

**Estudio del comportamiento de los filamentos  
de las lámparas incandescentes y su  
aplicación en la investigación de los  
accidentes de tráfico.**

**Realizado por:  
Jesús Vega Padillo**

**Dirigido por:  
Miguel Ángel Castillo Jiménez**



### Agradecimientos:

A mi profesor tutor, D. Miguel Ángel Castillo Jiménez, Ingeniero Técnico Industrial y Máster en Ingeniería de Fabricación, Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Mecánica y de los Materiales de la Universidad de Sevilla en la Escuela Universitaria Politécnica y Experto Universitario en Tasación y Valoración de Daños, por la orientación, consejos, implicación para la realización del Proyecto. Sin su sabiduría, paciencia, amistad y confianza en mí no hubiera podido conseguir el objetivo final.

A D. Juan Manuel Jaramillo Pareja, Técnico de Talleres y Laboratorios del Departamento de Ingeniería Mecánica y de los Materiales por su asistencia, colaboración y su disponibilidad a la hora de la realización de los ensayos.

Al Departamento de Ingeniería Mecánica y de los Materiales por las facilidades otorgadas para la utilización de los Talleres y Laboratorios en la Escuela Politécnica Superior.

A mi familia y todos los amigos que me han apoyado en la realización del trabajo, me han dado consejos, ánimos y me han apoyado a lo largo de la realización del mismo, en especial a Carlos Enrique Molina Pérez, por las horas compartidas en la realización del trabajo.

# **ÍNDICE**

## **Capítulo I. Introducción**

1.1 Los accidentes de automóvil: Importancia social y económica del problema.....	10
1.2 Investigación de accidentes de tráfico.....	13

## **Capítulo II. Objeto del Proyecto**

2.1 Motivos.....	17
2.2 Objeto del Proyecto.....	18

## **Capítulo III. Antecedentes y Estado del arte.**

3.1. Lámparas incandescentes	
3.1.1. Historia de la lámpara incandescente.....	21
3.2. Lámparas encendidas permanentemente.....	28
3.2.1. La lámpara de Livermore símbolo del movimiento SOP (Sin Obsolescencia Programada).....	31
3.2.2. La lámpara eterna.....	32
3.3. Estructura de una lámpara incandescente.....	35
3.3.1. Elementos de una lámpara incandescente.....	35
3.3.2. Funcionamiento de una lámpara incandescente.....	37

## **Capítulo IV. Lámparas para automóviles**

4.1 Tipos de lámparas de automóvil	
4.1.1. Lámparas Halógenas.....	42
4.1.2. Faros de Xenón.....	44
4.1.3. Lámparas Led.....	45

4.2. Modelos de lámparas usadas en el automóvil.....	47
4.2.1. Lámparas de la parte delantera del automóvil.....	47
4.2.1.1. Luces de estacionamiento.....	47
4.2.1.2. Luces largas y de cruce.....	49
4.2.1.3. Intermitentes delanteros.....	50
4.2.1.4. Luces anti nieblas delanteras.....	51
4.2.2. Lámparas de la parte trasera del automóvil.....	52
4.2.2.1. Intermitentes traseros.....	52
4.2.2.2. Luz trasera del automóvil.....	53
4.2.2.3. 3ª luz de freno.....	54
4.2.2.4. Luces de freno.....	54
4.2.2.5. Luz de matrícula.....	55
4.2.2.6. Luz de marcha atrás.....	56
4.2.2.7. Luces delanteras de posición.....	56
4.2.2.8. Luces anti nieblas traseras.....	56
4.3. Lámparas LEDs en automóviles.....	56
4.3.1. Como sustitución de las lámparas W5W.....	57
4.3.2. Para sustitución de lámparas con base Ba9s.....	57
4.3.3. Como sustitución de la lámpara C5W.....	58
4.3.4. Para sustituir la luz trasera.....	58
4.3.5. Para la luz de freno.....	59
4.4. Justificación del uso de lámparas de incandescencia en los automóviles.....	59

## **Capítulo V: Oxidación del Wolframio**

5.1. Introducción al Wolframio.....	62
5.2 Historia del Wolframio.....	62
5.3. Extracción del Wolframio.....	63
5.3.1. Minerales de Wolframio.....	64
5.3.2. Tipos de minerales.....	65

5.4. Propiedades del Wolframio.....	67
5.4.1. Núcleo atómico del Wolframio.....	67
5.4.2. Configuración electrónica del Wolframio.....	68
5.4.3. Propiedades estructurales.....	69
5.4.3.1. $\alpha$ -Wolframio.....	71
5.4.3.2. $\beta$ -Wolframio.....	72
5.4.3.3. $\gamma$ -Wolframio.....	74
5.4.3.4. Defectos en la red.....	75
5.5. Estudio de la oxidación del Wolframio.....	76
5.5.1. Oxidación del Wolframio por aire u Oxígeno.....	77
5.5.2. Estudio del sistema Wolframio-Oxígeno.....	79
5.5.2.1. Estequiometría de los óxidos binarios de Wolframio.....	80
5.6. Grado de oxidación del Wolframio.....	89

## **Capítulo VI. Envejecimiento y cambio de propiedades del Wolframio**

6.1. Filamento de Wolframio.....	92
6.2. Fabricación del filamento de Wolframio.....	95
6.2. Envejecimiento del filamento de Wolframio.....	96
6.2.1. Ejemplos de envejecimiento del filamento de Wolframio...	97
6.3. Propiedades mecánicas del Wolframio.....	99
6.3.1. Propiedades elásticas del Wolframio.....	99
6.3.2. Fragilidad a baja temperatura.....	99
6.3.3. Deformación del Wolframio.....	102

## **Capítulo VII Ensayos experimentales**

7.1. Ensayos sobre la oxidación del Wolframio.....	106
7.1.1. Lugares donde se realizarán los ensayos.....	107
7.1.2. Utillaje del ensayo.....	108
7.1.3. Realización de los ensayos.....	113
7.1.3.1. Ensayo I.....	113

---

7.1.3.2. Ensayo II.....	117
7.1.3.3. Ensayo III.....	121
7.1.3.4. Ensayo IV.....	123
7.1.3.5. Ensayo V.....	125
7.1.4. Conclusiones.....	126
7.2 Ensayos sobre la deformación del filamento de Wolframio.....	127
7.2.1 Casuística del ensayo.....	127
7.2.2 Lugar donde se realizaran los ensayos y maquinas a utilizar.....	129
7.2.3 Preparación del utillaje del ensayo.....	131
7.2.4 Realización de los ensayos de deformación.....	139
7.2.4.1 Condiciones de ensayo.....	139
7.2.4.2. Ensayo A.....	140
7.2.4.3. Ensayo B.....	143
7.2.4.4. Ensayo C.....	146
7.2.4.5. Ensayo D.....	148
7.2.4.6. Ensayo E.....	150
7.2.4.7. Ensayo F.....	152
7.2.4.8. Ensayo G.....	154
7.2.4.9. Ensayo H.....	156
7.2.4.10. Ensayo I.....	159
7.2.4.11. Ensayo J.....	161
7.2.4.12. Ensayo K.....	164
7.2.4.13. Ensayo L.....	166
7.2.4.14. Ensayo M.....	169
7.2.4.15. Ensayo N.....	171
7.2.4.16. Ensayo O.....	172
7.2.5. Conclusiones.....	174

## **Capítulo VIII. Aplicaciones del análisis de los filamentos en la Investigación de accidentes de automóvil**

8.1. Pasos a seguir para el estudio de las lámparas incandescentes en accidentes de tráfico.....	177
8.1.1. Inspección de lámparas.....	177
8.1.1.1 Inspección de las lámparas para determinar si estaban encendidas o apagadas.....	177
8.1.1.2 Inspección de las lámparas para determinar la dirección del impacto.....	180

## **Capítulo IX Aplicaciones a casos reales**

9.1. Análisis de los informes de accidentes de tráfico relacionados con las lámparas incandescentes.....	182
9.1.1. Informe sobre el estado de los filamentos de las lámparas de frenado de un Citroën Xsara-Picasso implicado en un accidente en Málaga.....	182
9.1.1.1. Contexto del informe.....	182
9.1.1.2. Objetos a analizar.....	183
9.1.1.3. Inspección y análisis de las lámparas del vehículo siniestrado.....	185
9.1.1.4. Inspección de lámparas.....	190
9.1.1.5. Conclusiones.....	200
9.1.2. Informe preliminar del estado de los filamentos de las lámparas de los automóviles implicados en un accidente ocurrido en la Avda. Juan Pablo II de Sevilla.....	201
9.1.2.1. Vehículo Volkswagen.....	201
9.1.2.2. Vehículo Peugeot.....	202
9.1.2.3. Conclusiones.....	205

**Capítulo X Conclusiones**

**Capítulo XII Anexos**

Informes de la realización de los ensayos

**Capítulo XI Bibliografía**



# **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

## 1.1 Los accidentes de automóvil: Importancia social y económica del problema.

Un accidente de tráfico o accidente vial o accidente automovilístico o siniestro de tráfico es el perjuicio ocasionado a una persona o bien material, en un determinado trayecto de movilización o transporte, debido (mayoritaria o generalmente) a la acción de riesgo, negligente o irresponsable de un conductor, de un pasajero o de un peatón, pero en muchas ocasiones también a fallos mecánicos repentinos, errores de transporte de carga, a condiciones ambientales desfavorables y a cruce de animales durante el tráfico o incluso a deficiencias en la estructura de de la vía (errores de señaléticas y de ingeniería de caminos y carreteras).

Los accidentes de tráfico son junto a las enfermedades mentales, los dos problemas de salud más importantes en los comienzos del siglo XXI. Las lesiones causadas por el accidente constituyen un importante problema de salud pública que no está recibiendo el tratamiento que merecería por su envergadura y cuya prevención exige una estrategia global. Se estima que, cada año, en el mundo mueren 1,2 millones de personas por choques en la vía pública y 50 millones resultan heridas. Las previsiones indican que estas cifras aumentarán en torno al 65% en los próximos 20 años, si no se aplican planes preventivos, pero estos trágicos datos tienen poca repercusión en los medios de comunicación.

Los siniestros de tráfico suponen una de las mayores causas de muerte en nuestro país. A pesar de las variaciones que experimentan las cifras de año en año, más de 5.000 personas mueren anualmente en accidentes de circulación en España. A esto hay que añadir todas aquellas lesiones que sin llegar al resultado de muerte, dejan secuelas irreparables como paraplejías y enfermedades neurológicas irreversibles.

Conducir bajo los efectos del alcohol, exceso de velocidad, utilización insuficiente de los cinturones de seguridad y de los dispositivos de seguridad, deficiencias en el trazado de las carreteras y en el entorno de las calzadas, deficiencias en el diseño de los vehículos, aplicación insuficiente de las normas de seguridad vial, estos son algunos de los factores por los cuales tienen lugar los accidentes de tráfico.

### Número de víctimas (carretera y zona urbana)

AÑOS	TOTAL	MUERTOS	HERIDOS GRAVES	HERIDOS LEVES
1986	142.564	5.419	42.443	94.702
1987	159.246	5.858	48.298	105.090
1988	171.297	6.348	51.124	113.825
1989	176.599	7.188	52.418	116.993
1990	162.424	6.948	52.385	103.091
1991	155.247	6.797	50.978	97.472
1992	135.963	6.014	42.185	87.764
* 1993	123.571	6.378	36.828	80.365
* 1994	119.331	5.615	33.991	79.725
* 1995	127.183	5.751	35.599	85.833
* 1996	129.640	5.483	33.899	90.258
* 1997	130.851	5.604	33.915	91.332
* 1998	147.334	5.957	34.664	106.713
* 1999	148.632	5.738	31.883	111.011
* 2000	155.557	5.776	27.764	122.017
* 2001	155.116	5.517	26.566	123.033
* 2002	152.264	5.347	26.156	120.761
* 2003	156.034	5.399	26.305	124.330
* 2004	143.124	4.741	21.805	116.578
* 2005	137.251	4.442	21.859	110.950
* 2006	147.554	4.104	21.382	122.068
* 2007	146.344	3.823	19.295	123.226
* 2008	134.047	3.100	16.488	114.459
* 2009	127.680	2.714	13.923	111.043
* 2010	122.823	2.478	11.995	108.350

En el gráfico se puede observar la evolución del número de muertos y heridos en accidentes de tráfico desde 1986 hasta 2010.

A esta tragedia humana hay que sumarle el importantísimo gasto económico que suponen la reposición, reparación, y responsabilidad civil que se derivan de los accidentes. Los españoles gastan anualmente 7.800 millones de euros en primas de seguros de automóvil. A pesar de las divergencias en los balances económicos de las diferentes aseguradoras, puede establecerse que las compañías de seguros emplean el 95% de esta suma en sufragar los gastos derivados de la

siniestralidad. Dicho de otro modo, los accidentes de tráfico cuestan a los españoles 1.235.000 millones de las antiguas pesetas cada año.

La magnitud de estas sumas explica el creciente esfuerzo invertido en analizar y determinar las causas de los accidentes: a nivel institucional, para fijar los puntos de actuación que permitan reducir estas cifras, y a nivel del sector asegurador para reducir al máximo posible los desembolsos que, como responsables civiles subsidiarios, debe afrontar por dichos siniestros. No es extraño encontrar, en las universidades americanas, ingenierías de tráfico especializadas en estudiar este hecho, tanto a nivel logístico (control de flujos, control estadístico e investigación operativa), como a efectos de investigación y reconstrucción de accidentes.

Anualmente los accidentes de tráfico suponen más de 16.000 millones de euros para la sociedad española, más de un 2% del PIB. Cada víctima mortal en un accidente de tráfico tendría un coste de entre 34.800 y 47.400 euros y un herido grave entre 241.000 y 328.000 euros. Según datos recopilados por la Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil (FITSA), el coste acumulado de los accidentes de tráfico en España desde 1991 a 2002 ascendió a 108.000-150.000 millones de euros aproximadamente. Un estudio de 1994 que analizó el consumo de recursos de los accidentados en tráfico, estimó que la estancia media hospitalaria tras un accidente es de 11,8 días, con un coste medio por lesionado de 13.441 euros.

## 1.2 Investigación de accidentes de tráfico

En la sociedad actual es muy importante la investigación de estos accidentes, tanto las autoridades como las aseguradoras buscan una profunda investigación de los accidentes para su utilización en diversos juicios y así poder esclarecer la realidad del accidente. Con la labor investigadora los responsables de la seguridad vial tratan de descubrir las causas que originan los accidentes de tráfico, el proceso de desarrollo de los mismos y sus consecuencias finales a fin de poder diseñar estrategias de políticas preventivas que permitan reducir su número, o al menos hacer menos graves sus consecuencias, y por tanto incrementar los niveles de seguridad en las vías de circulación, tanto urbanas como interurbanas.

La investigación de accidentes pretende, en base a los datos obtenidos, formar una opinión o una explicación del cómo se produjo el accidente, el porqué, las causas y las medidas que se pueden adoptar para evitar accidentes similares. La investigación es, por lo tanto, una labor más amplia que la información, ya que no sólo consiste en recopilar datos objetivos, sino en, a partir de esos datos, formular una serie de hipótesis u opiniones sobre sus causas. El fruto de la investigación es el conocimiento de las causas de los accidentes. La investigación de accidentes, como cualquier labor investigadora, debe ser realizada por personal especializado. En los equipos de investigación es necesario, en la medida de lo posible, contar con expertos en cada uno de los elementos que intervienen en la circulación. Es por ello que es habitual la presencia de expertos en carreteras, en ingeniería de vehículos, en medicina, en psicología y pedagogía, en estadística, etc.

Además del carácter preventivo de la investigación de los accidentes de tráfico existe otra faceta de la labor investigadora cuya finalidad es exclusivamente la determinación de responsabilidades en los conflictos individuales, es decir en los litigios que surgen entre las partes directamente implicadas y que debido al gran coste económico que suponen las indemnizaciones resultantes de esos litigios, convierten a esta otra faceta de la investigación en una parte muy especializada dentro de la investigación de accidentes.

La investigación de accidentes reúne un conjunto de técnicas que encuentran su origen en los años 60, de la mano de la explosión de la industria de automoción americana. Este conjunto de conocimientos incluye desde técnicas de recopilación pericial de datos (en el escenario del accidente y de los vehículos), hasta la aplicación de la mecánica general (cinemática y dinámica) para la determinación de las magnitudes físicas involucradas en el siniestro.

A la hora de reconstruir un accidente de tráfico se siguen unas fases o etapas para poder llegar a la solución final.

1ª fase: toma de datos, los investigadores de campo o informadores deben tomar los datos de forma ordenada y objetiva. Además de los datos recogidos sobre el terreno, es necesario, en ocasiones, contar con otros datos sobre el vehículo, la vía o las personas que serán recabados con posterioridad y que provienen de investigaciones anteriores. La diversidad de datos que se recojan debe aportar toda la información del problema que se quiere estudiar.

2ª fase: análisis, con los datos recogidos en la fase anterior, los técnicos se disponen a llevar a cabo el trabajo de gabinete, es decir, al análisis de los datos tras la correspondiente depuración de los mismos. El análisis, ya sea de modo individualizado, variable a variable, o cruzando algunas de

ellas mediante las técnicas apropiadas, culminará con la formulación de las hipótesis.

3ª fase: verificación de hipótesis, investigar es casi siempre encontrar el porqué a todas las preguntas que queden pendientes de contestación en el análisis de un problema. Las hipótesis formuladas deben dar respuesta a todas ellas.

4ª fase: conclusiones, una vez analizado los datos y verificadas las hipótesis se está en condiciones de contestar las siguientes preguntas del problema: ¿por qué ocurre?, ¿cómo ocurre? y se podrán elaborar las conclusiones y las recomendaciones que sirvan para establecer actuaciones preventivas que mitiguen o anulen el problema de inseguridad vial.

Los accidentes de tráfico son un hecho social irremediable, con un altísimo coste humano y económico. El esfuerzo por aquilatar sus consecuencias ha provocado a lo largo de los años la aparición de técnicas y metodologías específicas que permiten analizar en detalle las causas del accidente y los factores que lo hicieron posible. La ingeniería encuentra en este campo un nuevo reto para una vez más, poner al servicio práctico del hombre los conocimientos técnicos y los modelos físicos. La colaboración entre médicos e ingenieros ha traído consigo ya importantísimos avances en un terreno, el de la bioingeniería, en que ambos colectivos se encuentran, con sus respectivos métodos y sistemáticas de trabajo.

## **CAPÍTULO II. OBJETO DEL** **PROYECTO**



## 2.1 Motivos

El objeto del presente proyecto es el estudio de la oxidación del Wolframio así como el estudio de sus propiedades mecánicas para su posterior aplicación a la investigación de accidentes de tráfico. Se trata de estudiar los filamentos de las lámparas pertenecientes a las lámparas de los automóviles para así poder saber si estas se encontraban encendidas o apagadas cuando se produjo el accidente, lo cual puede ayudar bastante a resolver estos accidentes. El Wolframio se oxida con facilidad al entrar en contacto con el aire, por tanto al romperse el vidrio de la lámpara este se oxida y dependiendo del estado en que se encuentre el filamento se determinara si la lámpara estaba encendida o apagada antes del accidente, también hay que en cuenta si el filamento se encuentra roto, deformado o intacto. Para conocer el estado de la lámpara antes del accidente se analizaran tanto el filamento de Wolframio como el bulbo de vidrio que lo contiene, se tendrán en cuenta las posiciones de oxido en el filamento y demás piezas circundantes, el color que toma el filamento al oxidarse, así como también si el filamento se ha roto, se ha deformado o se mantiene intacto. Conjuntando todas estas circunstancias, se podrá determinar con una gran probabilidad de acierto si las lámparas de los automóviles implicados se encontraban o no encendidas en el momento del accidente.

## 2.2 Objeto del Proyecto

Para la realización del proyecto se seguirán los siguientes pasos:

- 1.-Antecedentes y estado del arte. Se analizaran las lámparas incandescentes, así como la historia de las lámparas hasta la actualidad.
- 2.-Lámparas de uso en el automóvil. Se analizaran las distintas lámparas que se pueden utilizar en los automóviles y se justificara porque se utilizan aún lámparas incandescentes cuando a nivel energético no son optimas.
- 3.-Oxidación del Wolframio, se entrara de lleno en el mundo del Wolframio, entendiendo todas sus propiedades, tanto estructurales como químicas.
- 4.-Envejecimiento y cambio de propiedades del Wolframio. Se hablara sobre el envejecimiento de los filamentos de Wolframio, y la manera de detectar este envejecimiento, así como las propiedades mecánicas del Wolframio.
- 5.-Ensayos experimentales: Se realizaran ensayos con un número de lámparas de automóvil para conseguir así unos resultados prácticos que deben concordar con los obtenidos en el estudio teórico. Estos ensayos se realizaran con distintas lámparas y en distintas circunstancias. Se tomaran desde lámparas nuevas hasta muy usadas y se realizaran los ensayos con lámparas encendidas, lámparas apagadas al instante hasta lámparas completamente apagadas. Cambien se realizaran distintos tipos de esfuerzos, cambiando la intensidad y la dirección de los esfuerzos.

6.- Aplicaciones del análisis de los filamentos en la investigación de accidentes de automóvil, se explicara la metodología a llevar a cabo a la hora de investigar las lámparas de los vehículos implicados en el accidente.

7.-Aplicaciones a casos reales. Se analizaran dos informes relacionados con el estudio.

8.-Conclusiones

## **CAPÍTULO III. ANTECEDENTES Y**

### **ESTADO DEL ARTE**

## 3.1 Lámparas incandescentes

### 3.1.1 Historia de la lámpara incandescente

En tiempos prehistóricos la única iluminación nocturna de la morada era la escasa que brindaba el fuego. El primer dispositivo específicamente destinado a iluminar fue la tea o antorcha, consistente en un cabo de madera dura cuyo extremo se envolvía con fibras combustibles embebidas con asfalto, pez, grasa animal, resina o aceites vegetales. En época tan temprana como el año 450 aC, la iluminación nocturna de las calles de la ciudad de Antioquía (en la actual Siria) se hacía con antorchas. A pesar de ser poco práctica por su escasa duración, el uso de la tea perduró hasta épocas tan recientes como el siglo XVIII. Así lo atestiguan los soportes para colocarlas que había en los corredores de las casas y castillos.

En el interior de las viviendas se usaron las menos luminosas y contaminantes lámparas de aceite que ya se usaban en el antiguo Egipto alrededor del 2.800 aC. Consistían en un recipiente de cerámica, vidrio o metal lleno con aceite vegetal, dentro del cual se embebía un pabito de fibras retorcidas por las que el aceite ascendía por capilaridad. El principio de funcionamiento es similar —y probablemente les dio origen— al de las actuales velas y lámparas de kerosene. Los candeleros con velas son los únicos artefactos portátiles de iluminación que han perdurado hasta nuestros días.



