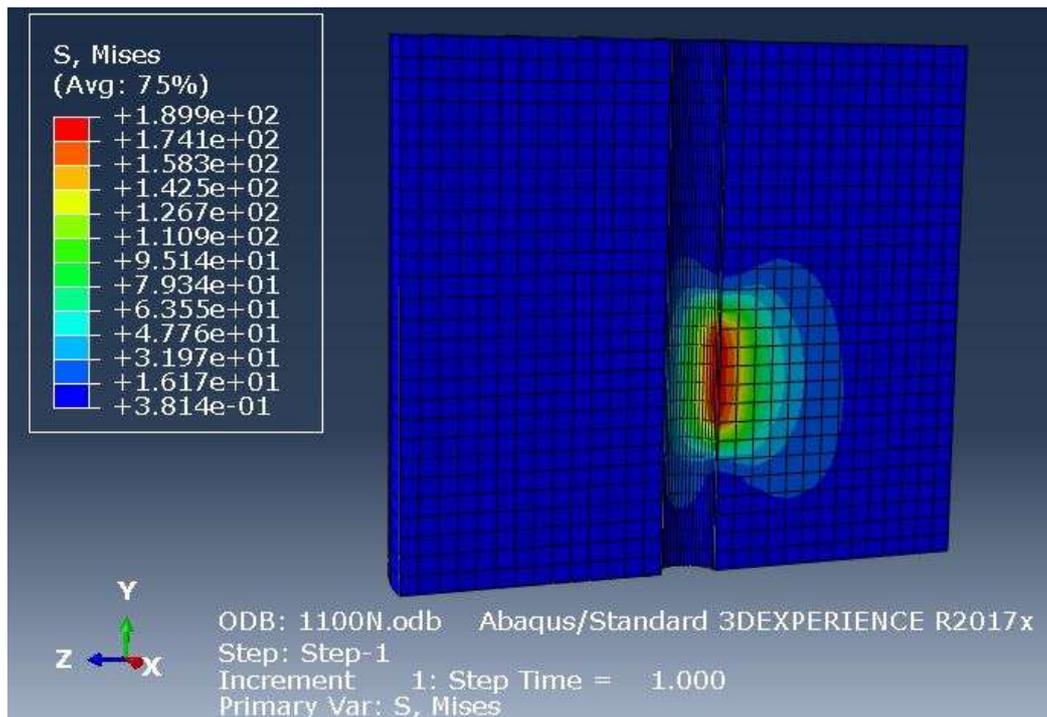


Figura 12. Tensiones (MPa) de Von Mises en la matriz para una fuerza de 1,1 KN.

7.2.5 Análisis con Microscopio Electrónico de Barrido

El examen interno de la muestra obtenida de la zona donde se inició la grieta muestra una gran cantidad de óxidos lo que dificulta la visualización. Estos óxidos han aparecido por una incorrecta conservación de la pieza tras la fractura. Sin embargo, en la figura 12 se observa que la fractura ha sido de tipo frágil y que la rotura es de tipo intergranular, en vez de transgranular. Este hecho indica que ha habido un incorrecto proceso de fabricación ya que, la rotura se extiende a través de los límites de granos de la estructura.