**Figura 3.1:** Lámpara de aceite

Puede decirse que la iluminación no es una necesidad esencial, pero sin ella no es posible la realización normal de actividades durante la noche, especialmente fuera de la morada. Esta necesidad se hizo particularmente crítica, aún durante el día, cuando el hacinamiento de las viviendas en las ciudades industriales obstaculizó su iluminación directa por el sol. La iluminación de las calles también tuvo importantes consecuencias sociales, como señala un estudioso del tema:

*“Es imposible exagerar las repercusiones sociales de la instalación de faroles en las calles. Las vías públicas de las ciudades ya no se vaciaban al caer la noche, y, si bien el alumbrado nos las hacía del todo seguras, al menos animaba a la gente a salir sola o en grupo. La vida social salió ganando, por lo menos la de quienes disponían de tiempo libre para disfrutar de ella. Sin embargo, para otros el alumbrado de las calles, sólo prolongó la jornada laboral. Así, las tiendas permanecían abiertas hasta bien entrada la noche, y el número de horas de trabajo de sus empleados, que antes concluían al caer la noche, se prolongaba hasta que ya no quedaban clientes potenciales en la calle”*

En 1813 se introdujo en Londres la iluminación artificial de calles y casas con lámparas alimentadas con gas metano obtenido del carbón mineral (hulla). El sistema pronto se generalizó a todas las grandes ciudades, únicas donde era económicamente viable el tendido de las redes de alimentación. La provisión de gas de alumbrado se transformó en una enorme industria y hacia 1859 había en Inglaterra cerca de un millar de fábricas.

La eficiencia de la lámpara mejoró mucho cuando se eliminó la “llama abierta” al inventarse la camisa. Esta malla de fibras relocaliza la llama sobre su superficie de carbono recubierto de tierras raras, que por incandescencia aumenta significativamente la luminosidad. El invento ha llegado hasta nuestros días en las lámparas alimentadas por gas envasado (mayoritariamente consistente en propano) usadas en los lugares donde no hay provisión domiciliaria de electricidad.



**Figura 3.2:** Lámpara de gas

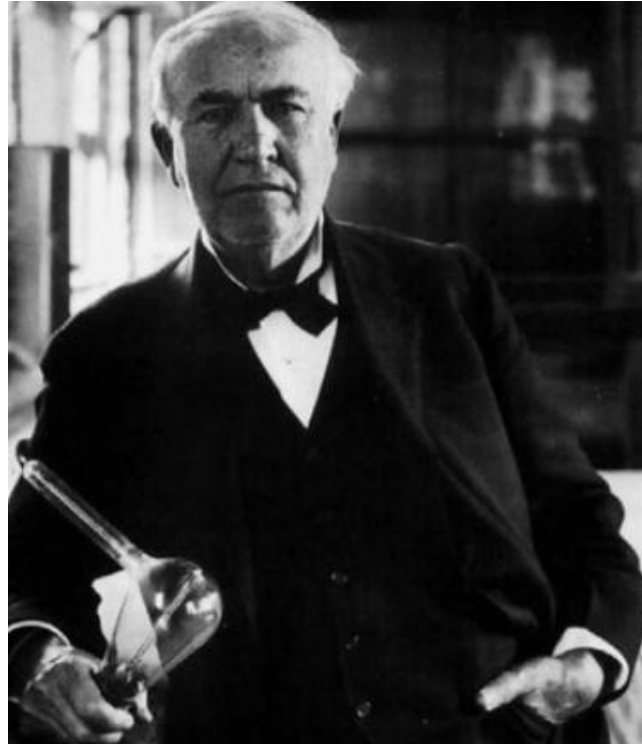
Es razonable pensar que la lámpara eléctrica fue una consecuencia del tendido de redes eléctricas; pero no sucedió así. Thomas Alba Edison, el primer empresario que hizo de la innovación tecnológica un objetivo explícito y permanente, fabricó en serie y vendió a pérdida sus lámparas eléctricas, para promover sus empresas de generación y distribución de electricidad. Respecto a él escribió el divulgador científico y escrito de ciencia ficción Isaac Asimov en su obra “Momentos Estelares de la Ciencia”:

*“Edison hizo algo más que inventar, y fue dar al proceso de invención un carácter de producción en masa. La gente creía antes que los inventos eran golpes de suerte. Edison sacaba inventos por encargo y enseñó a la gente que no eran cuestión de fortuna ni de conciliábulo de cerebros. El genio, decía Edison, es un uno por ciento de inspiración y un noventa y nueve por ciento de transpiración”*

Contrariamente a la creencia popular, Edison no fue el inventor de la lámpara eléctrica, sino el empresario que comprendió sus posibilidades, la fabricó y la comercializó de modo masivo, proveyendo toda la infraestructura necesaria para la generalización de su uso. El inventor de la primera lámpara eléctrica incandescente fue el ingeniero británico Robert Grove, en 1840. La característica más importante del dispositivo era el encierro del filamento, hecho del metal precioso platino, en una cámara de la que se extraía el oxígeno para evitar el proceso de oxidación. El dispositivo era excesivamente costoso, difícil de construir y de corta vida. En 1846 el inglés Farthing desarrolló la máquina automática de soplado de vidrio que permitió fabricar de modo económico las ampollitas de vidrio que aíslan el filamento del aire. La primera lámpara práctica fue construida en 1854 por el alemán H. Goebel usando filamentos de carbón. Edison usa en 1879 filamentos de algodón carbonizado, pero pone a punto la técnica de fabricación masiva de lámparas. El dispositivo alcanzó su forma final gracias a su asociación

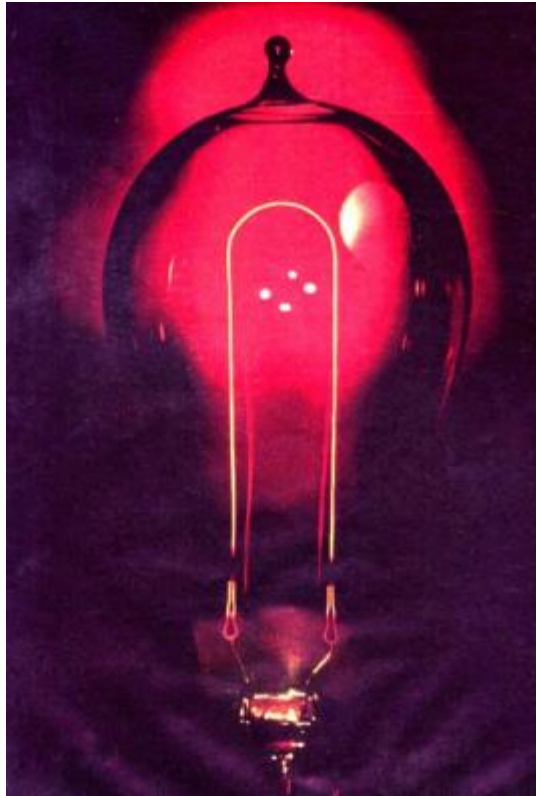


con Swan, quien desarrolló un método para moldear filamentos de nitrocelulosa. Esta asociación dio origen a la actual empresa AEG.



*Figura 3.3: Thomas A. Edison*

Edison debió quemar miles de lámparas antes de encontrar la correcta combinación de formas y materiales que permitieran un producto durable: unas 1200 horas de vida útil para las de filamento de bambú. La fabricación requería unas 200 operaciones diferentes, y en 1881 su fábrica de Menlo Park, con 133 operarios, producía 1000 lámparas diarias a un razonable costo de 1,21 dólares cada una. Edison las vendía a sólo 80 centavos, a fin de crear un mercado para este innovador producto. El éxito compensó pronto su iniciativa y esfuerzo; en 1882 inauguró los sistemas de iluminación eléctrica pública de Londres, primero, y Nueva York, después. Pronto siguieron otras ciudades norteamericanas y europeas. Se produjo entonces un crecimiento explosivo de los sistemas de generación y distribución de electricidad, y de la tecnología asociada, la Electrotecnia.



*Figura 3.4: Lámpara de Edison*

Con justicia, como se ve, la metáfora se le prendió la lámpara se ha convertido en la caracterización popular de la creatividad y el ingenio. Cumplido ya su primer siglo de existencia, la lámpara eléctrica de filamento incandescente ha llegado a nuestros días con una sola modificación de importancia. Ni siquiera la forma ha variado demasiado, ya que conserva el diseño inconfundible que originalmente le diera Edison como consecuencia de las técnicas tradicionales de moldeado del vidrio. La modificación fue el reemplazo del frágil filamento de carbón o nitrocelulosa por el de tungsteno. Esto fue posible gracias al desarrollo de un método de fabricación desarrollado por el inventor estadounidense Coolidge, en 1908. El tungsteno funde a 3380 C y tiene una gran resistencia mecánica, lo que permite aumentar su temperatura de funcionamiento y obtener luz más blanca y lámparas más resistentes al maltrato.

Las lámparas eléctricas incandescentes son bastante feas cuando están apagadas. En particular las incoloras, donde se pueden ver los ramificados soportes del a veces despatarrado filamento. Si además está la rosca a la vista, tienen un aspecto bastante tosco. Al menos las opalescentes, al no mostrar su interior, tienen un toque de misterio. Mejora más todavía cuando tienen forma de vela o de perita, pero no son posibles muchas formas más por las limitaciones que impone la fragilidad del vidrio. Del tacto es mejor no hablar, son objetos poco amigables que o están helados o nos queman. Si fueran objetos desconocidos para el comprador, la única forma de venderlas sería no mostrarlas cuando están apagadas. Sin embargo, aunque su forma no nos guste, es inconfundible y no hay ningún objeto que se le parezca.

Los otros tipos de lámparas (de mecha, de camisa, linternas...) aunque cumplan la misma función son completamente diferentes. Todo cambia cuando las encendemos. Ejercen entonces la misma fascinación que lleva a la polilla a morir en la llama. Porque el encanto de la lámpara no reside en ella sino en lo que genera: la luz. Esto hace más comprensible que un hombre eminentemente práctico como Edison les dedicara tanto esfuerzo y dinero. En aquella época, además, encender una lámpara debe haber sido casi mágico. En vez de tener que buscar fósforos, hallar el pico de combustible y encenderlo, para que entonces, si todo funcionará bien, brillara la luz, con la lámpara eléctrica bastaba tocar el interruptor con la punta del dedo. Es que no sólo importa la apariencia de las cosas, sino lo que simboliza, que muchas veces es más importante que su valor práctico. Cuando entendemos algo, decimos está claro (iluminado). Cuando tenemos una gran idea, la calificamos de brillante o decimos que tuvimos una iluminación. Si todo ha sido bien ordenado y explicado, es que se hizo la luz. Si, como se señaló antes, resolver un problema difícil equivale a que se nos encienda la luz, queda claro que ésta simboliza la fuente del saber.

### 3.2 Lámparas encendidas permanentemente

A lo largo de la historia se ha buscado una lámpara que no se apagara, que estuviera encendida para siempre. Existe un caso muy curioso digno de estudio en este trabajo, se trata de la lámpara de Livermore. Esta es una lámpara que ha permanecido encendida más de 110 años y aun sigue funcionando.

Es, sin duda, la lámpara más veterana (y famosa) del mundo. Lleva luciendo sin apenas interrupciones desde 1901 y acaba de cumplir sus primeros 110 años de servicio. Se trata de una lámpara de 60 vatios (aunque hoy su potencia no supera los 4 W), soplada a mano, con filamento de carbono, y está instalada en el cuartel de bomberos número 6 de Livermore, California. Los científicos se preguntan cómo es posible que haya aguantado tanto tiempo sin apagarse.



**Figura 3.5:** Lámpara Livermore

La "lámpara centenaria", que figura en el Guinness de los Records, fue soplada a mano por la Shelby Electric Company, de Ohio, a finales de la década de 1890 y donada después por el dueño de esa compañía al departamento de bomberos en 1901. Se sabe que fue en junio, aunque no el día exacto. Su "cumpleaños" se celebra, por convención, los días 18 de ese mes. Desde que fue instalada en el cuartel, la lámpara ha permanecido siempre encendida, iluminando con su pálida luz los camiones de bomberos en su garaje, 24 horas al día.



**Figura 3.6:** Lámpara en el cuartel de bomberos

Que se sepa, y aparte de algún que otro apagón en la zona, la lámpara sólo dejó de lucir en una ocasión, en el año 1976, cuando la sede del cuartel de bomberos de Livermore se trasladó a sus nuevas instalaciones. Para evitar disgustos, y ante el temor de que al desenroscarla de su casquillo la lámpara se rompiera, los electricistas cortaron el cable por lo sano y el pequeño "tesoro" fue transportado a su nuevo destino con escolta policial y en un coche de bomberos, bajo la atenta mirada del capitán Kirby Slate. En total, la interrupción apenas duró 22 minutos.

La lámpara, que hoy cuenta con su propia página web y que tiene una webcam dedicada (cuenta incluso con una página en Facebook), ha sido analizada en diversas ocasiones por la Ciencia. Y nadie se explica las razones de que siga luciendo después de tanto tiempo. Debora Katz, físico de la Academia Naval de Estados Unidos, ha estudiado a fondo las propiedades físicas de la lámpara de Livermore. Para ello, y ante la imposibilidad de estudiar la lámpara original sin apagarla, la investigadora se hizo con una antigua (y fundida) réplica de la misma, también fabricada por la Shelby Electric Company a finales del siglo XIX.

¿Y cuál es la clave de que siga encendida? "La lámpara de Livermore - explica Debora Katz- se diferencia de dos formas de una lámpara incandescente contemporánea. En primer lugar, su filamento es unas ocho veces más grueso que el de una lámpara actual. Y en segundo lugar, ese filamento, posiblemente hecho de carbono, es semiconductor".

*"Cuando un conductor se calienta mucho -prosigue la investigadora-, su capacidad para conducir la electricidad deja de funcionar. Sin embargo, a medida que la lámpara de Shelby se va calentando, se va convirtiendo en un conductor cada vez mejor". La investigadora quiere, ahora, estudiar el filamento de su lámpara de Shelby rota, en el acelerador de partículas de la Academia Naval de EE.UU. Espera así aprender algo más sobre sus extraordinarias propiedades aunque, asegura, "es posible que la lámpara de Livermore sea única en su especie".*

Sin embargo, y aunque parezca increíble, la lámpara de Livermore tiene, también, algún que otro competidor. Como la de Forth Worth, en Texas, que actualmente luce en el Museo Stockyards de esa localidad y que fue instalada en septiembre de 1908. O la que luce desde 1912 en la tienda de suministros Gasnick, en Nueva York. O la que lleva encendida desde 1926 en otro cuartel de bomberos, el de la ciudad de Mangum, en Oklahoma.

### 3.2.1 La lámpara de Livermore símbolo del movimiento SOP (Sin Obsolescencia Programada)

El movimiento SOP o Sin Obsolescencia Programada, creado por el ingeniero y emprendedor Benito Muros que entiende que no podemos mantener un sistema lineal de producción y que la cultura del reemplazo sólo crea desajustes, contaminación y escasez de recursos. Partiremos del famoso caso de la lámpara de Livermore, que puede considerarse hoy un símbolo contra la obsolescencia programada, pues fue diseñada para durar y nos recuerda que fabricar productos duraderos o al menos que permitan su reparación es posible. Al menos eso es lo que están haciendo hoy empresas como Oepelectrics de la mano de este emprendedor.

La fecha de fabricación de la lámpara de Livermore (California) se remonta al año 1901, aunque no fue hasta 1971 cuando la prensa local después de alguna investigación y hablando con bomberos jubilados se hizo eco del hallazgo. Hoy, con más de un siglo de vida todavía se puede ver a través una webcam en [www.centennialbulb.org](http://www.centennialbulb.org). La curiosidad es que ya se han agotado dos webcam y va por la tercera. Nunca se apaga ni se enciende, permanece siempre encendida, y así, con su baja potencia de apenas 4 vatios se ha convertido en un reclamo turístico de la localidad que cada 18 de Junio celebra su cumpleaños, convirtiendo la fecha en casi una festividad local. Los bomberos de la estación ven en ella además todo un símbolo de la vigilancia 24 horas.



Benito Muros, conoció el famoso caso y viajó hasta Livermore y fue así como después de 9 años de investigación y un siglo después de que la lámpara se convirtiera en la primera víctima de la obsolescencia programada, ha creado una línea de productos de iluminación con lámparas creadas para durar toda la vida. El movimiento SOP nace así de la mano de Oepelectrics con una filosofía ambiciosa que quiere dar a conocer este problema motivando a otros a que empiecen a solicitar y a crear productos sin obsolescencia programada.

En respuesta a los que cuestionan que económicamente no es viable, el movimiento SOP propugna que el modelo actual del reemplazo tampoco tiene sentido y que a largo medio plazo tampoco será viable en un planeta de recursos limitados. Necesariamente hace falta cambiar la forma en la que consumimos y producimos a través de un nuevo modelo social y económico. Ideas como servicios de reparación de los productos, teniendo en cuenta que muchos de los productos actuales no lo permiten, un eficiente sistema de reciclado o aportar un valor añadido de servicio y no de producto son otras de las ideas en línea con la no obsolescencia aplicada a productos utilitarios y no muy asociados a las modas que ayudan a crear empresas rentables y que no alimentan la tendencia auto destructiva de la obsolescencia.

### 3.2.2 La lámpara eterna

El ingenio está fundamentado en la famosa lámpara de un cuartel de bomberos de California que lleva 111 años encendida.

Como ya se ha expuesto, la lámpara más famosa del mundo se encuentra en un cuartel de bomberos de Livermore, California, donde lleva 111 años brillando sin haberse apagado por si sola ni una sola vez. De 60 vatios



(aunque en la actualidad su potencia no supera los cuatro), ha suscitado la curiosidad de los científicos por aguantar tanto tiempo encendida.



**Figura 3.7:** Lámpara eterna

La luminaria centenaria, que ha entrado en el Guinnes de los Récords, ha sido estudiada por un empresario español para fabricar una lámpara que, según asegura, dura toda la vida. El ingenio LED se basa en la no obsolescencia programada, es decir, que el producto no está diseñado para estropearse al cabo de un tiempo calculado. Benito Muros, el creador, asegura que la lámpara es ecológica, no genera residuos y encima permite ahorrar un 92% en la factura de la luz.

El empresario, presidente de la compañía OEP Electrics con sede en Barcelona, y un equipo internacional de ingenieros son los responsables del desarrollo de la lámpara sin fecha de caducidad, que ha requerido diez años de investigación. Muros incluso viajó a Livermore para estudiar la rareza del parque de bomberos. Allí contactó con descendientes y conocidos de los creadores de la lámpara, pero no existía documentación al respecto. Sin embargo, consiguió algunos conocimientos en los que fundamentar su investigación. Muros garantiza que la lámpara «puede

durar toda la vida, 100 años sin problemas», en el caso de que la instalación eléctrica sea la adecuada y esté bien mantenida. La clave de su durabilidad es el uso de hierro sin carbono en sus componentes electrónicos. «El carbono produce micro roturas que al final terminan por fundir la lámpara», explica. «Muchos fabricantes dicen que sus lámparas pueden durar 1.000, 1.500 o 5.000 horas, pero nadie pone delante a un notario a contar esas horas». En realidad, Muros no ha fabricado una lámpara sino toda una línea de iluminación que cubre desde las necesidades de los hogares hasta las farolas de la calle. Una de sus lámparas para una vivienda particular, equivalente a una de 60 vatios, consume solo 6 y cuesta 26 euros. Lógicamente, es bastante más cara que una tradicional, pero «tiene un precio muy ajustado para una LED». La fabricación «es muy compleja, tiene un proceso muy manual», afirma Muros, que asegura que su producto es único en el mundo.

Contra la obsolescencia programada La intención de este inventor de origen cordobés es fabricar productos que no sean caducos. «En la actualidad, muchos fabricantes diseñan sus productos con obsolescencia programada, es decir, los objetos están programados para que se vuelvan inservibles después de un tiempo», señala. «Queremos crear un movimiento para incentivar que otros fabricantes se olviden de la obsolescencia programada. La crisis actual tiene que ver con una forma socioeconómica basada en eso, que hace que cuando la gente acaba de pagar un televisor, un frigorífico o cualquier producto electrónico, este ya se estropea y tiene que volver a comprar otro y endeudarse».



**Figura 3.8:** El ingeniero Benito Muros

La nueva lámpara que jamás se apaga, según aseguran desde OEP Electrics, no genera residuos y, al mismo tiempo, permite un ahorro energético de hasta un 92% y emite un 70% menos de CO<sub>2</sub>.

La última noticia que se tiene sobre esta lámpara y la obsolescencia programada es la aparición de amenazas de muerte sobre Benito Muros.

### 3.3 Estructura y funcionamiento de una lámpara incandescente

#### 3.3.1 Elementos de una lámpara incandescente

Como se puede apreciar al observar una lámpara incandescente normal, ésta posee una estructura extremadamente sencilla. Consta de un casquillo metálico con rosca (en algunos casos liso, tipo bayoneta) y un borne en su extremo, aislado del casquillo. Tanto el casquillo como el borne permiten la conexión a los polos negativo y positivo de una fuente

de corriente eléctrica. Lo más común es conectar la parte del casquillo al polo negativo y el borne al polo positivo de la fuente.



**Figura 3.9:** Elementos de una lámpara incandescente

Al casquillo metálico de la lámpara (con rosca o del tipo bayoneta) y al borne situado en su extremo, se encuentran soldados dos alambres de cobre que se insertan después por el interior de un tubo hueco de cristal ubicado internamente en la parte central de una lámpara del mismo material y de la cual forma parte. Cerca del extremo cerrado de ese tubo hueco los dos alambres lo atraviesan y a sus puntas se sueldan los extremos del filamento de tungsteno. La lámpara de cristal se sella al vacío y en su interior se inyecta un gas inerte como, por ejemplo, argón (Ar), que ayuda a prolongar la vida del filamento. La cantidad de luz que emite una lámpara incandescente depende fundamentalmente de la potencia que tenga en Watios. La longitud del alambre del filamento, y el tamaño y forma de la lámpara de cristal dependen directamente también de la potencia que tenga la lámpara, por lo que una de 25 Watios será mucho más pequeña si la comparamos con otra de 500 Watios.

### 3.3.2 Funcionamiento de una lámpara incandescente

En la mayoría de los casos junto con la luz se genera también calor, siendo esa la forma más común de excitar los átomos de un filamento para que emita fotones y alcance el estado de incandescencia.

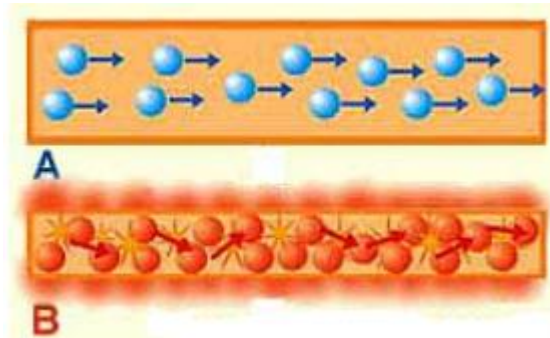


**Figura 3.10:** Funcionamiento de una lámpara incandescente

Normalmente cuando la corriente fluye por un cable en un circuito eléctrico cerrado, disipa siempre energía en forma de calor debido a la fricción o choque que se produce entre los electrones en movimiento. Si la temperatura del metal que compone un cable se eleva excesivamente, el forro que lo protege se derrite, los alambres de cobre se unen por la pérdida del aislamiento y se produce un corto circuito. Para evitar que eso ocurra los ingenieros y técnicos electricistas calculan el grosor o área transversal de los cables y el tipo de forro aislante que deben tener, de tal forma que puedan soportar perfectamente la intensidad máxima de corriente en amperios que debe fluir por un circuito eléctrico.

Cuando un cable posee el grosor adecuado las cargas eléctricas fluyen normalmente y la energía que liberan los electrones en forma de calor es despreciable. Sin embargo, todo lo contrario ocurre cuando esas mismas cargas eléctricas o electrones fluyen a través de un alambre de metal extremadamente fino, como es el caso del filamento que emplean las

lámparas incandescentes. Al ser ese alambre más fino y ofrecer, por tanto, más resistencia al paso de la corriente, las cargas eléctricas encuentran mayor obstáculo para moverse, incrementándose la fricción.



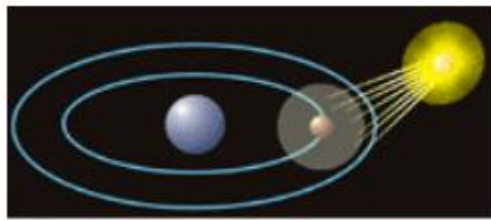
**Figura 3.11:** *Movimiento de electrones*

A. – Las cargas eléctricas o electrones fluyen normalmente por el conductor desprendiendo poco calor.

B. – Cuando un metal ofrece resistencia al flujo de la corriente, la fricción de las cargas eléctricas chocando unas contra otras provocan que su temperatura se eleve. En esas condiciones las moléculas del metal se excitan, alcanzan el estado de incandescencia y los electrones pueden llegar a emitir fotones de luz.

Cuando las cargas eléctricas atraviesan el metal del filamento de una lámpara incandescente, provocan que la temperatura del alambre se eleve a  $2.500^{\circ}\text{C}$  ( $4.500^{\circ}\text{F}$ ) aproximadamente. A esa temperatura tan alta los electrones que fluyen por el metal de tungsteno comienzan a emitir fotones de luz blanca visible, produciéndose el fenómeno físico de la incandescencia.

La gran excitación que produce la fricción en los átomos del tungsteno o wolframio (W), metal del que está compuesto el filamento, provoca que algunos electrones salgan despedidos de su órbita propia y pasen a ocupar una órbita más externa o nivel superior de energía dentro del propio átomo. Pero la gran atracción que ejerce constantemente el núcleo del átomo sobre sus electrones para impedir que abandonen sus correspondientes órbitas, hace que regresen de inmediato a ocuparlas de nuevo. Al reincorporarse los electrones al lugar de procedencia, emiten fotones de luz visible para liberar la energía extra que adquirieron al ocupar momentáneamente una órbita superior.



**Figura 3.12:** Fotón emitiendo luz

Esta sería la forma simplificada en que un electrón emite un fotón de luz. Para ello uno de los electrones libres que aparecen por la izquierda hace impacto con otro electrón que se encuentra girando en su correspondiente órbita interna dentro de un átomo. El impacto provoca la excitación de ese electrón haciendo que abandone su órbita y pase a ocupar la siguiente, cuyo nivel de energía es superior por encontrarse más alejada del núcleo del átomo. La reacción inmediata del núcleo es atraerlo de nuevo y reintegrarlo a su órbita original. En el momento que eso ocurre, la energía extra que ha adquirido el electrón al ocupar por breves instantes un nivel superior de energía, la libera en forma de fotón de luz, tal como se puede apreciar a la derecha.

Por otra parte la fricción que producen las cargas eléctricas al atravesar el filamento es también la responsable del excesivo calentamiento que experimentan las lámparas incandescentes cuando se encuentran encendidas.

En general este tipo de lámpara es poco eficiente, pues junto con las radiaciones de luz visible emiten también radiaciones infrarrojas en forma de calor, que incrementan el consumo eléctrico. Sólo el 10% de la energía eléctrica consumida por una lámpara incandescente se convierte en luz visible, ya que el 90% restante se disipa al medio ambiente en forma de calor.



## **CAPÍTULO IV. LÁMPARAS DE** **USO EN AUTOMÓVIL**

## 4.1 Tipos de lámparas de automóvil

Existen varios tipos de lámparas para vehículos, algunas son más duraderas, otras consumen, y otras son de más fácil reposición.

La lámpara incandescente ya se estudio con anterioridad, así que ahora se estudiarán los otros tipos de lámparas de automóvil, así como las lámparas halógenas, faros de Xenón e incluso lámparas de tipo Led.

### 4.1.1 Lámparas halógenas

La lámpara halógena es una variante de la lámpara incandescente con un filamento de tungsteno dentro de un gas inerte y una pequeña cantidad de halógeno (como yodo o bromo). El filamento y los gases se encuentran en equilibrio químico, mejorando el rendimiento del filamento y aumentando su vida útil. El vidrio se substituye por un compuesto de cuarzo, que soporta mucho mejor el calor (lo que permite lámparas de tamaño mucho menor, para potencias altas). Algunas de estas lámparas funcionan a baja tensión (por ejemplo 12 voltios), por lo que requieren de un transformador para su funcionamiento. La lámpara halógena tiene un rendimiento un poco mejor que la incandescente: 18, 22 lm/W y su vida útil se aumenta hasta las 2.000 y 4.000 horas de funcionamiento.

Al tener el filamento de tungsteno contenido en un gas inerte y una pequeña cantidad de halógeno, hace que la combinación de los gases halógenos y el filamento de tungsteno genere una reacción química conocida como ciclo de halógeno, que aumenta la vida útil del filamento y evita el oscurecimiento de la bombilla ya que vuelve a depositar el tungsteno sobre el filamento en el interior de la bombilla. Debido a esto, una lámpara de halógeno puede funcionar a una temperatura superior a una lámpara llena de gas similar potencia y vida útil. Al tener una temperatura de trabajo más elevada da luz de una más alta temperatura de color. Esto, por otra parte, le da una mayor eficacia luminosa (10-30 lm / W).

Como todas las lámparas incandescentes, una lámpara halógena produce un espectro continuo de la luz, de cerca del ultravioleta hacia el infrarrojo profundo. Dado que el filamento de lámpara puede operar en una temperatura más alta que una lámpara no-halógena, el espectro se torna hacia azul, produciendo luz con una temperatura de color altamente efectiva.

La elevada temperatura que alcanzan obliga a tomar precauciones para evitar quemaduras si se manipulan encendidas. Asimismo, debe evitarse tocar la ampolla de una de ellas con los dedos, ya que la grasa presente en la piel, al calentarse puede dañar (desvitrificar) el cuarzo hasta el punto incluso de destruir la lámpara (por ello, numerosas lámparas halógenas llevan otra ampolla de cristal sobre la propia, permitiendo así su manipulación).



**Figura 4.1:** Lámpara halógena

#### 4.1.2 Faros de Xenón

El término Faros xenón o Luces xenón en automóviles hace referencia al uso de una lámpara de descarga de gas en lugar de una lámpara halógena para las luces delanteras cortas o largas. La denominación Faros xenón es algo confusa, pues se trata de una lámpara de plasma con vapor de mercurio a alta presión, para la que el relleno de xenón solo juega un papel para el encendido inicial. Un arco eléctrico arde entre dos electrodos de tungsteno de la lámpara de descarga de gas de xenón. El extremadamente pequeño espacio para arder – una ampolla de cristal de cuarzo – contiene un relleno de gas xenón a alta presión así como mercurio y sales metálicas – en total menos de 1 mg. Para el encendido se precisa de un impulso de alta tensión, que lo crea por medio de un balastro electrónico. Este dispositivo se encarga acto seguido del control de intensidad de la luz.

Desde 1991 se utiliza la lámpara de descarga de gas en el sector del automóvil: fue introducido por primera vez en un BMW Serie 7 a cargo de la empresa Osram, inicialmente solo para las luces cortas y desde 2001 también para las luces de larga distancia en lo que se denominan faros bi-xenón. En estos últimos se utiliza la misma lámpara para las luces bajas y altas. Para alterar el alcance se utiliza una cubierta mecánica que se antepone al rayo de luz. También existen faros xenón dobles en los que no se utiliza ninguna cubierta, sino que cuentan con dos combustionadores independientes así como con lentes o reflectores propios y dos balastros por faro. Debido al hecho de que las luces xenón son lámparas con descarga por gas, no se pueden reconocer las lámparas defectuosas en un filamento quemado, sino comprobando que se funde la lámpara interior, que está rellena de gas xenón.

Como se ve en la siguiente fotografía los faros de Xenón son del mismo tipo que las lámparas genealogías solo que poseen distinta tecnología.



*Figura 4.2: Faros de Xenón*

#### 4.1.3 Lámparas LED

Una lámpara de led es una lámpara de estado sólido que usa LEDs (Diodos Emisores de Luz) como fuente luminosa. Debido a que la luz capaz de emitir un led no es muy intensa, para alcanzar la intensidad luminosa similar a las otras lámparas existentes como las incandescentes o las fluorescentes compactas, las lámparas de led están compuestas por agrupaciones de led, en mayor o menor número, según la intensidad luminosa deseada. Actualmente las lámparas de led se pueden usar para cualquier aplicación comercial, desde el alumbrado decorativo hasta el de viales y jardines, presentado ciertas ventajas, entre las que destacan su considerable ahorro energético, arranque instantáneo, aguante a los encendidos y apagados continuos y su mayor vida útil, pero también con ciertos inconvenientes como lo es su elevado costo inicial. Los diodos funcionan con energía eléctrica de corriente continua (CC), de modo que las lámparas de LED deben incluir circuitos internos para operar desde el voltaje CA estándar. Los LED se dañan a altas temperaturas, por lo que

las lámparas de LED tienen elementos de gestión del calor, tales como disipadores y aletas de refrigeración. Las lámparas de LED tienen una vida útil larga y una gran eficiencia energética, pero los costos iniciales son más altos que los de las lámparas fluorescentes.



***Figura 4.3: Lámparas Led***

## 4.2 Modelos de lámparas de automóvil

### 4.2.1 Lámparas de la parte delantera del automóvil



**Figura 4.4:** Luces delanteras de un automóvil

Se procederá al análisis de cada lámpara de la parte delantera del automóvil indicando que lámpara será la más adecuada para cada uso.

#### 4.2.1.1 Luces de estacionamiento

Para esta lámpara se utilizan principalmente los modelos W5W, T4W, H6W y R5W

-La W5W es una lámpara incandescente con una potencia nominal de 5 w y un voltaje de 12 voltios, se instalan en los portalámparas W2.1x9.5d, tienen una duración de 100.000 km, son de fácil mantenimiento y reposición y pueden ser de color azul o transparente.

-La T4W es una lámpara incandescente con una potencia nominal de 4 w y un voltaje de 12 voltios, se instalan en los portalámparas BA9s y son incoloras, transparentes.

-La H6W es una lámpara incandescente con una potencia nominal de 6 w y un voltaje de 12 voltios, se instalan en los portalámparas BAX9s y pueden ser incoloras o de color azul.

-La R5W es una lámpara incandescente con una potencia nominal de 5 w y un voltaje de 12 voltios, se instalan en los portalámparas BA15s y son incoloras, transparentes.



**Figura 4.5:** Lámparas de las luces de estacionamiento



#### 4.2.1.2 Luces largas y de cruce

Para esta luz de automóvil se utilizan principalmente los siguientes modelos de lámparas: H4, R2, H7, H1, HB3, HB4, HB1, HB5.

-La H4 es una lámpara halógena con una potencia nominal en torno a los 60 w y un voltaje de 12-24 voltios, se instalan en los portalámparas P43t-38 y pueden ser incoloras o de color azul xenón.

-La R2 tiene dos variantes, la R2 normal y la R2 halógena, las dos tienen una potencia nominal de 40-50 w y un voltaje de 12 voltios, se instalan en portalámparas P45t-41 las R2 normales y en portalámparas P45t las R2 genealogías.

-La H7 es una lámpara halógena con una potencia nominal de 50 w y un voltaje de 12 voltios, se instalan en portalámparas PX26d y pueden tener color azulado, efecto Xenón para más confort.

-La H1 es una lámpara halógena con una potencia nominal de 55-70 w y un voltaje de 12 voltios, se instalan en portalámparas P14, 5s y pueden tener efecto Xenón.

-La HB3 es una lámpara halógena con una potencia nominal de 60 w y un voltaje de 12 voltios y se instalan en portalámparas P20d.

-La HB4 es una lámpara halógena con una potencia nominal de 51 w y un voltaje de 12 voltios y se instalan en portalámparas P22d.

-La HB1 es una lámpara halógena con una potencia nominal de 45-65 w y un voltaje de 12 voltios y se instalan en portalámparas P29t.

-La HB5 es una lámpara halógena con una potencia nominal de 55-65 w y un voltaje de 12 voltios y se instalan en portalámparas PX29t.



**Figura 4.6:** Lámparas de luces largas y de cruce

#### 4.2.1.3 Intermitentes delanteros

Para esta luz de automóvil se utilizan principalmente los siguientes modelos de lámparas: H21W.

-La H21W es una lámpara incandescente con una potencia nominal de 21 w y un voltaje de 24 voltios, se instalan en los portalámparas BAY9s, se utiliza tanto la ampolla simple como la ampolla con coloración naranja.



**Figura 4.7:** Lámpara de intermitente delantero

#### 4.2.1.4 Luces anti nieblas delanteras

Para esta luz de automóvil se utilizan principalmente los siguientes modelos de lámparas: H7, H1, H2 y H3.

-Las lámparas H7 y H1 han sido descritas anteriormente ya que se utilizan en luces largas o de cruce.

-La lámpara H2 es una lámpara genealogía con una potencia nominal de de 55w y un voltaje de 12 voltios, y se instala en portalámparas del tipo X511.

-La lámpara H3 es una lámpara genealogía con una potencia nominal de de 55w y un voltaje de 12 voltios, y se instala en portalámparas del tipo PK22s.



**Figura 4.8:** Lámpara de anti niebla trasero

#### 4.2.2 Lámparas de la parte trasera del automóvil



**Figura 4.9:** Vista trasera de un automóvil

Se procederá al análisis de cada lámpara de la parte trasera del automóvil.

##### 4.2.2.1 Intermitentes traseros

Para esta luz de automóvil se utilizan principalmente los siguientes modelos de lámparas: P21W, PY21W, P27W y W21W.

-La lámpara P21W y PY21W son la misma con la única diferencia que la PY21W tiene la ampolla de color naranja. Es una lámpara incandescente de una potencia nominal de 21 w y de un voltaje de 12 voltios, y se instalan en portalámparas del tipo BA15s. Son muy baratas y de muy fácil reposición, de hecho este tipo de lámparas serán las utilizadas en los ensayos a realizar.

-La P27W es una lámpara incandescente de una potencia nominal de 27 w y de un voltaje de 12 voltios, y se instalan en portalámparas del tipo W2.5x16d.

-La W21W es una lámpara incandescente de una potencia nominal de 21 w y de un voltaje de 12 voltios, y se instalan en portalámparas del tipo W3x16d.



**Figura 4.10:** *Intermitentes traseros*

#### 4.2.2.2 Luz trasera del automóvil

Para esta luz de automóvil se utilizan principalmente los siguientes modelos de lámparas: H6W, R5W y R10W.

-Las lámparas H6W y R5W han sido descritas anteriormente en la parte de luces de estacionamiento.

-La R10W es una lámpara incandescente con una potencia nominal de 10w y un voltaje de 12 voltios, se instala en portalámparas del tipo BA15s, igual que la R5W.



**Figura 4.11:** Luces traseras

#### 4.2.2.3 3ª luz de freno

Para esta luz de automóvil se utilizan principalmente los siguientes modelos de lámparas: W5W y P21W.

-Estas dos lámparas ya han sido descritas anteriormente e incluso se tiene fotografías de las mismas, por lo tanto se puede pasar al siguiente punto.

#### 4.2.2.4 Luces de freno

Para esta luz de automóvil se utilizan principalmente los siguientes modelos de lámparas: P21/5W, P21/4W, P27/7W, P21W, P27W, W21W.

-La P21/5W es una lámpara incandescente con doble filamento con una potencia nominal de 21/5 w y un voltaje de 12 voltios, se instala en portalámparas del tipo BAY15d.

-La P21/4W es una lámpara incandescente con doble filamento con una potencia nominal de 21/4 w y un voltaje de 12 voltios, se instala en portalámparas del tipo BAZ15d.

-La P27/7W es una lámpara incandescente con doble filamento con una potencia nominal de 27/7 w y un voltaje de 12 voltios, se instala en portalámparas del tipo W2.5x16q.

-La P21W y P27W son iguales que sus homónimas de doble filamento solo que poseen un solo filamento.

-La W21W ya se ha descrito anteriormente.



**Figura 4.12:** Luces de freno

#### 4.2.2.5 Luz de matrícula

Para esta luz de automóvil se utilizan principalmente los siguientes modelos de lámparas: C5W, W5W y R5W.

-La única lámpara que no se ha analizado todavía es la C5W, esta es una lámpara incandescente con una potencia nominal de 5w y 12 voltios, se instala en el portalámparas SV8, 5.



**Figura 4.13:** Luces de matrícula

#### 4.2.2.6 Luz de marcha atrás

Para la luz de marcha atrás se utiliza la lámpara incandescente P21W, solo se utiliza este tipo el cual ya ha sido descrito con anterioridad.

#### 4.2.2.7 Luces delanteras de posición

Para esta luz de automóvil se utilizan principalmente los siguientes modelos de lámparas: P21W, PY21W, P27W, W21W y H21W. Se utilizan las mismas lámparas que para los intermitentes traseros añadiendo la lámpara H21W.

-Todas estas lámparas ya se han descrito y analizado anteriormente, por tanto no se volverán a analizar.

#### 4.2.2.8 Luces anti nieblas traseras

Para la luz del antiniebla trasero se utiliza solamente la lámpara P21W y ya se ha descrito con anterioridad.

### 4.3 Lámparas LEDs en automóviles

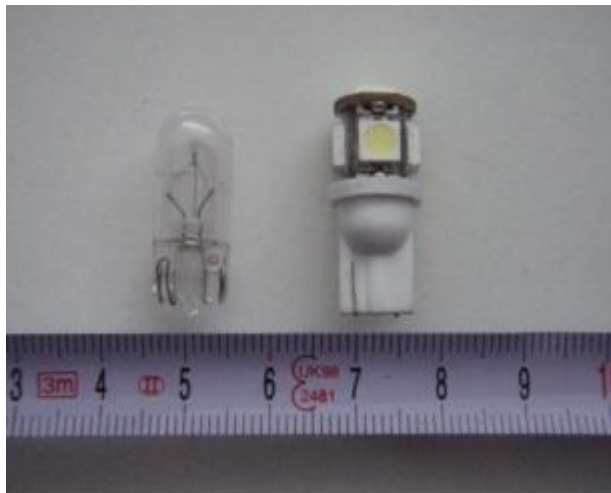
La mayoría de las lámparas descritas anteriormente pueden ser sustituidas por lámparas Led, las cuales todavía no están muy introducidas en el mundo de la automoción.

Por tanto se procederá a describir algunas de las lámparas Led que se puedan usar en automoción y a qué tipo de lámparas sustituyen.



#### 4.3.1 Como sustitución de las lámparas W5W

Para sustituir las luces de estacionamiento, intermitentes delanteros, la 3ª luz de freno y la luz de matrícula se puede utilizar un tipo de lámpara Led. Estas lámparas Led son de tipo SMD y hay muchas clases distintas dependiendo del número de Leds que contenga la lámpara.



**Figura 4.14: LED**

#### 4.3.2 Para sustitución de lámparas con base Ba9s

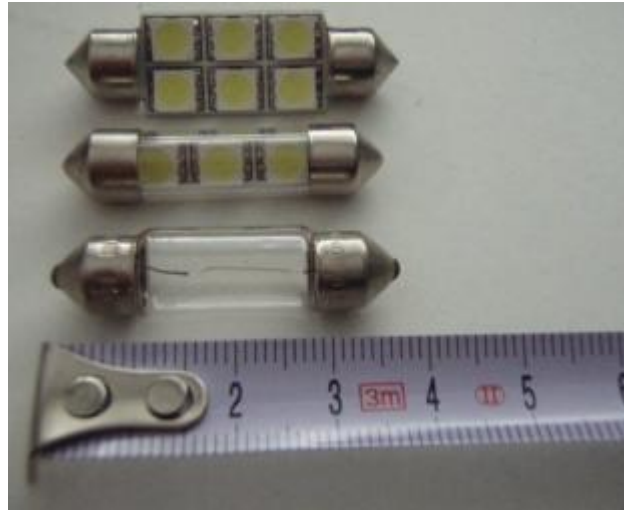
La única lámpara descrita con base Ba9s es la T4W o la H6W, estas lámparas se pueden usar como luces de estacionamiento o luces traseras. En la siguiente imagen se compara con la lámpara H6W.



**Figura 4.15: LED**

#### 4.3.3 Como sustitución de la lámpara C5W

Para la sustitución de esta lámpara del porta matriculas también se pueden utilizar lámparas Led.



**Figura 4.16: LED**

#### 4.3.4 Para sustituir la luz trasera

Para la luz trasera se puede utilizar una lámpara T20 18 leds SMD 5050.



**Figura 4.17: LED**

#### 4.3.5 Para la luz de freno

Para la luz de freno se puede utilizar una lámpara T24 leds SMD 5050.



**Figura 4.18: LED**

En definitiva la tecnología Led está en expansión y todas las luces del coche pueden usar lámparas Led, aquí se han expuesto algunos casos, pero hay cientos de tipos de lámparas Led que se pueden utilizar en automoción.

#### 4.4 Justificación del uso de lámparas de incandescencia en los automóviles

Cada vez se utilizan menos las lámparas incandescentes, no solo en automóviles sino en ámbitos generales las lámparas incandescentes están dejando paso a lámparas mucho más sofisticadas como lámparas fluorescentes o LED. Se conoce que a nivel energético de consumo las lámparas incandescentes no son una gran opción, las demás lámparas consumen mucha menos energía. En el punto de vista económico es donde las lámparas incandescentes son superiores a las demás, estas son muy baratas con respecto a otras lámparas de bajo consumo o lámparas LED. Últimamente se ha llevado a cabo una importante campaña para evitar la venta de lámparas incandescentes, de hecho la venta de este tipo de lámparas está prohibida en varios países, obligando

a los usuarios a usar otro tipo de lámparas con un menor consumo de energía.