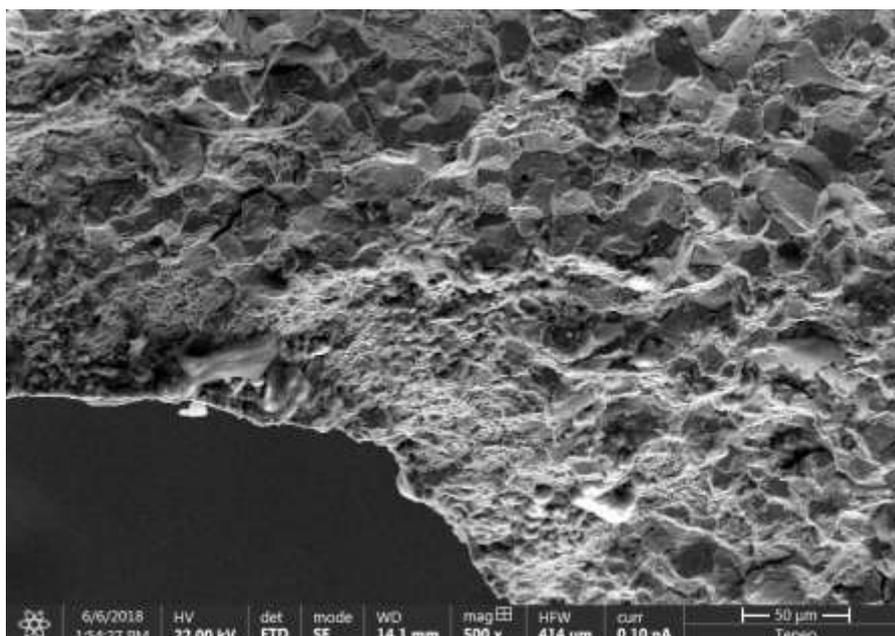


Figura 13. Micrografía SEM del aspecto de la zona de inicio de la fractura.

Por otro lado, se ha calculado el tamaño de grano según la Norma ASTM E-112, ya que en la Figura 14, se aprecian granos con un tamaño bastante elevado. Para el cálculo se han utilizado las siguientes expresiones:

$$n = 2^{N-1}$$

Siendo n el número de granos en una pulgada cuadrada, N el número de grano ASTM.

Para ello se ha considerado la siguiente sección de la micrografía (cuadrado amarillo) de la Figura 14 y se ha obtenido un valor de $N=5,81$. Según la Norma ASTM E-112, valores de $N=8$ e inferiores indican que el tamaño de grano es inadecuado (demasiado grande). Este fenómeno es debido a un tratamiento térmico deficiente. En el caso de estudio, el elevado tamaño de los granos y su no homogeneidad han causado que la pieza posea demasiada fragilidad. Esto hace que sus propiedades mecánicas no sean las adecuadas, haciendo que la pieza rompa a fuerzas de compresión más pequeñas de las esperadas.

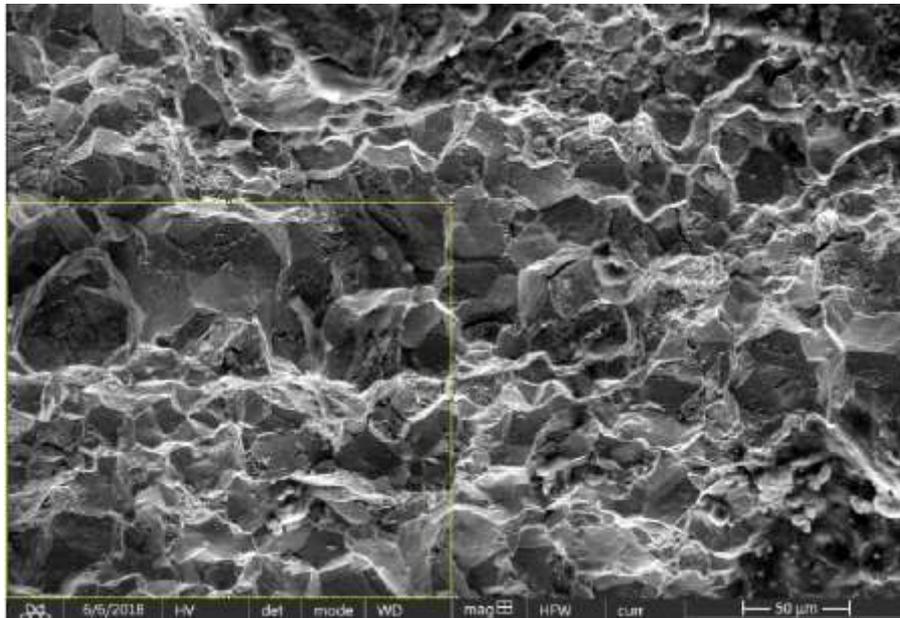


Figura 14. Micrografía SEM mediante la cual se ha calculado el tamaño de grano.

7.2.6 Conclusiones

La causa del fallo ha sido la aplicación de una carga de orden muy superior a la que la matriz podía soportar. Sin embargo, el incorrecto temple que se le realizó de la matriz durante su proceso de fabricación ha originado una distribución de carburos heterogénea, un elevado tamaño de grano con una distribución de estos no homogéneas, dotándole a la matriz de una gran fragilidad y que su rotura sea intergranular.