Pero en el ámbito de la automoción es distinto, hay una característica de este tipo de bombillas que hace junto a el precio económica las lámparas incandescentes, y esta característica es la fácil reposición de estas lámparas en los vehículos, el hecho de sustituir las lámparas en los vehículos puede ser algo bastante complicado si se trata de lámparas de bajo consumo, pero en el caso de las lámparas incandescentes su sustitución es muy fácil.

Por tanto, las lámparas incandescentes se seguirán utilizando durante mucho tiempo en los automóviles, ya que son la mejor opción económicamente hablando y al ser tan fáciles de sustituir, el mismo propietario del vehículo podría reponerlas. Si a esto último, se le suma que este tipo de lámparas se suelen utilizar en luces de poco uso como las de posición, pues se tiene la mejor opción posible.

## **CAPÍTULO V. OXIDACIÓN DEL** **WOLFRAMIO**

## 5.1 Introducción al Wolframio

El wolframio o volframio, también llamado tungsteno, es un elemento químico de número atómico 74 que se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es W. Es un metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra en forma de óxido y de sales en ciertos minerales. Es de color gris acerado, muy duro y denso, tiene el punto de fusión más elevado de todos los metales y el punto de ebullición más alto de todos los elementos conocidos. Se usa en los filamentos de las lámparas incandescentes, en electrodos no consumibles de soldaduras, en resistencias eléctricas, y aleado con el acero, en la fabricación de aceros especiales. Su variedad de carburo de wolframio sinterizado se emplea para fabricar herramientas de corte. Esta variedad absorbe más del 60% de la demanda mundial de wolframio. El wolframio es un material estratégico y ha estado en la lista de productos más codiciados desde la Segunda Guerra Mundial. Por ejemplo, el gobierno de Estados Unidos mantiene unas reservas nacionales de seis meses junto a otros productos considerados de primera necesidad para su supervivencia.<sup>3</sup> Este metal es fundamental para entender las sociedades modernas. Sin él no se podrían producir de una forma económica todas las máquinas que nos rodean y las cosas que se pueden producir con ellas.

## 5.2 Historia del Wolframio

Artículos relativos a la historia del wolframio comienzan a describir el descubrimiento de minerales de wolframio y compuestos de wolframio, sin embargo, la historia del wolframio comienza mucho antes. La explicación (de cómo se forman los elementos) es uno de los mayores logros de la ciencia en el siglo XX. Por tanto merece la pena discutir sobre la formación de los elementos más pesados, como el wolframio. Se cree que el wolframio se creó durante un periodo de 10 mil millones de años, que

comprende desde la aparición de las primeras estrellas en nuestra galaxia y la formación del sistema solar. La formación de los elementos es un largo camino lleno de diversas reacciones nucleares que tuvieron lugar durante la evolución de estrellas masivas.

### 5.3 Extracción del Wolframio

El Wolframio se encuentra casi exclusivamente en forma de tungstatos, siendo los principales la wolframita (una solución solididad y/o mezclas de las sustancias isomorfas como la ferberita ( $\text{FeWO}_4$ ) y la Hübnerita ( $\text{MnWO}_4$ ), scheelita ( $\text{CaWO}_4$ ) y stolzita ( $\text{PbWO}_4$ ). También existen la tungstenita y la tungstita. Resumen de minerales de Wolframio y depósitos en la tabla siguiente:

Tipo de depósito	Mineral de Wolframio	Formación
Pegmatita*	Scheelita y Wolframita	-Los minerales de wolframio se cristalizan en conjunto con los minerales de la pegmatita
Greisen**	Wolframita	-De una roca compuesto se extrae cuarzo, mica, wolframita, etc.
Meta somático de contacto***	Scheelita	-Líquido hidrotermal invade la piedra caliza, provocando una reacción violenta de los líquidos ácidos y la piedra caliza. Se forman grandes cantidades de Ca-silicatos. Mayoría de depósitos de Wolframio
Vetas	Scheelita y Wolframita	-Intrusión en las fracturas ya existentes o se forman por temperatura y presión que produce la cristalización
Pneumatolytic****	Scheelita	-El transporte de los compuestos volátiles de Wolframio a través de la fase seguida de la condensación y la reacción con las rocas circundantes
Termas		-Compuestos de Wolframio en una solución acuosa en la superficie. Muy rara vez se encuentra. No se conoce la química de estos compuestos

Enriquecimiento secundario	Tungstita	-Contiene tungstita y son muy raros. La tungstita es un producto de la meteorización de los cuatro minerales principales de wolframio
Placer*****	Scheelita	-Si los depósitos de Wolframio se erosionan, los placeres se pueden formar durante el transporte del material por el agua debido a la alta gravedad y la insolubilidad relativa de los minerales Wolframio

\* Roca ígnea con tamaño de grano de 20mm

\*2 Roca granítica muy alterada de pegmatita

\*3 Proceso de sustitución de uno o varios minerales por el aporte de nuevos materiales.

\*4 Depósitos minerales formados por los vapores calientes mineralizados y los gases liberados por el magma que solidifica en el interior de la tierra.

\*5 Yacimientos formados por la concentración de minerales en la arena de ríos, torrentes o playas.

### 5.3.1 Minerales de Wolframio

Los minerales de Wolframio se concentran por procesos mecánicos y magnéticos y tales concentrados se atacan por fusión con NaOH. Los productos de la fusión ya fríos se lixivian con agua, dando soluciones de tungstato de sodio de donde se precipita por acidificación el WO<sub>3</sub> hidroso. Este óxido hidroso se seca y se reduce al metal por medio del hidrógeno. El metal se obtiene originalmente en forma de polvo y tiene un color gris mate, sin embargo cuando se convierten a la forma masiva por fusión se tornan en sustancias brillosas, color blanco plateado, con apariencia y propiedades típicamente metálicas.



### 5.3.2 Tipos de minerales



*Figura 5.1: Ferberita*



*Figura 5.2: Scheelita*



**Figura 5.3:** Wolframita



**Figura 5.4:** Hubnerita(negro) con fluorita( blanco)

## 5.4 Propiedades del Wolframio

-Una vez que conocemos algo sobre el Wolframio, me voy a centrar un poco más en lo que es más importante, por tanto voy a comentar bastante sobre el Wolframio y sus características:

-Es un elemento metálico de transición.

-Pertenece al grupo 6, periodo 6.

-Su número atómico es el 74.

-Masa atómica relativa es 183,85 +-0,03

-Sus valencias son 2, 3, 4, 5,6

-Su configuración electrónica es [Xe] 4f145d46s2

### 5.4.1 Núcleo atómico del Wolframio

Por definición el átomo de Wolframio contiene 74 protones en su núcleo, además de 84-116 neutrones. Son conocidos 35 isótopos, de los cuales cinco de ellos son naturales, el resto se pueden formar de manera artificial pero son inestables. Su vida media oscila entre los mili-segundos y más de 200 días. Isótopos de Wolframio más importantes:

Símbolo	Nº de Protones	Nº de neutrones	Masa atómica	Abundancia
$^{180}_{\text{W}}$	74	106	179,946701	0,13
$^{182}_{\text{W}}$	74	108	181,948202	26,3
$^{183}_{\text{W}}$	74	109	182,950220	14,3
$^{184}_{\text{W}}$	74	110	183,950928	30,67
$^{185}_{\text{W}}$	74	111	184,953416	0
$^{186}_{\text{W}}$	74	112	185,954357	28,6
$^{187}_{\text{W}}$	74	113	186,957153	0

### 5.4.2 Configuración electrónica del Wolframio

-La configuración electrónica del átomo excitado de wolframio se define por [Xe] 4f145d46s2

-Se puede observar que los depósitos K, L, M y N están completos, mientras que O y P incompletos. Su energía de ionización en eV es la siguiente:

$$W^0 \rightarrow W^+ \Rightarrow 7,89eV$$

$$W^+ \rightarrow W^{+2} \Rightarrow 17,7eV$$

$$W^{+2} \rightarrow W^{+3} \Rightarrow 24eV$$

$$W^{+3} \rightarrow W^{+4} \Rightarrow 35eV$$

$$W^{+4} \rightarrow W^{+5} \Rightarrow 48eV$$

$$W^{+5} \rightarrow W^{+6} \Rightarrow 61eV$$

Estados de energía de los electrones en el átomo neutro de Wolframio				
Estados de energía				
Capa de electrón	Espectro	Numero cuántico(n)	Numero cuántico ( $k_j$ )	Numero de electrones
K	1s	1	1 <sub>1</sub>	2
L	2s	2	1 <sub>1</sub>	2
	2p	2	2 <sub>1</sub> , 2 <sub>2</sub>	2,4
M	3s	3	1 <sub>1</sub>	2
	3p	3	2 <sub>1</sub> , 2 <sub>2</sub>	2,4
	3d	3	3 <sub>2</sub> , 2 <sub>3</sub>	4,6
N	4s	4	1 <sub>1</sub>	2
	4p	4	2 <sub>1</sub> , 2 <sub>2</sub>	2,4
	4d	4	3 <sub>2</sub> , 2 <sub>3</sub>	4,6
	4f	4	4 <sub>3</sub> , 4 <sub>4</sub>	6,8
O	5s	5	1 <sub>1</sub>	2
	5p	5	2 <sub>1</sub> , 2 <sub>2</sub>	2,4
P	5d	5	3 <sub>2</sub> , 2 <sub>3</sub>	4
	6s	6	1 <sub>1</sub>	2

La configuración electrónica, especialmente el nivel 5d4 es el responsable de las propiedades físicas y químicas del Wolframio.

#### 5.4.3 Propiedades estructurales

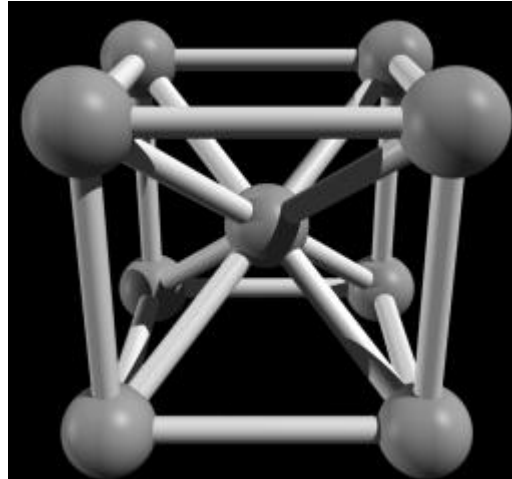
-El estudio de la estructura de Wolframio es algo muy importante en el trabajo a desarrollar ya que el Wolframio tiene entre sus propiedades el “polimorfismo”, por tanto posee varias estructuras cristalinas dependiendo de la temperatura y las condiciones en las que se encuentre, y dependiendo de la estructura que tengo en este momento el Wolframio se formara un oxido u otro. Así que procederé al estudio de la estructura del Wolframio.

Además del Wolframio en estado amorfo son conocidas 3 estructuras cristalinas del Wolframio. En la siguiente tabla se puede visualizar las distintas propiedades de las estructuras cristalinas del Wolframio:

Polimorfismo del Wolframio. Datos cristalográficos			
Características	$\alpha$ -W	$\beta$ -W	$\gamma$ -W
Tipo de modelo	-A2 (estructura cubica centrada en el cuerpo) -Contiene dos átomos	-A15 (estructura característica del Cr <sub>3</sub> Si) -Contiene ocho átomos	-A1 (estructura cubica centrada en las caras) -Contiene 4 átomos
Distancia interatómica más corta	2,741 Å	2,52-2,82 Å	
Parámetro de red	3,16524 Å +/- 0,00004	5,05 Å (5,037-5,09) dependiendo del método de preparación	4,13 Å
Densidad calculada	19,246 g/cm <sup>3</sup>	18,9 g/cm <sup>3</sup>	15,8 g/cm <sup>3</sup>
Densidad medida con Picnómetro	19,250 g/cm <sup>3</sup>	19,1 g/cm <sup>3</sup>	
Volumen específico en el punto de fusión	0,057-0,062 cm <sup>3</sup>		
Volumen molar	9,53 cm <sup>3</sup>		

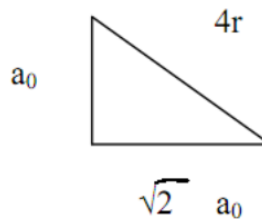
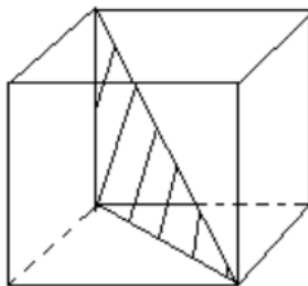
#### 5.4.3.1 $\alpha$ -W

Esta es la única modificación estable del Wolframio.



**Figura 5.5:**  $\alpha$  –Wolframio

- El  $\alpha$  –Wolframio posee una estructura cubica centrada en el cuerpo, estructura típica del hierro.
- La celdilla unida del  $\alpha$ -Wolframio consta de 2 átomos, en los vértices se encuentran 1/8 de átomos, lo que multiplicado por el número de vértices que son 8 da como resultado un átomo. Si a este átomo se le suma el átomo central nos da los 2 átomos que posee esta estructura.
- Mediante el teorema de Pitágoras se consigue la ecuación que relaciona el parámetro de red con el radio atómico, la cual es la siguiente:



$$a_0 = 4r / \sqrt{3}$$

-Con esto se calcula que el radio atómico del Wolframio en la estructura bcc es de 137 pm.

-El número de coordinación de la estructura cristalina cubica centrada en el cuerpo es 8: cada átomo situado en el centro de la celdilla está rodeado por ocho átomos situados en los vértices. -El factor de empaquetamiento es la fracción de volumen de las esferas rígidas en una celdilla unidad en el modelo atómico de las esferas rígidas:

$$FE = \frac{(\text{Número de átomos por celda}) (\text{volumen del átomo})}{\text{volumen de la celda unitaria}}$$

-El FEA no da un resultado de 0,68, valor típico de las bcc

-El conocimiento de la estructura cristalina permite el cálculo de la densidad mediante la siguiente relación:

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{\left( \begin{array}{c} \text{Número de átomos por} \\ \text{celda} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \text{Peso molecular de los} \\ \text{átomos} \end{array} \right)}{\left( \begin{array}{c} \text{Volumen de la} \\ \text{celda unitaria} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \text{Número de avogadro} \end{array} \right)}$$

-Calculando la densidad resulta: 19,246 g/cm<sup>3</sup>

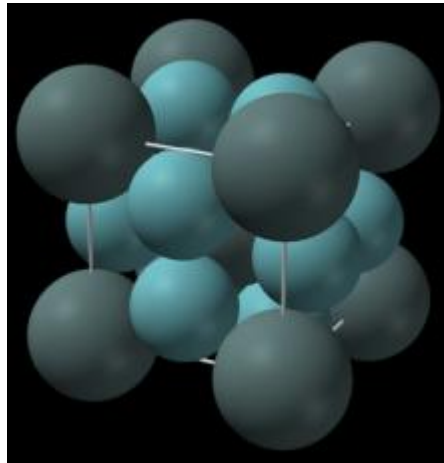
#### 5.4.3.2 $\beta$ -W

-  $\beta$ -W es una fase meta estable que se convierte en  $\alpha$ -W cuando se calienta por encima de 600° C hasta los 700°C. Cuenta con una red cubica A 15, estructura típica del Cr<sub>3</sub>Si y se caracteriza en primer lugar estructuralmente como un sub-óxido (W<sub>3</sub>O). Ha habido una gran discusión sobre si esta fase era una alotropía del Wolframio o un sub-óxido de este,



incluso en 1998 todavía se podían leer artículos sobre esta discusión, aunque finalmente se reconoció como una verdadera alotropía del Wolframio. Como tal, sigue apareciendo en el archivo de difracción de polvo internacional. El  $\beta$ -W se forma parcialmente durante la reducción a baja temperatura del hidrógeno de óxidos de wolframio, bronce de wolframio, etc.

-Por otra parte el  $\beta$ -W se forma durante la reducción electrolítica de  $W_3O$  en fosfato, se derrite en películas delgadas producidas por la evaporación, el chisporroteo y la deposición de vapor químico.



**Figura 5.6:**  $\beta$ -Wolframio

-La celdilla unida del  $\beta$ -Wolframio consta de 8 átomos: 2 átomos como la estructura bcc (en los vértices y en el centro) y 6 átomos distribuidos en cada cara del cubo. Tiene un átomo por cada cara, teniendo en cuenta que de los dos átomos de cada cara solo se contabiliza  $\frac{1}{2}$  de átomo.

-El parámetro de red es de 5,0512 Å, por tanto si se tiene en cuenta que  $4r=a$ , sale un radio de 1,2628 Å.

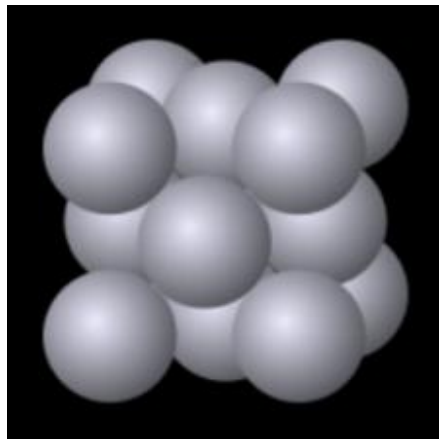
-El número de coordinación de esta estructura es 12, se puede comprobar con el átomo central, que está en contacto con los 12 átomos de las caras.

-El FEA de la estructura A15 es de 0,5, teniendo en cuenta que el radio atómico es de 126 pm y el parámetro de red 5,0512 Å.

-La densidad de la estructura  $\beta$ -W es de 18,9 g/cm<sup>3</sup>.

#### 5.4.3.3 $\gamma$ -W

- $\gamma$ -W se encuentra solo en las capas finas de chisporroteo y en el wolframio amorfo al principio de la pulverización.  $\gamma$ -W también se formara cuando se calienta a mas de 700°C. Tiene una estructura cubica centrada en las caras, también conocida como A1.

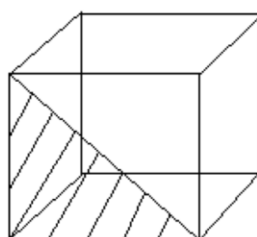


**Figura 5.7:**  $\gamma$ -Wolframio

-La celdilla unidad del  $\gamma$ -W posee 4 átomos: 1 átomo cogiendo 1/8 de cada vértice y 3 átomos más tomando los 1/2 de cada cara del cubo.

-El parámetro de red se puede calcular de la siguiente manera:

Estructura FCC



$$a_0 = 4r / \sqrt{2}$$

-Esto nos da un radio de  $1,46017 \text{ \AA}$  cogiendo un parámetro de red de  $4,13 \text{ \AA}$ .

-El numero de coordinación es 12, un átomo centrado en la cara tiene cuatro átomos vecinos correspondientes a los vértices, cuatro átomos vecinos correspondientes a los átomos centrados en las caras y que están en contacto con el por detrás, y cuatro átomos vecinos equivalentes a estos últimos pero que pertenecen a la siguiente celdilla unidad.

-El FEA de la estructura es de 0,74, el máximo para esferas rígidas del mismo tamaño. Tomando como radio y parámetro de red los datos anteriores.

-La densidad es de  $15,8 \text{ g/cm}^3$ .

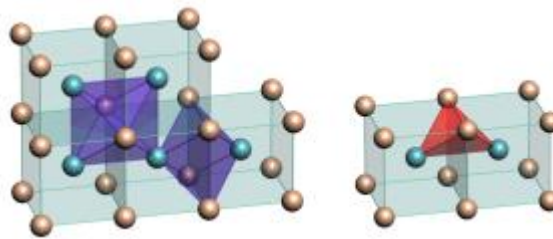
#### 5.4.3.4 Defectos en la red

Los defectos en la red de Wolframio son idóneos para la inclusión de los átomos de Oxígeno, por tanto también es importante conocer un poco los distintos defectos que posee la estructura de Wolframio, sobretodo la que se refiere a defectos puntuales que es donde se pueden colocar los átomos de Oxígeno.

- Defectos puntuales (vacancias, átomos intersticiales e impurezas)
  - Defectos lineales (dislocaciones)
  - Defectos planos (apilamiento, límites de granos)
  - Defectos volumétricos (clústeres, burbujas, segregaciones, micro fisuras)
- El Wolframio aunque sea muy puro siempre tendrá defectos en la red, tales como vacancias y dislocaciones. La concentración de defectos depende de la temperatura, deformación del material y también de la pureza de este.

-Vacancias, la concentración de vacancias en el wolframio se da por  $c = 760 \cdot \exp(-72,500/RT)$  y alcanza el 3,4% en el punto de fusión. La migración de vacancias comienza a 350-400° C y los valores de activación están entre 1,3 y 2,3 eV/átomo.

-Impurezas intersticiales, en una red bcc hay dos lugares intersticiales que pueden ser ocupados:



**Figura 5.8:** Intersticios

-Los átomos intersticiales pueden ocupar estos lugares, en el centro del octaedro y en el centro del tetraedro que se muestran en la figura. Oxígeno, nitrógeno y carbono pueden ocupar la posición octaédrica y el hidrógeno puede ocupar la posición tetraédrica.

## 5.5 Estudio de la oxidación del Wolframio

La parte más importante del trabajo a realizar es el estudio de la oxidación del Wolframio en los filamentos de las lámparas, dependiendo de las condiciones en las que se encuentre el filamento encontraremos distintas consecuencias a la hora de la oxidación. Suizas el factor más importante es la temperatura, el oxido que se puede encontrar en el filamento dependerá casi exclusivamente a la temperatura a la que se encuentre el

filamento, variando desde aproximadamente 3000°C hasta temperatura ambiente.

-El Wolframio es estable en aire seco y húmedo, a temperatura moderada. Comienza a oxidarse cuando se encuentra cerca de los 400°C. La capa de oxido no es densa y no ofrece ningún tipo de protección contra la oxidación. Por encima de 700°C la velocidad de oxidación se incrementa rápidamente y por encima de 900°C tiene lugar la sublimación del oxido, lo que da paso a la oxidación catastrófica del metal. Todo el contenido de humedad del aire aumenta la volatilidad del oxido.

-Aunque el wolframio es el metal con más alto punto de fusión, su sensibilidad hacia la oxidación es una gran desventaja. Por lo tanto, todas las aplicaciones de alta temperatura se limitan a una atmósfera protectora o de vacío. El Wolframio no reacciona con el agua, pero se oxida por el vapor de agua a temperatura elevada, por ejemplo, a 600°C.

-El estado de oxidación del Wolframio varía entre el -2/+6, siendo el +6 el más común.

### 5.5.1 Oxidación del Wolframio por aire u Oxígeno

-La sensibilidad del Wolframio hacia el oxígeno limita sus aplicaciones a altas temperaturas a ambientes protectores o de vacío.

-El Wolframio se puede oxidar por consorcio, difusión, permeabilidad o por oxidación.

-Absorción: el oxígeno es absorbido por la superficie del Wolframio tanto en estado atómico como en estado molecular. A baja temperatura (<0°C), el oxígeno es absorbido molecularmente, pero a temperatura ambiente el Wolframio adsorbe el Oxígeno en estado atómico.

-Difusión: el oxígeno se difunde desde la superficie hasta dentro de la estructura cristalina formando una solución sólida bcc.

-Oxidación: la oxidación del Wolframio depende en gran medida de la temperatura y la presión parcial de oxígeno a elevadas temperaturas. Un trozo de Wolframio que a simple vista parece que tiene la superficie limpia y se encuentra entre  $0^{\circ}$  -  $370^{\circ}\text{C}$  contiene capas de óxido. Mediante investigaciones y experimentos se ha demostrado que la oxidación del Wolframio por oxígeno o aire empieza a temperatura ambiente. El óxido de Wolframio formado por la reacción con Oxígeno, así sea en seco o en húmedo siempre será el trióxido de Wolframio ( $\text{WO}_3$ ). El espesor de la capa de óxido aumenta lentamente con el aumento de temperatura hasta los  $200^{\circ}\text{C}$ , y aumenta rápidamente por encima de los  $200^{\circ}\text{C}$ . Un aumento de la humedad también acelera la velocidad de oxidación.

-De  $327\text{-}400^{\circ}\text{C}$  se forma una película delgada de óxido de color azul. Esto actúa como capa protectora. La formación de esta capa está determinada por la difusión. La composición de la película es  $\text{W}_{2,75}\text{O}$ , pero esta está en contradicción con anteriores hallazgos de la ESCA. El color del óxido no es real, sino que es causado por una interferencia.

-Por encima de los  $500^{\circ}\text{C}$  aparecen grietas en la capa de óxido y por encima de los  $600^{\circ}\text{C}$  se forma  $\text{WO}_3$  encima de la capa azul. El  $\text{WO}_3$  es permeable con el oxígeno. La tasa de formación de  $\text{WO}_3$  está determinada por el transporte de iones de Wolframio de  $\text{W}_{2,75}\text{O}$  hacia el  $\text{WO}_3$ . Siempre y cuando la capa interna aun no ha alcanzado el máximo grosor, el crecimiento sigue una ley parabólica mixta de tasa lineal. La sublimación del trióxido de Wolframio comienza a  $750^{\circ}\text{C}$  y se convierte en importante por encima de los  $900^{\circ}\text{C}$ . Por encima de los  $1300^{\circ}\text{C}$ , la velocidad de sublimación del  $\text{WO}_3$  corresponde a la velocidad de oxidación y la superficie del metal queda libre de óxido. A elevada temperatura la presión del oxígeno influye fuertemente en la velocidad de reacción.

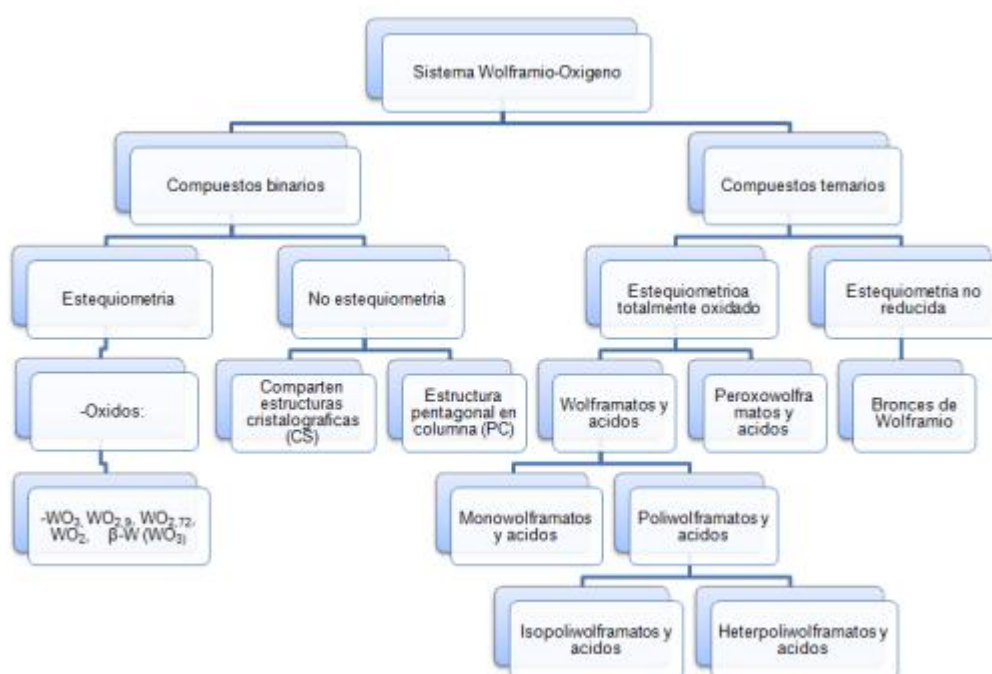
-A altas temperaturas ( $> 2100^{\circ}\text{K}$ ) y con presiones de Oxígeno baja,  $\text{WO}_3$  gaseoso se forma más rápidamente que el  $\text{WO}_3$ . Por encima de  $2500^{\circ}\text{K}$  se produce la volatilización del metal.

### 5.5.2 Estudio del sistema Wolframio-Oxígeno

Para determinar los distintos óxidos que se pueden encontrar se va a estudiar los compuestos Wolframio-Oxígeno más comunes y los que más interesan.

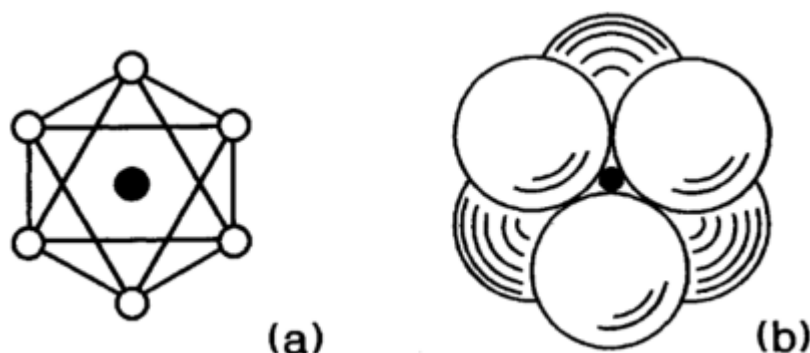
-Los sistemas de Wolframio y Oxígeno son muy complejos.

-Existen una gran cantidad de óxidos de Wolframio, tanto compuestos binarios como compuestos ternarios, tal como se aprecia en la figura:



**Figura 5.9:** sistemas de Wolframio y Oxígeno

-En el estado totalmente oxidado ( $W^{+6}$ ) la coordinación octaédrica domina ( $W^{+6}$ ). Los átomos de Wolframio se encuentra en el centro del octaedro y rodeado por seis átomos de oxígeno dispuestos en cada vértice del octaedro.



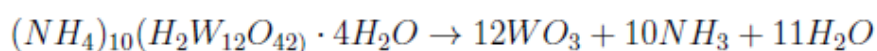
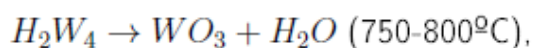
**Figura 5.10:** a) ubicación de los átomos, el círculo negro es el Wolframio y el oxígeno los círculos blancos. b) Los átomos son mostrados en mayor tamaño, el átomo de Wolframio es el negro pequeño

-Se conocen varios cientos o incluso miles de óxidos de Wolframios ternarios y cuaternarios hoy en día. En este sentido, la química del oxido de Wolframio se puede considerar unos de los campos más complejos y ricos en la química estructural de los elementos, pero realmente solo nos interesan los óxidos ternarios.

#### 5.5.2.1 Estequiometria de los óxidos binarios de Wolframio

##### -TRIÓXIDO DE WOLFRAMIO $\alpha$ - $WO_3$

-Preparación: Por calcinación de ácido tungstico o APT en el aire u el oxígeno:





Por oxidación de polvo de Wolframio (para estequiometrias de  $WO_3$  la presión parcial del oxígeno tiene que ser mayor que en el aire)

-Propiedades físicas:

-Densidad: 7,21 – 7,30 g/cm<sup>3</sup> (medida), 7,27 g/cm<sup>3</sup> (rayos X)

-Punto de fusión: 1472°C, una importante sublimación empieza ya muy por debajo del punto de fusión, a > 750°C, la presencia de vapor de agua aumenta considerablemente la volatilidad.

-Punto de ebullición: 1837°C (a esta temperatura la suma de presiones parciales volátiles corresponde a 1 bar). Las especies volátiles son solo moléculas poliméricas (% en mol de 23,7% de  $W_2O_6$  , 0,57% de  $W_3O_8$  , 52,8% de  $W_3O_9$  y 17,53% de  $W_4O_{11}$ )

-Micro dureza: 83-163 Kg / mm<sup>2</sup> (50g)

-Color: amarillo (una pequeña disminución de oxígeno cambia el color del óxido a diferentes tipos de verde), a baja temperatura (-27 a -50°C) es blanco azulado y a  $T < -50$  °C es blanco. A elevada temperatura el color cambia a amarillo pardo.

- ( $\Delta H^\circ_{298}$ ) = 832-853 kJ/mol

-Resistividad eléctrica: 0.14-0.18  $\Omega \times cm$

-Estructura cristalina, parámetros de red. Existen varias modificaciones alotrópicas:

> 740°C → Tetragonal; P4/nmm- D7/4

a=b= 5,272 Å, c =3,920 Å (a 950°C)

330-740°C → Ortorrómica; Pmnb-D16/2h

a= 7,340 Å, b= 7,546 Å y c= 7,728 Å

+17- 330°C → Monoclínica  $\gamma-WO_3$  ,  $WO_3(I)$ ; P21/n

$a=7,302-7,306 \text{ \AA}$ ,  $b=7,450-7,541 \text{ \AA}$ ,  $c=7,690-7,692 \text{ \AA}$ ,  $\beta=90, 83-90, 88^\circ$

$-50 - +17^\circ\text{C} \rightarrow$  Triclínica  $\beta\text{-WO}_3$ ,  $\text{WO}_3$  (II);  $P1\text{-}C1/i$

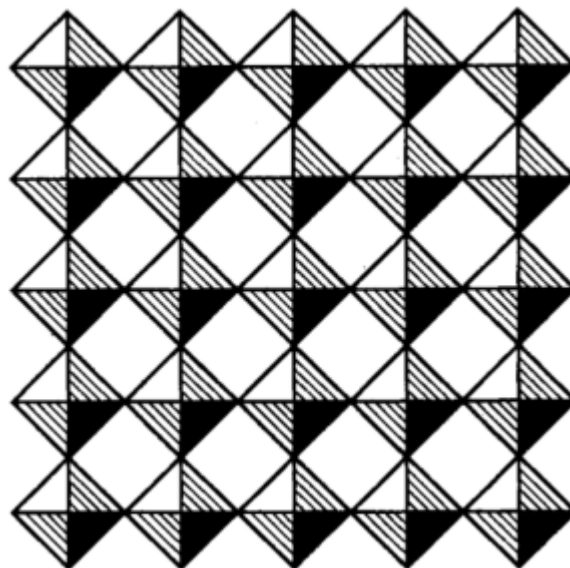
$a=7,30 \text{ \AA}$ ,  $b=7,52 \text{ \AA}$ ,  $c=7,69 \text{ \AA}$ ,  $\alpha=88, 85^\circ$ ,  $\beta=90, 92^\circ$ ,  $\gamma=90, 95^\circ$  (a  $10^\circ\text{C}$ )

$-143 \text{ a } -50^\circ\text{C} \rightarrow$  Monoclínica  $\alpha\text{-WO}_3$ ,  $Pc\text{-}C2/s$

$a=5,275 \text{ \AA}$ ,  $b=5,155 \text{ \AA}$ ,  $c=7,672 \text{ \AA}$ ,  $\beta=91, 7^\circ$  (a  $-70^\circ\text{C}$ )

$\text{-WO}_3$  disponible en el mercado se compone casi enteramente de  $\gamma\text{-WO}_3$ .

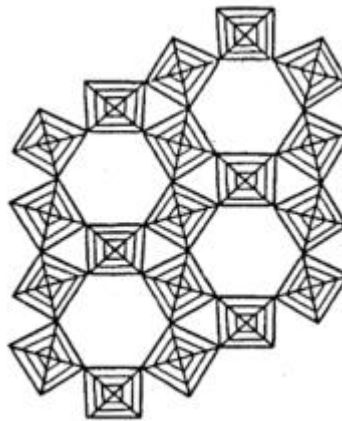
-La razón de las numerosas modificaciones son causadas por la estructura octaédrica vista anteriormente. La estructura idealizada se presenta en la siguiente figura (sistema cubico,  $\text{ReO}_3$ ):



**Figura 5.11:** Sistema cubico,  $\text{ReO}_3$

-La estructura idealizada  $WO_3$  se representa como un conjunto infinito de octaedros con esquina compartida, la estructura real presenta distorsiones en los octaedros y reduce la simetría de cubica a monoclinica a temperatura ambiente.

-A baja temperatura con la deshidratación de  $WO_3 \times 1/3 H_2O$  se obtiene un oxido meta estable (hexagonal  $WO_3$  o h- $WO_3$ ) que posee la estructura siguiente:



**Figura 5.12:** Estructura del oxido de Wolframio (III)

-El  $WO_3$  hexagonal se transforma a monoclinica por encima de los  $400^\circ C$ .

-Propiedades químicas:  $WO_3$  es insoluble en ácidos con excepción del ácido fluorhídrico, pero se disuelve fácilmente en soluciones acuosas de hidróxidos álcalis.

-Aplicaciones:  $WO_3$  es uno de los más importantes productos intermedios de alta pureza para la producción de compuestos de Wolframio y otros metales con polvo de Wolframio. En esta aplicación fue sustituido en gran medida por el oxido de Wolframio azul. Debido a su color amarillo brillante se usa como pigmento en pinturas al oleo y agua. Se emplea también en una amplia gama de catalizadores y más recientemente en catalizadores para el control de la contaminación del aire y la higiene industrial. También se utiliza como complemento del  $VO_2$  en “ventanas inteligentes”.

- $\beta$ -OXIDO DE WOLFRAMIO:  $WO_{2,9}$  ( $W_{20}O_{58}$ )

-Preparación: se forma inmediatamente durante la reducción por hidrógeno de  $WO_3$  a W. En este proceso se puede obtener en estado puro, por ejemplo a 500-550°C y con un vapor de agua a presión parcial de 0,6 bar. Al calentar las correspondientes mezclas de W y  $WO_3$ .

-Propiedades físicas:

-Densidad: 7,15 g/cm<sup>3</sup> (medida), 7,16 g/cm<sup>3</sup> (rayos X).

-Color: azul a azul oscuro

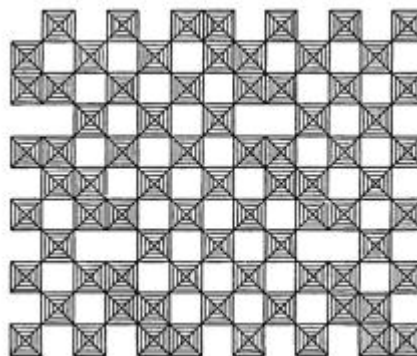
- ( $\Delta H^\circ_{298}$ ) = 800-816 kJ/mol

-Resistividad eléctrica:  $5 \times 10^{-3} \Omega \times \text{cm}$ .

-Estructura cristalina, parámetro de red:

-Monoclínica;  $P2_1/m-C\ 1/2h \rightarrow a = 12,05 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,767 \text{ \AA}$ ,  $c = 3,59 \text{ \AA}$ ,  $\beta = 94,72^\circ$

- $WO_{2,9}$  pertenece a la serie homogénea  $W_nO_{3n-2}$ , que se caracteriza por compartir estructura cristalográfica. Los planos de corte se encuentran en  $\{1\ 0\ 3\}$  con respecto a la estructura principal  $WO_3$ . Se cristaliza en su mayoría en forma de aguja. Esta sería su estructura idealizada:



**Figura 5.13:** Estructura idealizada del  $WO_{2,9}$ . Bloque de seis octaedros compartiendo bordes

-Aplicaciones: actúa como un importante catalizador en la síntesis química industrial, en su forma pura. Similar al  $WO_{2,72}$ , cataliza la descomposición de  $N_2O$  y la oxidación selectiva de mezclas de oxígeno propeno a acroleína.

#### -β-OXIDO DE WOLFRAMIO: $WO_{2,72}$ ( $W_{18}O_{49}$ )

-Preparación: se forma también durante la reducción de  $WO_3$  a W y puede ser obtenido en estado puro, por ejemplo en una atmósfera de hidrógeno a 900°C y con vapor de agua a una presión parcial de 0,8 bar. Además, puede ser preparado por calentamiento de polvos mixtos de W y  $WO_3$ , en recipientes sellados o en atmósfera de Argón.

-Propiedades físicas:

-Densidad: 7,724-7,989 g/cm<sup>3</sup> (medida), 7,78 g/cm<sup>3</sup> (rayos X).

-Color: violeta rojizo, en whiskers de color rojo parduzco.

-(-AH° 298) = 743-780 kJ/mol.

-Resistividad eléctrica:  $2-3 \times 10^{-4} \Omega \times \text{cm}$ .

-Estructura cristalina, parámetro de red:

Monoclínica P2/m-C 1/2h,

$a=18,28 \text{ Å}$ ,  $b=3,775 \text{ Å}$ ,  $c= 13,98 \text{ Å}$ ,  $\beta= 115,14^\circ$

Los cristales son en forma de aguja

- $WO_{2,72}$  no está incluido en la homologadas de las estructuras del W, ya que además de tener octaedros compartiendo bordes y esquinas, existen columnas pentagonales.

-Propiedades químicas: a temperaturas elevadas se descompone. Es soluble en soluciones alcalinas.

-Aplicaciones: el óxido de Wolframio azul contiene parcialmente a este óxido.

#### -DIOXIDO DE WOLFRAMIO: $WO_2$

-Preparación: se forma mediante la reducción por hidrógeno de óxidos de wolframio superiores. Se puede obtener en estado puro en una atmósfera de hidrógeno a 900°C y una presión parcial del vapor de agua de 0,5bar. Además se puede preparar por una reducción de  $WO_3$  con W. La oxidación directa del Wolframio mediante oxígeno no es un método adecuado para obtener  $WO_2$  ya que se formarían antes óxidos superiores.

-Propiedades físicas:

-Densidad 10,82-11,05 g/cm<sup>3</sup> (medida), 10,82 g/cm<sup>3</sup> (rayos X).

-Punto de fusión: a 1530°C el  $WO_2$  pasa a W o  $W_{18}O_{49}$  antes de la fusión.

-Color: de marrón a marrón-violeta, los monocristales son de color bronce y con brillo metálico.

- ( $\Delta H^\circ_{298}$ ) = 571-595 kJ/mol.

-Resistividad eléctrica:  $2,9 \times 10^{-3} \Omega \times \text{cm}$ .

-Estructura cristalina, parámetro de red:

Monoclínica P2/c, del tipo  $MoO_2$ ,

$a=5,550-5,62 \text{ \AA}$ ,  $b=4,89-4,96 \text{ \AA}$ ,  $c=5,571-5,73 \text{ \AA}$ ,  $\beta=118,93-122,1^\circ$ .

— $WO_2$  exhibe una estructura de bandas característica, en la que los octaedros  $WO_6$  están compartiendo el borde. Estas bandas vecinas son los fundamentos del intercambio.

-Propiedades químicas:  $WO_2$  se disuelve en ácidos calientes, minerales concentrados y soluciones en ebullición, y concentrados de hidróxido de álcali.

-Aplicaciones: en un procedimiento de dos pasos se puede obtener polvo de Wolframio.

#### - $\beta$ -OXIDO DE WOLFRAMIO: $W_3O$ ( $W_3W$ )

-Es considerado tanto sub-óxido como una modificación del metal. Hoy en día se describe como una fase meta estable, que se estabiliza con pequeñas cantidades de oxígeno. Una mayor estabilización de la  $\beta$ -W se produce en presencia de diferentes y extraños elementos como K, Be, P, B, As, Ce, Th y Al. Todos estos elementos tienen en común que forman compuestos estables ternarios y cuaternarios con el Wolframio.

-Preparación: por electrolisis de mezclas de fosfatos de metal fundido y álcali. Formas parcialmente en la reducción de óxido de Wolframio mediante hidrógeno. Rayos X forman  $\beta$ -W en forma pura a 500-600°C mediante la reducción de  $W_{28}O_{58}$  con hidrógeno.

-Propiedades físicas:

-Densidad: 19,0-19,1 g/cm<sup>3</sup> (medida), 18,94 g/cm<sup>3</sup> (rayos X calculado con  $W_3W$  ).

-A 530-800°C se le llama temperatura de transición en la que el Wolframio pasa de  $\beta$ -W  $\rightarrow$   $\alpha$ -W dependiendo de la presencia de un tercer elemento, esto tiene lugar sin ningún cambio significativo en el peso.

-Color: gris o negro.

-Resistividad eléctrica: 200 $\mu\Omega$  x cm.