Finalmente, se puede añadir que, para solucionar los problemas derivados del procesado del material, la Norma *UNE-EN ISO 4957: Acero para herramientas* propone una temperatura de temple de 800 ± 10 °C en un medio de aceite y una temperatura de revenido de 180 ± 10 °C

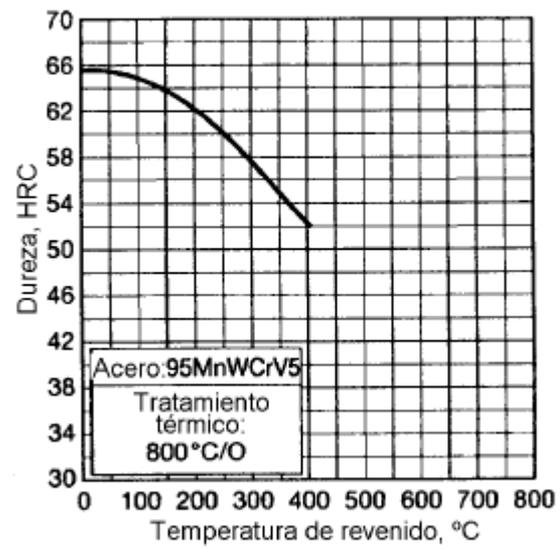


Figura 15. Influencia de la temperatura de revenido con la dureza HRC.

REFERENCIAS

[1] Norma UNE 197001. Criterios generales para la elaboración de informes y dictámenes periciales

[2] Ley de Enjuiciamiento Civil .

[3] Ley de 5/12 de Julio. Mediación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Normas ISO
2. Norma UNE 197001. “Criterios generales para la elaboración de informes y dictámenes periciales”
3. Ley de Enjuiciamiento Civil
4. Ley 5/12 de Julio. Mediación en asuntos civiles y mercantiles
5. <https://www.pdcahome.com/7642/analisis-de-causa-raiz-metodologia-para-investigar-y-resolver-incidencias/>
6. http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_333.pdf
7. <https://www.gestiopolis.com/que-es-un-diagrama-de-afinidad/>
8. <https://calidadgestion.wordpress.com/2012/09/11/mejora-continua-diagrama-de-pareto/>
9. <http://gio.uvigo.es/asignaturas/gestioncalidad/GCal0405.DiagramaPareto.pdf>
10. <https://www.gestiopolis.com/diagramas-causa-efecto-pareto-y-de-flujo-elementos-clave/>
11. <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/ENSAYOS%20DE%20MATERIALES/RESUMEN%20DE%20TIPOS%20DE%20ENSAYOS..pdf>
12. http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/tecnologia-de-materiales-industriales/practicas-1/Practica_II-TRACCION.pdf
13. <http://www.cyti.com.mx/doblez.asp>
14. https://www.fro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/2_anio/tecno_materiales/files/TP%20N%C2%B013%20-%20Plegado.pdf
15. http://190.105.160.51/~material/materiales/lab/guia_metalograf%EDa
16. Metals Handbook. Vol. 11: Failure Analysis and Prevention. ASM International, 2002.
17. Forensic Engineering. K.L. Carper, Ed. CRC press. Boca Raton, 2001.
18. Jose Luis Otegui, Failure Analysis: Fundamentals and Applications in Mechanical Components.
19. How to organize and run a failure investigation [Recurso electrónico] / Daniel P. Dennies | ASM International | 2005 |
20. UNE-EN ISO 4957: Acero para herramientas
21. Norma ASTM E-112
22. CES EDUPACK
23. <https://experts-institute.eu/en/>
24. www.consejoperitos.com/peritos-judiciales.html
25. <http://www.nafe.org/>
26. <https://www.americanbar.org/aba.html>
27. <https://www.nspe.org/>
28. <https://www.structural-safety.org/about-us/>
29. <https://www.asce.org/forensic-engineering/forensic-engineering-division/>
30. <https://www.asce.org/forensic-engineering/forensic-engineering-division/>

31. <https://www.ieee.org/>
32. <https://www.aiche.org/>
33. <https://www.ansi.org/>
34. <https://www.astm.org/>
35. <http://www.esade.edu/research-webs/esp/ipdp>
- 36.