-Estructura cristalina, parámetro de red:

A15 ( $\beta$ -W) del tipo Pm3n-O3/h,  $a= 5,0512 \text{ \AA}$

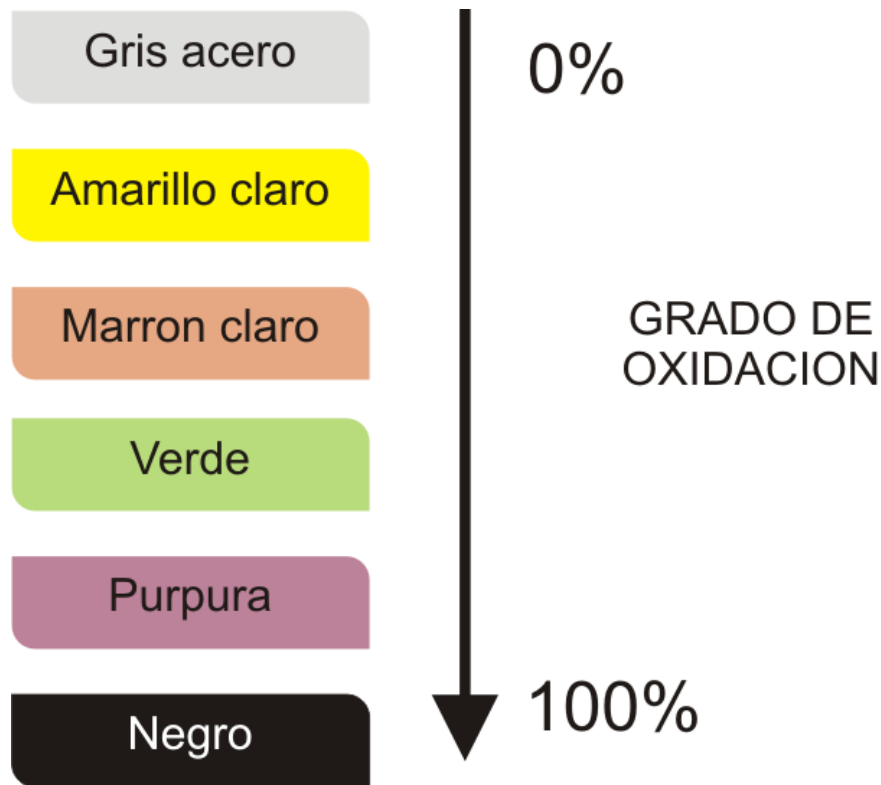
-Propiedades químicas: se disuelve fácilmente en  $H_2O$ . El oxígeno residual se presenta en la superficie o en los bordes de grano del metal común, o al azar distribuidos en las ocho posiciones de la red A15 W3 W.

## 5.6 Grado de oxidación del Wolframio

Una vez conocidos los óxidos de Wolframio más importantes y los que interesan a la hora de estudiar y analizar los filamentos de las lámparas y su coloración, se pondrá a modo resumen los óxidos que deberían de encontrarse al realizarse los ensayos experimentales.

El óxido que aparece siempre en la oxidación de los filamentos de Wolframio será el  $WO_3$ , y este será el que variara su color dependiendo de si tiene lugar la oxidación completa o si el filamento se enfría antes de que se oxide completamente. Por tanto la coloración del óxido vendrá dada por la siguiente tabla en la que se indica el grado de oxidación del filamento.





También puede darse el caso de que aparezcan los distintos sub óxidos estudiados anteriormente, como el óxido  $WO_{2,9}$  ( $W_{20}O_{58}$ ), esta capa de sub óxido es azul, pero este óxido suele transformarse a  $WO_3$  y no se suele apreciar, sin embargo el óxido  $WO_{2,72}$  ( $W_{18}O_{49}$ ) no suele aparecer en ningún momento ya que para su obtención se necesitan unas condiciones especiales, aunque se sabe que el óxido azul contiene parte de este óxido. Por su parte el  $WO_2$  si aparece, este es el óxido que se puede apreciar en las lámparas de las lámparas usadas, en un óxido gaseoso y volátil, que se crea en estado gaseoso en el filamento y se solidifica cuando entra en contacto con la lámpara de la lámpara, quedando la lámpara oscurecida.

Por último el  $W_3O$  ( $W_3W$ ) es el óxido que se forma con un grado de oxidación de 100%, este es totalmente negro, también se le conoce como

una fase meta estable del Wolframio, la cual se estabiliza con la presencia del Oxígeno.

Se llega a la conclusión de que el estudio de la oxidación del Wolframio y su coloración es una parte muy importante en la investigación de accidente de tráfico, llegando a considerarse de manera importante en juicios.

La gran variedad de colores que puede tomar el óxido de Wolframio es tan amplia que merece la pena un estudio de la misma.

# **CAPÍTULO VI. ENVEJECIMIENTO Y** **CAMBIO DE PROPIEDADES DEL** **WOLFRAMIO**

## 6.1 Filamento de Wolframio

El filamento de tungsteno de una lámpara incandescente está formado por un alambre extremadamente fino, mucho más que el de un cable cualquiera. Por ejemplo, en una lámpara de 60 vatios, el filamento puede llegar a medir alrededor de 2 metros de longitud y de grueso solamente  $3 \times 10^{-3} = 0,003$  mm. Para que la longitud total del filamento ocupe el menor espacio posible, el alambre se reduce por medio de un doble enrollado. De esa forma se logra que ocupe muy poco espacio cuando se coloca entre los dos alambres de cobre que le sirven de electrodos de apoyo dentro de la lámpara.

En las primeras lámparas incandescentes que existieron se utilizaron diferentes materiales como filamentos. La desarrollada por Edison en 1878, tenía el filamento de carbón, con el inconveniente de ser éste un material poco eficiente y también poco duradero.



**Figura 6.1:** Filamento de Wolframio

Después de muchas pruebas, a partir de 1906 se adoptó el uso de alambre de tungsteno, conocido también como wolframio (W), para fabricar los filamentos por ser mucho más resistente y duradero que el de carbón. Al haberse obtenido mejores resultados con el wolframio, este metal se ha continuado utilizando hasta nuestros días, incluso para fabricar otros tipos de lámparas mucho más eficientes que las incandescentes.

Como ya se explicó anteriormente, para que un metal llegue al blanco incandescente es necesario calentarlo a una temperatura excesivamente alta, lo que conlleva a que en condiciones ambientales normales se funda o derrita.

La ventaja del tungsteno radica en que al ser un metal cuya temperatura de fusión es muy alta, se convierte en un material idóneo para rendir muchas más horas de trabajo que cualquier otro metal, además de ser relativamente barato de producir.

No obstante, cuando se completa el triángulo que forma un material inflamable, una temperatura alta y la presencia de oxígeno, se produce la combustión, por lo que en condiciones normales el tungsteno también combustiona o se derrite cuando alcanza una temperatura muy alta. Ese es el motivo por el cual el filamento de las lámparas incandescente se encuentra encerrado en una lámpara de cristal carente de oxígeno.

Pero aún bajo esas condiciones de protección, el filamento de tungsteno presenta otro problema y es que el metal se evapora al alcanzar temperaturas tan altas como la que produce la incandescencia. En ese estado, algunos átomos de tungsteno se excitan tan violentamente que saltan al vacío dentro de la lámpara y se depositan en la pared interna del cristal, ennegreciéndolo y volviéndolo opaco a medida que más se utiliza la lámpara.

Ese fenómeno ya lo había observado Edison en su época, pero no supo darle ni explicación lógica, ni aplicación práctica útil, aunque en su honor se denominó posteriormente “efecto Edison”.

Pocos años después ese efecto constituyó la base para la creación de las primeras válvulas electrónicas de vacío rectificadoras y detectoras "diodo", inventada por Sir John Ambrose Fleming, así como las amplificadoras "tríodo", inventada por Lee de Forest, que abrieron el camino al desarrollo de la electrónica.

Debido al propio proceso de evaporación, el filamento de tungsteno se va desintegrando con las horas de uso y la vida útil de la lámpara se reduce. Cuando ese proceso llega a su límite, el filamento se parte por el punto más débil y deja de alumbrar. Decimos entonces que la lámpara se ha fundido.

Para evitar el rápido deterioro del filamento por evaporación, desde 1913 se adoptó el uso del gas argón en el interior de las lámparas. De esa forma se logra disminuir en cierta medida la evaporación del metal, pues los átomos del tungsteno evaporados al impactar con los átomos del gas argón rebotan hacia el filamento y se depositan de nuevo en su estructura metálica sin que se produzca una reacción de combustión. Gracias a esta técnica se ha podido lograr que una lámpara incandescente normal pueda llegar a tener aproximadamente entre 750 y mil horas de vida útil.

A partir de la tecnología de las lámparas incandescentes se han desarrollado posteriormente otros dispositivos de iluminación más eficientes como, por ejemplo, las lámparas halógenas y, sobre todo, los tubos fluorescentes y las lámparas fluorescentes de bajo consumo.

## 6.2 Fabricación del filamento de Wolframio

Del concentrado del mineral, mediante un proceso químico se obtiene el paratungstato amónico que en el siguiente paso es reducido en hidrogeno a una temperatura de 1000° C. El Wolframio, que se obtiene en forma de “óxido”, es mezclado primeramente con pequeñas cantidades de sustancias capaces de mejorar sus propiedades, siendo luego pasado a hornos especiales en atmósfera de hidrógeno (para evitar la oxidación), después de este paso el Wolframio sale como una especie de polvo gris. Este polvo es prensado dentro de moldes a presión, y las planchas que resultan son sinterizadas en otros hornos (también de atmósfera hidrogenada), en los cuales adquieren la solidez necesaria. Por medio de una fuerte corriente eléctrica, estos panes son llevados a una temperatura próxima a la de fusión, sin alcanzarla; luego son forjados a alta temperatura, hasta obtenerse hilos finísimos. Estos hilos pasan a la “*trefilación*”, pero antes de que pasen por las hileras (que son de tungsteno o de diamante, según el diámetro que se quiere conseguir), se los somete de nuevo a alta temperatura.

Finalmente, pulido y libre de todo resto de grafito, el delgado filamento que se obtiene está listo para ser arrollado en forma de hélice. El tungsteno es enrollado, por medio de máquinas de gran velocidad, alrededor de un soporte de acero o molibdeno. Siendo imposible desenrollar la espiral del soporte sin provocar la rotura del filamento.

### 6.3 Envejecimiento del filamento de Wolframio

Con el paso del tiempo, con la emisión de luz, el filamento de Wolframio se debilita y tiende a depositarse en la lámpara de la lámpara. En las lámparas genealogías, el Wolframio se recicla continuamente, este se combina con el yodo o bromo formando yoduro de Wolframio o bromuro de Wolframio, este compuesto no se deposita en la lámpara de cuarzo(en las lámparas genealogías se utiliza cuarzo en vez de vidrio, ya que soporta mayores temperaturas) sino que con la temperatura se descompone y el Wolframio vuelve al filamento, produciéndose así el llamado ciclo halógeno, que aumenta la vida útil del filamento y evita el oscurecimiento de la lámpara. En cualquier caso se produce un deterioro del filamento que puede determinarse al observar el mismo bajo el microscopio en forma de pequeños cráteres e irregularidades sobre la superficie brillante inicialmente lisa del filamento. En estos cráteres y/o picaduras se aumenta la resistencia eléctrica, esto aumenta la temperatura y a su vez aumenta la pérdida de material en el filamento, hasta que finalmente el filamento alcanza la temperatura de fusión del material, 3400°C. Entonces el filamento se rompe, estableciéndose un arco voltaico que hace aumentar aún más la temperatura. Cuando la distancia entre los extremos del filamento aumenta, el arco voltaico se apaga. Se dice entonces que la lámpara se ha fundido. En los últimos instantes previos a la rotura del filamento, estos tienden o a estirarse o a redondearse. Este tipo de rotura no produce ninguna deformación en el filamento.



### 6.3.1 Ejemplos de envejecimiento del filamento de Wolframio

#### 1.-Ampolla de vidrio oscurecida

El envejecimiento del filamento de Wolframio se puede observar de distintas formas y maneras, el más visual es cuando la ampolla de vidrio de la lámpara se encuentra oscurecida, esto es debido a un gran uso de la lámpara, el Wolframio tiende a evaporarse y a depositarse en la ampolla de vidrio, esto provoca una menor intensidad de luz de la lámpara e impide la correcta visualización del filamento de Wolframio para así poder saber cuál es su estado real. En la siguiente imagen se puede comparar el estado de una lámpara con el filamento de Wolframio muy usado con una lámpara sin tanto uso.



**Figura 6.2:** Lámpara bastante usada

#### 2.- Residuos de Wolframio en los soportes de la lámpara

Otra manera de visualizar el envejecimiento del filamento es fijarse en los soportes de este, al igual que el Wolframio al evaporarse se deposita en la ampolla de la lámpara también se deposita en los soportes de la lámpara o incluso en algún filamento cercano (si se trata de una lámpara de doble filamento). Todo indicación de depósitos de Wolframio en alguna

parte que no sea el propio filamento indica un desgaste de este, ya que ha perdido material, y poco a poco irá perdiendo mas material hasta que se acabe rompiendo, debido a los cráteres o picaduras que se han producido en el filamento por la evaporación del Wolframio. En la siguiente imagen se puede apreciar restos de Wolframio en los soportes de una lámpara.



**Figura 6.3:** Restos de Wolframio

### 3.-Cráteres o picaduras

Otra indicación clara de el envejecimiento del filamento de Wolframio es la aparición de picaduras o cráteres en el filamento, para visualizar esto se debe utilizar una lupa microscópica, estas picaduras siguen haciéndose más grandes y numerosas en el filamento con el uso de la lámpara, una vez que el filamento no soporta más tiende a romperse, y este al romperse estando caliente tiende a romperse de manera dúctil, dejando así los bordes redondeados. En la siguiente imagen se puede observar las picaduras o cráteres en un filamento de Wolframio. Y otra imagen para comparar un filamento con picaduras con otro sin ellas.



**Figura 6.4:** Picaduras o cráteres

## 6.4 Propiedades mecánicas del Wolframio

### 6.4.1 Propiedades elásticas del Wolframio

- Propiedades elásticas, constantes elásticas:
- Modulo elástico: 390-410 GPa
- Modulo elástico cortante: 156-177 GPa
- Modulo de compresibilidad: 305-310 GPa
- Coeficiente de Poisson: 0,280-0,30

### 6.4.2 Fragilidad a baja temperatura

A bajas temperaturas el Wolframio se comporta de manera frágil si se somete a esfuerzos de tracción. Este comportamiento cambia al llegar a una cierta temperatura, la cual se hace llamar temperatura de transición dúctil-frágil. Esta temperatura no es un valor fijo, va desde los 200°C hasta 300°C, y por supuesto también depende de otros factores como condiciones mecánicas, químicas y estructurales.

Factores que influyen en la fragilidad a baja temperatura		
Mecánicas	Micro estructurales	Químicas
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Esfuerzos ( tensión, compresión, tensiones tangenciales)</li> <li>-Velocidad de deformación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tamaño del grano, área del grano</li> <li>-Trabajo en frío</li> <li>-Textura, forma del grano</li> <li>-Twins, bordes de granos</li> <li>-Dislocaciones</li> <li>-Rugosidad de la superficie (grietas en la superficie)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Distribución de las impurezas intersticiales/ sustitucionales ( C, N, O, P, S, Re)</li> </ul>

La temperatura de transición dúctil-frágil es una característica importante para el uso y fabricabilidad del metal a “baja temperatura” (corte, punzonado, curvado, etc.

La fragilidad del Wolframio poli cristalino a baja temperatura se atribuye a la debilidad de los límites de grano, lo que conduce a la iniciación de grietas en la superficie.

El Wolframio puro, mono cristalino (sin límites de grano) permanece dúctil hasta al menos 20K. De esta forma su comportamiento a la fractura es muy sensible a muescas u otros defectos superficiales.

Originalmente, se supone que solo se produce agrietamiento a lo largo de los bordes de grano (intergranular) pero después se halló un alto porcentaje de escisión (fractura transgranular). Hoy en día se sabe que dependiendo de la de las deformaciones anteriores, la pureza del Wolframio y su estado de tensión, la fractura podrá ser más o menos intergranular o transgranular.

Cualquier deformación plástica disminuye la temperatura de transición por la depuración de la estructura. Cuanto mayor sea el grado de deformación menor será la temperatura de transición dúctil-frágil. El Wolframio laminado muestra una temperatura de transición dúctil-frágil de 100-200°C. El recocido aumenta la temperatura de transición dúctil-frágil,

estas muestras alcanzan un máximo de 360°C, debido principalmente a la re ordenación de la estructura.

El aumento de grano tiene una consecuencia muy importante. A medida que aumenta el grano, el límite de estos se reduce, por tanto la concentración de impurezas aumenta en los contornos de los granos. Dado que los límites de grano son más fuertes cuando las impurezas se distribuyen en áreas más grandes, la ductilidad disminuye.

Hoy en día se supone que la transición dúctil-frágil sucede en dos fases:

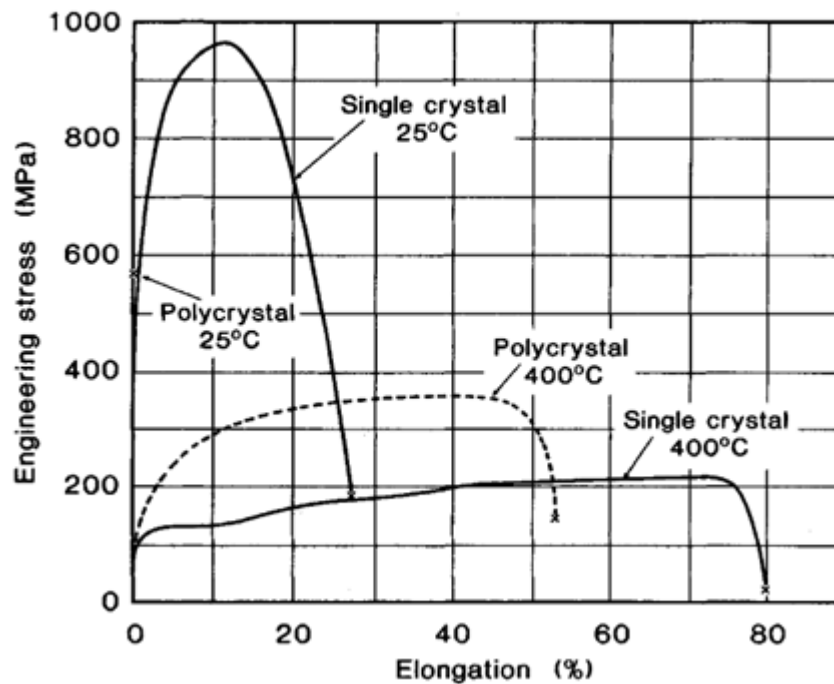
- Granos interiores: 30-40°C

- Límites de granos: 280-330°C

- En general esta temperatura aumenta por la presencia de pequeños elementos intersticiales como O, C y N.

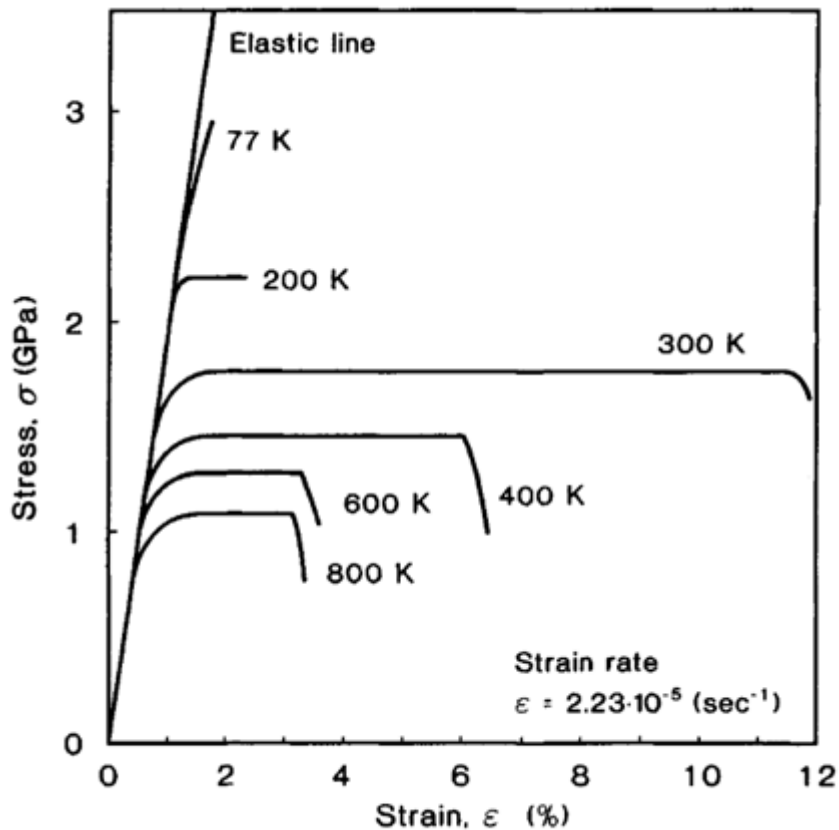
### 6.4.3 Deformación del Wolframio

-La curva de tensión/ deformación del Wolframio de alta pureza (estampado y posteriormente recocido durante una hora a 2000°C), obtenida a temperatura ambiente es la siguiente:



-Considerando que el material poli cristalino exhibió una gran ductilidad a 400°C (alargamiento 53%) y que se comportó de una manera totalmente frágil a temperatura ambiente (alargamiento de 0-0,3%). En contraste, el Wolframio mono cristalino se comportó de manera dúctil bajo las dos condiciones de ensayo (alargamiento de 80% para el ensayo a 400°C y alargamiento de 27% para el ensayo a temperatura ambiente). Esto nos indica que la presencia de límites de grano disminuye la temperatura de transición dúctil-frágil y deteriora notablemente las propiedades plásticas del metal a baja temperatura.

-Las curvas de deformación de cintas de Wolframio fuertemente trabajadas se muestran a continuación y muestra un panorama muy diferente:



-En este caso la deformación plástica se produce incluso a los 200°C, lo que indica una disminución de la temperatura de transición dúctil-frágil como resultado del trabajo en frío. Este comportamiento es debido a cambios en la estructura y también a la formación de una gran cantidad de dislocaciones en los bordes, que se mueven con facilidad y proporcionan así una mayor ductilidad. De nuevo un aumento de la tensión de fluencia con la temperatura decreciente es evidente, como lo es característico de los metales bcc.

-El tamaño de grano y la estructura del grano tiene una gran influencia en la fuerza y la ductilidad (alargamiento). El tamaño y estructura del grano se puede controlar mediante las condiciones de sinterización, el tipo de deformación, el grado de deformación, y durante los procesos de mecanizado y recocido (recocido intermedio, recocido de alivio de tensiones, recocido de cristalización, etc.).

-Para conseguir la deformación máxima, el Wolframio debe estar parcialmente recristalizado formando una estructura columnar con una buena resistencia y ductilidad. Una alta temperatura debe evitarse ya que da lugar a una re cristalización secundaria que conlleva un aumento del tamaño de grano, dando como consecuencia una fragilización pronunciada.



## **CAPÍTULO VII. ENSAYOS** **EXPERIMENTALES**

## 7.1 Ensayos sobre la oxidación del Wolframio

Una vez realizados el estudio teórico sobre la oxidación del Wolframio, se va a proceder a realizar una serie de ensayos para contrastar los distintos grados de oxidación del Wolframio como la coloración que obtiene el filamento de Wolframio en su oxidación.

Primeramente se realizara un casuística de ensayos, con distintas variables para obtener distintos resultados en los experimentos.

-Se ensayaran lámparas completamente nuevas variando el tiempo que llevan apagadas, desde estar completamente encendidas hasta completamente apagadas Casuística prevista:

- Ensayo 1.- lámpara encendida
- Ensayo 2.- lámpara que lleva apagada un tiempo menor a un segundo
- Ensayo 3.- lámpara que lleva apagada entre uno y dos segundos
- Ensayo 4.- lámpara que lleva apagada entre dos y tres segundos
- Ensayo 5.- lámpara completamente apagada

Se ensayarían cinco lámparas nuevas, quizás a partir del ensayo número tres en adelante nos dé el mismo resultado ya que el Wolframio se oxida a los 400° y el filamento de una lámpara tarda en bajar de los 400° unos dos segundos aproximadamente, también depende de la calidad y el tiempo de uso de este filamento.

-Una vez realizados los ensayos se tomaran fotografías del estado del filamento y de su coloración.

### 7.1.1 Lugares donde se realizarán los ensayos



**Figura 7.1:** Laboratorio de Metrología

En primer lugar se describirá el laboratorio de Metrología donde se realizara el análisis de los filamentos de las lámparas mediante un lupa microscópica, este laboratorio contiene material informático y distintos instrumentos de medida, en este lugar solo se utilizara una lupa óptica binocular con zoom de 4 a 22x para una mejor visualización de los filamentos de Wolframio.



**Figura 7.2:** Taller mecánico



**Figura 7.3:** Taller mecánico

En este taller mecánico se prepara el utillaje para los ensayos correspondientes, en él se podrán encontrar todas las máquinas y herramientas necesarias para la preparación de los ensayos. Este taller dispone de torno, prensa, taladradora y demás máquinas y tiene todo tipo de herramientas para cortar, doblar, taladrar y en definitiva poder construir los distintos mecanismos con los que se harán los ensayos.

### 7.1.2 Utillaje del ensayo

Para realizar este ensayo se debe romper la lámpara sin que el filamento de Wolframio quede destruido, para ello se busca hacer presión en la lámpara hasta romperla. Para ello también es necesario un portalámparas donde colocar la lámpara, con unos cables conectados a una batería que administre electricidad al portalámparas y se puede encender la lámpara.

El primer paso es cortar el portalámparas de un coche hasta conseguir un solo portalámparas, posteriormente se soldaran los cables a los conectores del portalámparas.



**Figura 7.4:** Portalámparas a utilizar

Una vez obtenidos los portalámparas se soldaran a estos dos cables conectados a la batería para poder encender las lámparas.



**Figura 7.5:** Soldador de estaño

Para soldar los cables al portalámparas se utilizara un soldador de estaño como el de la figura, lo que nos da una soldadura muy fácil de hacer y con buenos resultados para el objetivo final.

Una vez soldado los cables al portalámparas, quedara algo así:



**Figura 7.6:** Portalámparas con cables soldados

Una vez se tiene el portalámparas preparado para colocar la lámpara, solo queda conectar los cables a la batería y buscar alguna sujeción para el portalámparas de manera que este se quede fijo, para ello se utiliza un tornillo mecánico de manera que este apriete al portalámparas dejándolo fijo.



**Figura 7.7:** Tornillo mecánico

Se utilizara la siguiente batería para suministrar electricidad al portalámparas. Es una batería de la marca “Varta Blue Dynamyc” con una tensión de 12v, una capacidad de 40 Ah y con una corriente de prueba en frío de 330 A, es portátil por lo tanto es idónea para el objetivo.



**Figura 7.8:** Batería

Ya se tiene el portalámparas en condiciones para colocar la lámpara y ser ensayada, solo queda buscar la manera de romper la lámpara sin que se vea afectado el filamento de Wolframio.



**Figura 7.9:** Preparación del ensayo de oxidación



Para romper la lámpara se tenían varias posibilidades, así que se probó con varias herramientas, hasta encontrar la idónea, primero se utilizó esta:



**Figura 7.10:** Herramienta opcional

Esta herramienta no tenía problemas para romper la lámparas pero el tornillo de apriete era demasiado pequeño y a la hora de romper lámparas en determinado tiempo no funcionaba correctamente, se necesitaba una herramienta parecida pero con un sistema de apriete distinto donde pudiera controlar el instante en el que quería romper la lámpara, por lo tanto se encontró la siguiente herramienta que daba unos excelentes resultados, la mordaza de fijación.



**Figura 7.11:** Mordaza de fijación o sargento



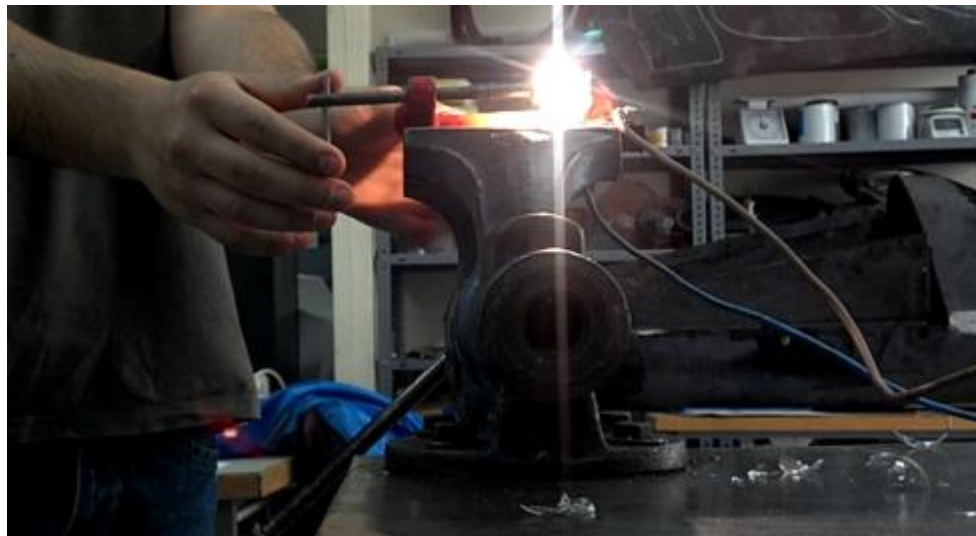
Una vez todo dispuesto ya se podían realizar los ensayos.

### 7.1.3 Realización de los ensayos

#### 7.1.3.1 Ensayo I

El primer ensayo se realizara con la lámpara completamente encendida.

Una vez encendida la lámpara se procede a su rotura con el tornillo de apriete.



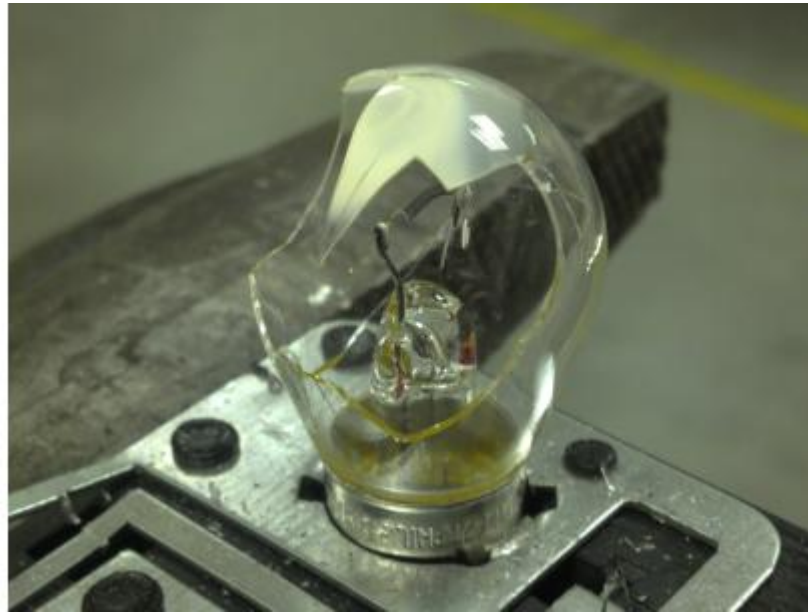
**Figura 7.12:** Momento posterior a la rotura

Una vez se produce la rotura de la lámpara, el filamento de Wolframio se oxida, provocando una llama amarilla bastante luminosa.



**Figura 7.13:** Oxidación del filamento de Wolframio

Una vez realizado el ensayo, se procederá al análisis del filamento de Wolframio y si fuera interesante también se analizarían otras partes de la lámpara, como la lámpara, los soportes y demás componentes de la lámpara.



**Figura 7.14:** Ensayo I

La oxidación ocurre cuando el Wolframio entra en contacto con el aire, como se ve en la figura 7.13 la oxidación ocurre al instante de romperse la lámpara. El primer indicio de oxidación se observa a simple vista debido a como se ha tintado la lámpara de color amarillo, esto es debido al  $WO_3$  que se ha volatilizado en forma de llama y se ha quedado pegado a la ampolla de vidrio y ha sido la primera oxidación que ha tenido el filamento de Wolframio, concretamente este oxido no ha terminado de oxidarse al 100%, no ha llegado a oxidarse completamente.

Para poder ver mejor el filamento de Wolframio así como la ampolla y los soportes de la lámpara incandescente se utilizará una lupa binocular de 4/22x, se utilizo la siguiente lupa binocular:



**Figura 7.15:** Lupa binocular



**Figura 7.16:** Ensayo I

Para una mejor visualización del filamento se ha retirado la ampolla de vidrio que no nos dejaba ver con claridad el filamento de Wolframio. Ahora se aprecia que el filamento de Wolframio se ha oscurecido totalmente, llegando a oxidarse completamente, y también se puede apreciar restos de Oxido de Wolframio amarillo en los soportes de la lámpara. Una vez realizada la primera observación, se procede a visualizar el filamento desde una lupa microscópica.



**Figura 7.17:** Ensayo I-lupa

Aquí se puede apreciar como el filamento de Wolframio que debería ser brillante se ha vuelto completamente mate y ha obtenido un color más oscuro, lo cual es un indicio claro de que el filamento se ha oxidado completamente y que ha dejado restos de oxido amarillo en los soportes de la lámpara.

Como conclusión se llega a que si la lámpara se encuentra totalmente encendida a la hora de romperse la lámpara de vidrio, el filamento de Wolframio se oxidara completamente, y emitirá una llama amarilla producto de la primera oxidación de este filamento, esta llama amarilla contiene el llamado Oxido de Wolframio Amarillo que quedara pegado a los soportes de la lámpara y a la lámpara de esta.

#### 7.1.3.2 Ensayo II

El segundo ensayo se realizara cuando la lámpara lleve apagada menos de un segundo.



**Figura 7.18: Ensayo II**

En este segundo ensayo no se produce la llama amarilla que se produce en el primer ensayo, pero eso no quiere decir que no se haya oxidado el filamento, simplemente que el oxido amarillo no aparece si la lámpara no

se encuentra totalmente encendida, lo que nos indica que si la lámpara lleva apagada un instante su temperatura baja de tal manera que el oxido pasa a estado gaseoso y no se produce la llama amarilla.

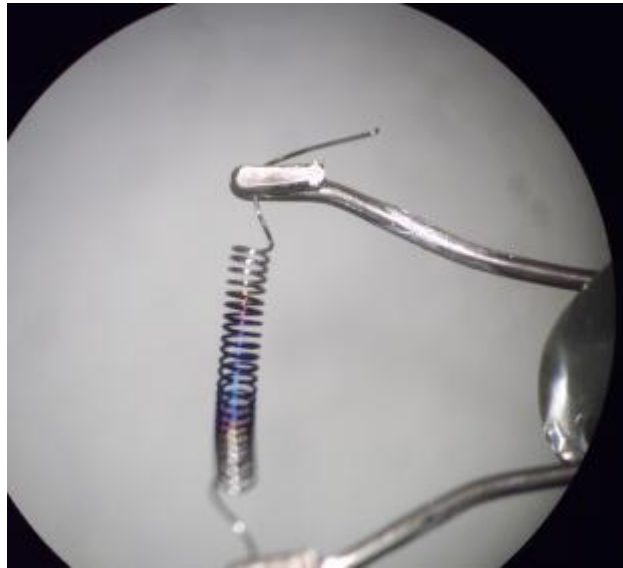


**Figura 7.19: Ensayo II**

En este caso no se ha producido la llama amarilla por lo tanto no se apreciara restos de oxido en el soporte o en la lámpara de vidrio, por tanto solo se analizara el filamento de Wolframio.

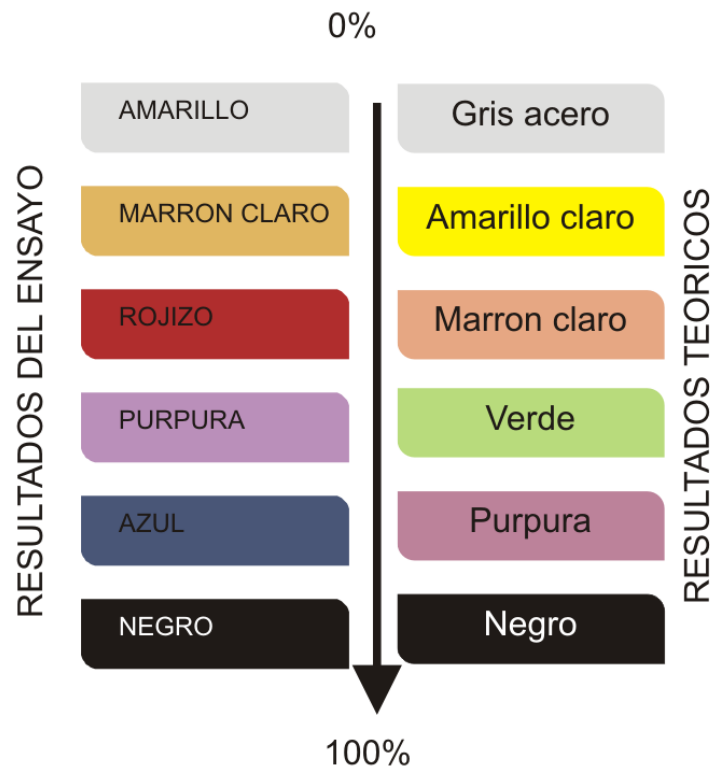
Al analizar el filamento a primera vista vemos que este se ha tintado con distintos colores, esto nos lleva a comparar el filamento con los distintos grados de oxidación que he estudiado anteriormente. En el filamento se pueden apreciar varios colores, entre ellos el azul, purpura, rojo y marrón, todos ellos con distintas tonalidades. Esto nos indica que a lo largo del filamento de Wolframio este ha sufrido distintos grados de oxidación, esto es debido a que el filamento se ha ido enfriando desde los extremos hasta el centro del mismo, por lo tanto el grado de oxidación será mayor cuanto más nos acerquemos a la mediatriz del filamento. Los colores obtenidos resultan un poco contradictorios con los obtenidos en el estudio teórico, ya que en el ensayo no se encuentra el color verde y si se encuentra azul y rojo, esto se analizara y contrastara con más detalle posteriormente.





**Figura 7.20:** Ensayo II-lupa

Para una mejor visualización se adjunta esta fotografía tomado con la ayuda de la lupa microscópica, aquí se aprecian mejor los colores del filamento y vemos como van cambiando como si de una gama cromática se tratara. Se aprecia que no hay restos de oxido en los soportes de la lámpara, ya que como explique antes el oxido no se ha podido convertir en gas debido a que no ha llegado a la temperatura suficiente para ello. Cambien se aprecia como el filamento esta vez mantiene el brillo ya que en ningún momento ha llegado a oxidarse completamente y en ningún lugar del filamento se intuye el color negro de la oxidación total.



Con este gráfico se pretende comparar los resultados teóricos con lo prácticos. Como se aprecia en el filamento, el color azul predomina bastante y este no aprecia en los resultados teóricos, esto puede ser debido al llamado Oxido de Wolframio Azul que realmente no se trata de  $WO_3$  sino que más bien se trata de un sub óxido de Wolframio que suele aparecer en distintas ocasiones, como se ha descrito en anteriores apartados este color azul es debido a una pequeña capa que recubre el filamento que suele aparecer entre los 327-600° C, este oxido es conocido como  $WO_3$  ( $W_{20}O_{58}$ ). Por otra parte el color rojizo de los resultados prácticos se puede equiparar al marrón de los resultados teóricos. Respecto a la no aparición del verde puede ser debido a que se encuentre debajo de la capa de oxido azul o que simplemente no se han dado las condiciones idóneas para su aparición, lo que sí se puede apreciar es que en el centro del filamento el oxido azul pasa a ser un poco mas verdoso que en otras zonas.



Como conclusión se llega a que si la lámpara ha estado encendida un segundo o menos antes de producirse la rotura, el filamento de Wolframio no se oxidara completamente, y no emitirá una llama amarilla producto de la primera oxidación de este filamento, sino que el filamento podrá quedar coloreado por distintos colores, que van desde el gris hasta el negro pasando por amarillo, marrón, purpura, azul y rojo.

#### 7.1.3.3 Ensayo III

El tercer ensayo se realizara cuando la lámpara lleve apagada entre uno y dos segundos.



**Figura 7.21: Ensayo III**

Como ya sucedió en el ensayo numero II a simple vista parece que el Wolframio no se ha oxidado, ya que no se produce la llama amarilla característica de la oxidación ni tampoco se ven restos de oxido por los soportes o la lámpara de la lámpara, por tanto para saber si se ha oxidado se deberá realizar un análisis más intenso.



**Figura 7.22:** Ensayo III

En esta foto ya se puede apreciar con más claridad que se ha producido oxidación, bastante menos que en los ensayos anteriores pero igualmente se ha oxidado. Si mirarnos el filamento podemos percibir que se ha tintado de marrón claro, fijándose en el gráfico del grado de oxidación se puede concluir que el Wolframio se ha oxidado en un grado muy pequeño, esto es debido a que al transcurrir más de un segundo el filamento de Wolframio se enfría antes de que se pueda llevar a cabo la oxidación total del metal.



**Figura 7.23:** Ensayo III-lupa

Utilizando la lupa microscópica podemos observar el filamento desde más cerca, en esta foto no se aprecia tanto el color marrón que posee el filamento, pero eso ya se aprecia en la figura anterior, lo interesante de esta fotografía es el soporte de la lámpara, si me fijo bien el soporte esta coloreado, lo cual es algo bastante extraño, pero más aun si la coloración del soporte es la misma que la que tenía el filamento de Wolframio del ensayo anterior. Esto tiene explicación, seguramente el Wolframio en estado gaseoso se transporto desde el filamento hasta el soporte y el soporte retiene mas el color que el filamento, por lo tanto se puede deducir que el grado de oxidación de las partículas del soporte es mayor que en el filamento. Esto no es algo normal, ya que si siempre fuera así, en cada uno de los ensayos hubiera pasado lo mismo, pero solo ha ocurrido en este.

Como conclusión se llega a que si la lámpara ha estado encendida entre uno y dos segundos antes de producirse la rotura, el filamento de Wolframio no se oxidara completamente, y no emitirá una llama amarilla producto de la primera oxidación de este filamento, sino que el filamento podrá quedar coloreado por distintos colores, estos colores podrían variar pero lo más normal es que aparezcan colores en los que la oxidación del Wolframio es menor, como el marrón claro o el amarillo. Como añadido, también puede ser posible que se visualicen otros colores en los soportes de la lámpara, debido a que el soporte aguantara más la temperatura que el propio filamento.

#### 7.1.3.4 Ensayo IV

El cuarto ensayo se realizara cuando la lámpara lleve apagada más de dos segundos. Como ya era de prever no se aprecian indicios de oxidación en el filamento a primera vista, ya que no se produce la llama amarilla característica de la oxidación ni tampoco se ven restos de oxido

por los soportes o la lámpara, por tanto para saber si se ha oxidado se deberá realizar un análisis más intenso.



**Figura 7.24:** Ensayo IV-lupa

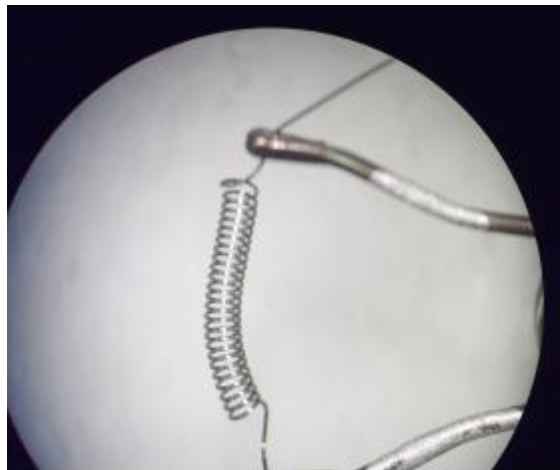
A primera vista no se apreciaba ningún cambio en el filamento de Wolframio, por tanto se ha pasado al examen con lupa para así poder ver lo que se le escapa al ojo humano, pero incluso con la lupa no se aprecia ningún signo de oxidación ni en el filamento ni en los componentes de la lámpara, de hecho no se aprecia ningún cambio con la lámpara antes de ser ensayada, teniendo en cuenta este dato, se puede asegurar que a partir de dos segundos, la temperatura del filamento de Wolframio baja de los 400°C y por tanto no se produce la oxidación del metal.

Como conclusión se llega a que si la lámpara ha estado encendida más de dos segundos antes de producirse la rotura, el filamento de Wolframio no se oxidara, tanto el filamento como la lámpara tendrán el mismo aspecto que antes de la rotura, con esto se llega a que el filamento tarda un poco más de dos segundos en bajar de los 400°C, que es la temperatura mínima a la que se oxida el Wolframio.

#### 7.1.3.5 Ensayo V

El quinto ensayo se realizara con la lámpara totalmente apagada.

Como ya era de prever no se aprecian indicios de oxidación en el filamento a primera vista, ya que no se produce la llama amarilla característica de la oxidación ni tampoco se ven restos de oxido por los soportes o la lámpara, por tanto para saber si se ha oxidado se deberá realizar un análisis más intenso.



**Figura 7.25:** Ensayo V-lupa

A primera vista no se apreciaba ningún cambio en el filamento de Wolframio, por tanto se ha pasado al examen con lupa para así poder ver lo que se le escapa al ojo humano, pero incluso con la lupa no se apreciaba ningún signo de oxidación ni en el filamento ni en los componentes de la lámpara, de hecho no se apreciaba ningún cambio con la lámpara antes de ser ensayada, teniendo en cuenta este dato, se puede asegurar que como la lámpara se ha ensayado apagada, el filamento no ha podido llegar a los 400°C en los cuales se produce la primera oxidación del Wolframio, por tanto no se produce oxidación.

Como conclusión se llega a que si la lámpara está apagada, el filamento de Wolframio no se oxidara, tanto el filamento como la lámpara tendrán el mismo aspecto que antes de la rotura, esto se debe a que en ningún momento el filamento llega a los 400°C, que es donde se empieza a oxidar el Wolframio.

#### 7.1.4 Conclusiones

Ensayo 1: como conclusión se llega a que si la lámpara se encuentra totalmente encendida a la hora de romperse la lámpara de vidrio, el filamento de Wolframio se oxidara completamente, y emitirá una llama amarilla producto de la primera oxidación de este filamento, esta llama amarilla contiene el llamado Oxido de Wolframio Amarillo que quedara pegado a los soportes de la lámpara y a la ampolla de esta.

Ensayo 2: como conclusión se llega a que si la lámpara ha estado encendida un segundo o menos antes de producirse la rotura, el filamento de Wolframio no se oxidara completamente, y no emitirá una llama amarilla producto de la primera oxidación de este filamento, sino que el filamento podrá quedar coloreado por distintos colores, que van desde el gris hasta el negro pasando por amarillo, marrón, purpura, azul y rojo.

Ensayo 3: como conclusión se llega a que si la lámpara ha estado encendida entre uno y dos segundos antes de producirse la rotura, el filamento de Wolframio no se oxidara completamente, y no emitirá una llama amarilla producto de la primera oxidación de este filamento, sino que el filamento podrá quedar coloreado por distintos colores, estos colores podrían variar pero lo más normal es que aparezcan colores en los que la oxidación del Wolframio es menor, como el marrón claro o el amarillo. Como añadido, también puede ser posible que se visualicen

otros colores en los soportes de la lámpara, debido a que el soporte aguantara más la temperatura que el propio filamento.

Ensayo 4: como conclusión se llega a que si la lámpara ha estado encendida más de dos segundos antes de producirse la rotura, el filamento de Wolframio no se oxidara, tanto el filamento como la lámpara tendrán el mismo aspecto que antes de la rotura, con esto se llega a que el filamento tarda un poco más de dos segundos en bajar de los 400°C, que es la temperatura mínima a la que se oxida el Wolframio.

Ensayo 5: como conclusión se llega a que si la lámpara está apagada, el filamento de Wolframio no se oxidara, tanto el filamento como la lámpara tendrán el mismo aspecto que antes de la rotura, esto se debe a que en ningún momento el filamento llega a los 400°C, que es donde se empieza a oxidar el Wolframio.

## 7.2 Ensayos sobre la deformación del filamento de Wolframio

### 7.2.1 Casuística del ensayo

Se tendrán en cuenta las siguientes variables:

- Uso: nuevas (1), uso medio (2), uso prolongado (3)
- Tiempo de apagado: encendida, entre cero y un segundo, entre uno y dos segundos, entre 2 y 4 segundos y apagada.

	Nuevas	Uso medio	Uso prolongado
Encendida	A	B	C
Entre 0 y 1 segundos	D	E	F
Entre 1 y 2 segundos	G	H	I
Entre 2 y 4 segundos	J	K	L
Apagada	M	N	O

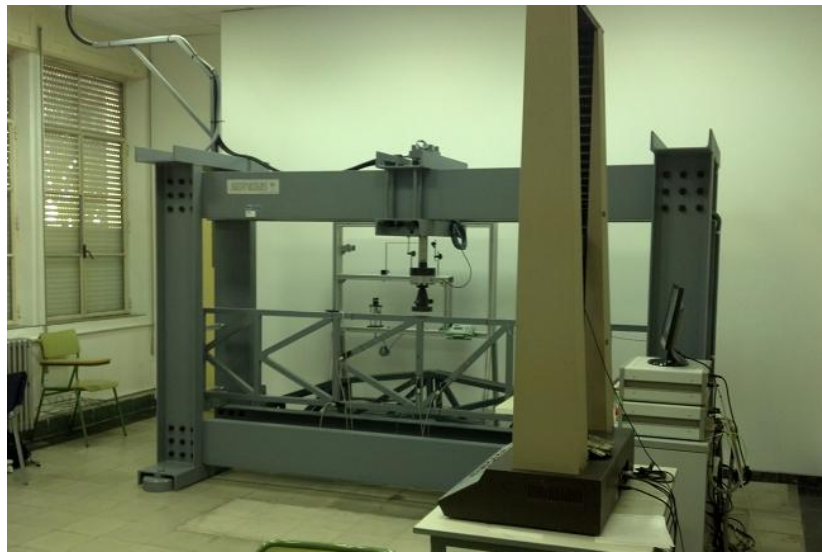
Por tanto se tendrían los siguientes ensayos:

- Ensayo A: lámpara nueva completamente encendida
- Ensayo B: lámpara de uso medio completamente encendida
- Ensayo C: lámpara de uso prolongado completamente encendida
- Ensayo D: lámpara nueva apagada en menos de un segundo
- Ensayo E: lámpara de uso medio apagada en menos de un segundo
- Ensayo F: lámpara de uso prolongado apagada en menos de un segundo
- Ensayo G: lámpara nueva apagada entre 1 y 2 segundos
- Ensayo H: lámpara de uso medio apagada entre 1 y 2 segundos
- Ensayo I: lámpara de uso prolongado apagada entre 1 y 2 segundos
- Ensayo J: lámpara nueva apagada entre 2 y 4 segundos
- Ensayo K: lámpara de uso medio apagada entre 2 y 4 segundos
- Ensayo L: lámpara de uso prolongado apagada entre 2 y 4 segundos
- Ensayo M: lámpara nueva totalmente apagada
- Ensayo N: lámpara de uso medio totalmente apagada
- Ensayo O: lámpara de uso prolongando totalmente apagada



### 7.2.2 Lugar donde se realizarán los ensayos y maquinas a utilizar

Estos ensayos tendrán lugar en el laboratorio de materiales, en el cual se encuentra el Péndulo Charpy que es la herramienta a utilizar para la realización de los ensayos.



**Figura 7.26:** Laboratorio de Materiales

Aquí se puede observar una de las distintas maquinas que se encuentran en el laboratorio de Materiales.



**Figura 7.27:** Laboratorio de Materiales

En esta otra figura se puede ver dos maquinas para el ensayo de tracción, una de ellas es más antigua que la otra y no consta de sistema informático como si posee la maquina mas nueva.



**Figura 7.28:** Laboratorio de Materiales

En esta imagen se aprecia el Péndulo Charpy y una mesa de trabajo con su correspondiente tornillo mecánico.



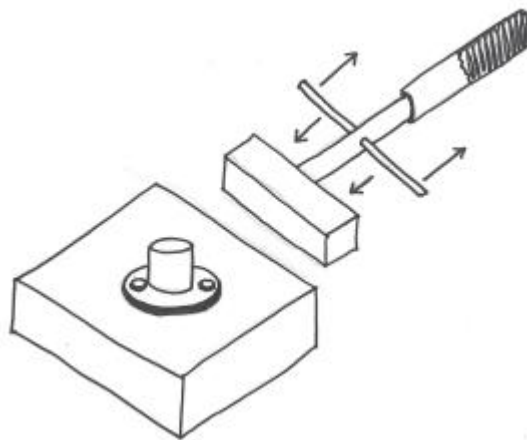
**Figura 7.29:** Péndulo Charpy

En esta figura se observa la herramienta a utilizar en el ensayo, el Péndulo Charpy.

### 7.2.3 Preparación del utillaje del ensayo

En este ensayo no se busca romper la lámpara, sino dar un impacto al filamento de Wolframio sin que se rompa la lámpara de vidrio, para ello se pensaron varias maneras de realizar el ensayo, en todas ellas el portalámparas donde iría la lámpara estaría atornillado a una pieza metálica que es la que recibiría el impacto y esta a su vez transmitiría el golpe al filamento de Wolframio.

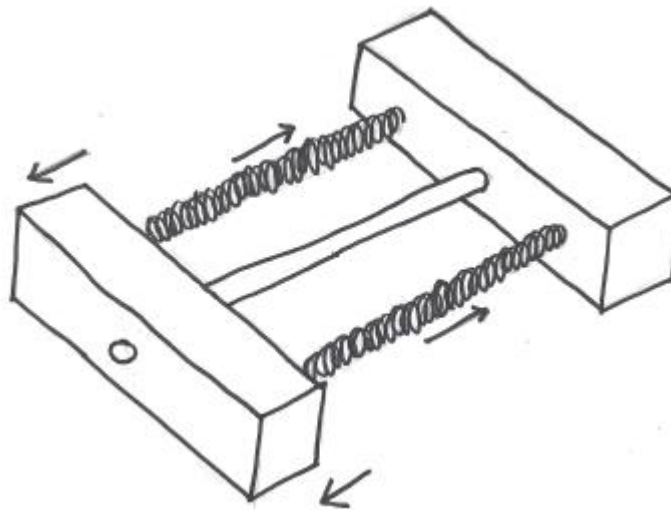
Este es el primer mecanismo pensado para realizar los ensayos.



**Figura 7.30:** Primer mecanismo

Este mecanismo se basaba en un muelle solidario con un tubo metálico que a su vez fuera solidario a una pieza metálica que es la que impactaría con la base metálica, este tubo se introducía en un tubo hueco y mediante unas palancas se contraería el muelle lo máximo posible, para así soltarlo y que se produjera el impacto.

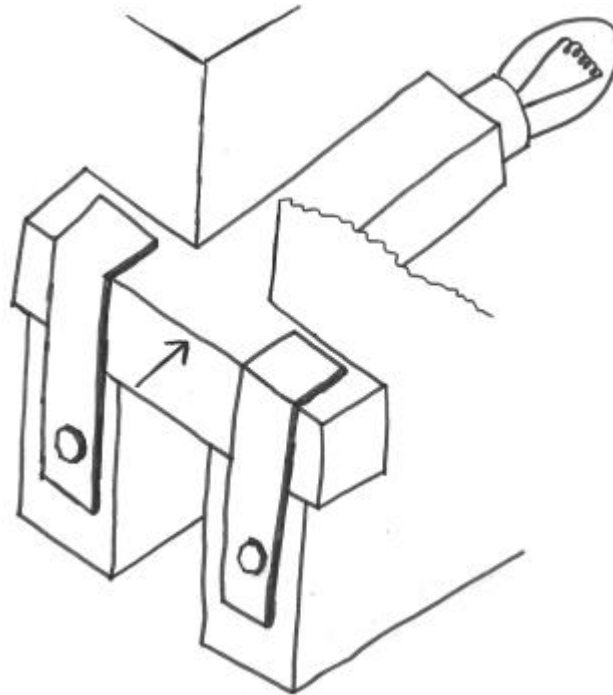
Este primer mecanismo se desechó por la poca fuerza que imprimiría sobre la bombilla y que quizás no fuera una simulación correcta de lo que viene siendo un impacto en un accidente de tráfico. Por tanto se pensó otro mecanismo parecido pero que pudiera imprimir más fuerza sobre la base metálica.



**Figura 7.31:** Segundo mecanismo

Este segundo mecanismo era muy parecido, se usaban dos muelles en lugar de uno y estos estaban unidos a dos piezas metálicas unidas por un tubo metálico que traspasase una de las dos piezas, así se contraería una de las dos piezas metálicas y al soltarla produciría el impacto, este segundo mecanismo se desechó por su complejidad a la hora de fabricarlo y porque tampoco daba unos buenos resultados en cuanto a fuerza aplicada, por tanto se buscaron nuevas soluciones.

Por tanto se pensó utilizar un péndulo Charpy, básicamente se pretende fijar la base metálica al péndulo y que este le dé el golpe, siendo una manera fácil y poco costosa de realizar el ensayo.



**Figura 7.32:** Mecanismo final

Consiste en una base metálica adaptada al péndulo Charpy de manera que la bombilla no sufra el impacto del péndulo, esta base estaría sujeta por unas escuadras atornilladas a la máquina de manera que aguante el impacto sin que la base metálica se mueva.

Para poder realizar el ensayo en el péndulo Charpy la base metálica requiere unas dimensiones específicas, por tanto se debe proceder al corte de esta base metálica hasta conseguir una forma de “T” que encaje perfectamente en el péndulo Charpy y en la cual la lámpara este segura de no romperse.

Por tanto mediante una sierra mecánica se cortara la base metálica hasta conseguir la forma deseada.



**Figura 7.33:** Sierra mecánica

Con la siguiente sierra mecánica se cortara la base metálica, se ha decidido esta herramienta ya que el material base es chapa de acero de gran espesor y este era la única herramienta disponible que puede cortar este tipo de aceros.



**Figura 7.34:** Sierra mecánica

En esta imagen se puede ver como la sierra mecánica está cortando la pieza base de acero buscando conseguir una forma de “T”, la sierra mecánica debe estar constantemente lubricada para poder realizar el corte indicado, también la velocidad de desplazamiento de la sierra



mecánica debe ser pequeña para evitar la posible rotura de la herramienta de corte.

Aquí se presenta la base metálica que recibirá el impacto del péndulo Charpy y sobre la cual deberá ir atornillado el portalámparas y la lámpara a ensayar.



**Figura 7.35:** Base metálica

Con esta taladradora se hicieron los taladros en la base metálica para poder atornillar los portalámparas en la base, se utilizaron taladros de 4 mm de diámetro, que era el necesario para los tornillos.



**Figura 7.36:** Taladradora



**Figura 7.37:** Maneral y machuelo

Con un maneral y un machuelo se realizan posteriormente la rosca necesaria para que el tornillo pueda ser roscado en la base metálica.



**Figura 7.38:** Base con tornillo

Después de taladrar la base metálica y su posterior roscado, se procede a atornillar los portalámparas en la base metálica, en la imagen se ve el tornillo en la base metálica y un trozo de plástico del portalámparas que se ha quedado ahí debido a que se ha roto debido al esfuerzo imprimido por el péndulo Charpy, para ellos se tenían varios portalámparas para ensayar, debido a que no aguantaban varios impactos seguidos y acababan destrozados.



Una vez se tiene la base lista para atornillar el portalámparas junto con la lámpara, se procederá a buscar un sistema de agarre de la base metálica en el péndulo Charpy.



**Figura 7.39:** Escuadras y base

Para la fijación de la base en el péndulo Charpy se ha creado unas escuadras, las cuales irán atornilladas en el péndulo Charpy utilizando tornillos que ya posee la maquina, de esta manera la base quedara fijada al péndulo y esta no saldrá disparada después del impacto.



**Figura 7.40:** Montaje preparado

En esta imagen se puede ver la base metálica ya montada en la maquina, las dos escuadras están fijadas con los tornillos de la maquina que anteriormente han sido desatornillados y estas escuadras fijan la base metálica para que esta no se levante y el ensayo se pueda realizar a la perfección, al fondo se ve la posición del portalámparas, el cual está conectado a la batería para así poder encender las lámparas.



**Figura 7.41:** Montaje preparado

En esta siguiente imagen se puede ver el otro lado del Péndulo Charpy, aquí se ve el portalámparas y como este está conectado a la batería, de esta manera la lámpara no sufrirá daño, solo el filamento, simulando casi a la perfección un choque de automóvil.

Ahora ya se tiene todo el montaje preparado para la realización del ensayo, solo queda ir cambiando las condiciones del ensayo e ir realizando cada uno de los distintos ensayos.

## 7.2.4 Realización de los ensayos de deformación

### 7.2.4.1 Condiciones de ensayo

Las condiciones de ensayo se intentaran que se parezcan lo máximo posible al impacto de un vehículo, aunque esto es complicado ya que cada accidente de automóvil tiene distintas condiciones, el impacto será distinto en cada accidente.



**Figura 7.42:** Condiciones de ensayo

Todos los ensayos tendrán las siguientes condiciones, se imprimirá unos 5 Kgms, ya que un impacto mayor no sería soportado por el mecanismo ideado y con esta fuerza es suficiente para que los filamentos de Wolframio se deformen si se cumplen las condiciones.

El péndulo Charpy utilizado pesa unos 30 Kg y se dejara caer desde una pequeña altura.

#### 7.2.4.2 Ensayo A

Para este ensayo se utilizara una lámpara completamente nueva y que se encuentre totalmente encendida.

El primer ensayo se hará en estas condiciones, ahora se deja caer el péndulo, este impacta sobre la base metálica y esta transmite el impacto hasta el filamento de la lámpara.



*Figura 7.43: Momento anterior al ensayo*

Escena inicial del ensayo de deformación, ahora queda accionar la palanca del péndulo para que este caiga sobre el soporte metálico.



**Figura 7.44:** Momento posterior al ensayo

Una vez soltado el péndulo, este cae con fuerza y golpea la base metálica provocando un ruido metálico.

Una vez realizado el ensayo se examinara la lámpara tanto a simple vista como en la lupa para así poder ver el filamento de Wolframio con claridad.



**Figura 7.45:** Ensayo A

Como se aprecia en la imagen el filamento de Wolframio ha sufrido un alargamiento y por tanto una deformación, lo cual implica que, en el momento de la colisión, la lámpara se encontraba encendida (como ya se conoce). Esto implica un comportamiento dúctil del metal, como se ha dicho anteriormente para que el hilo de Wolframio pueda ser deformado sin romperse debe estar por encima de la temperatura de transición dúctil-frágil, que como se ha expuesto con anterioridad gira en torno los 200-300°C o hasta incluso los 400° C.



**Figura 7.46:** Ensayo A-lupa

En la lupa vemos con más claridad la deformación del filamento, se ve como los soportes no han sufrido daño alguno y que el filamento tiene un aspecto brillante, y esto se sabe porque se trata de una lámpara nueva.

Como conclusión, sin una lámpara se encuentra con el cristal intacto, la lámpara no presenta envejecimiento y el filamento se encuentra deformado, se puede concluir que la lámpara se encontraba encendida en el momento del impacto.

#### 7.2.4.3 Ensayo B

Para este ensayo se utilizara una lámpara que haya tenido un uso medio y que se encuentre totalmente encendida.

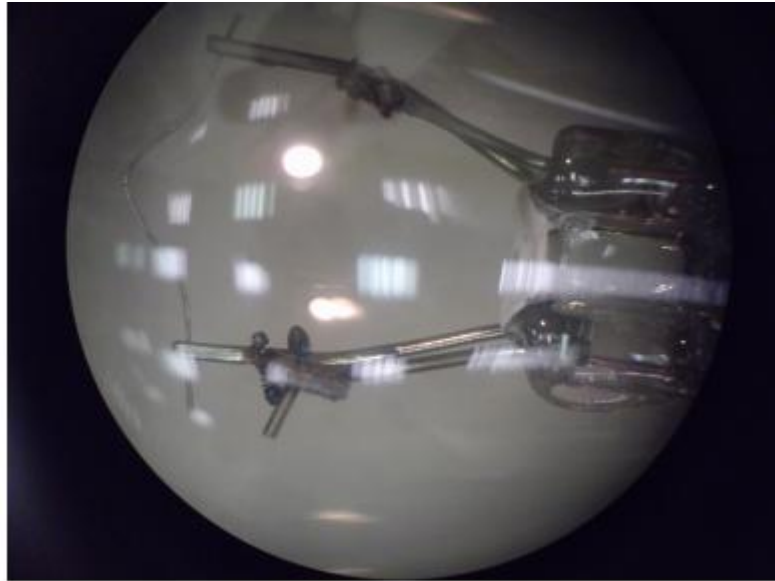


**Figura 7.47: Ensayo B**

Como se aprecia en la imagen el filamento de Wolframio ha sufrido un alargamiento y por tanto una deformación y después una rotura, lo cual implica que, en el momento de la colisión, la lámpara se encontraba encendida (como ya se conoce). Esto implica un comportamiento dúctil del metal, como se ha dicho anteriormente para que el hilo de Wolframio pueda ser deformado sin romperse debe estar por encima de la temperatura de transición dúctil-frágil, que como se ha expuesto con anterioridad gira en torno los 200-300°C o hasta incluso los 400° C, teniendo en cuenta que la lámpara tiene un uso medio.



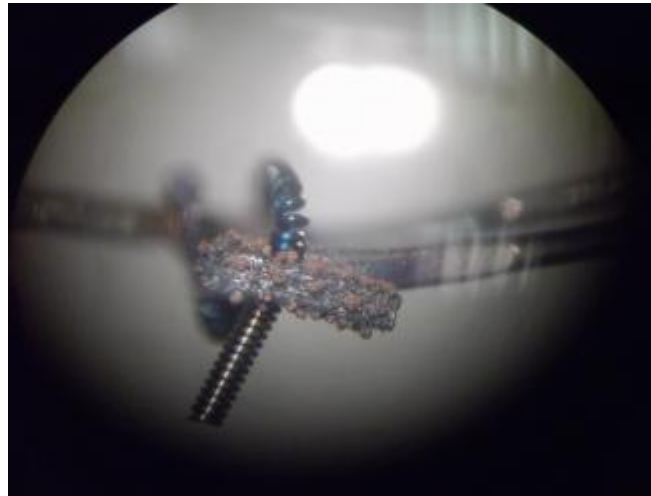
Como se aprecia en la imagen el filamento se ha roto, se ha enrollado en el soporte y se ha tornado de color azul, poco mas se puede apreciar en esta fotografía, además de la clara deformación que ha sufrido el filamento.



**Figura 7.48:** Ensayo B-lupa

En esta fotografía en la lupa se aprecia mejor como se ha deformado el filamento hasta enrollarse en el soporte y como ha tomado un color azul que descuadra un poco con los resultados esperados.





**Figura 7.49:** Ensayo B-lupa

En esta imagen vemos el deterioro que tiene la lámpara si nos fijamos en el soporte sobre el cual está enrollado el filamento, se observa perfectamente restos de Wolframio en este soporte. El filamento se presenta estirado pero ha sido imposible visualizar el lugar donde se ha producido la rotura del filamento por tanto no se puede decir si la fractura presenta bordes redondeados o bordes irregulares. Como se sabe que el golpe se le dio cuando estaba la lámpara encendida, se supone que la rotura ha debido ser con bordes redondeados y que el filamento ha llegado a romperse debido al deterioro de este, sino lo más frecuente sería que se hubiera deformado pero no roto, tal como sucedió en el Ensayo A.

Quizás lo más interesante de este ensayo es el color azulado que presenta el filamento, se sabe que no es debido a la oxidación ya que el filamento en ningún momento se ha encontrado en contacto con el aire, la única opción viable es que el Wolframio ha reaccionado con algún otro elemento dentro de esta lámpara, seguramente con los soportes y que por tanto ha cambiado su aspecto.

Como conclusión, sin una lámpara se encuentra con el cristal intacto y el filamento se encuentra enrollado, se puede concluir que la lámpara se encontraba encendida en el momento del impacto, ya que para poder enrollarse ha tenido que poseer un carácter dúctil, y para ello ha debido de estar a una temperatura superior a los 200-300°C. Quizás si la lámpara no tuviera ya un tiempo de uso no hubiera llegado a romperse, quedando solo en una deformación del filamento.

#### 7.2.4.4 Ensayo C

Para este ensayo se utilizara una lámpara que haya tenido bastante uso y que se encuentre totalmente encendida.



**Figura 7.50: Ensayo C**

Como se aprecia en la imagen el filamento de Wolframio ha sufrido un alargamiento y por tanto una deformación y después una rotura, lo cual implica que, en el momento de la colisión, la lámpara se encontraba encendida (como ya se conoce). Esto implica un comportamiento dúctil del

metal, como se ha dicho anteriormente para que el hilo de Wolframio pueda ser deformado sin romperse debe estar por encima de la temperatura de transición dúctil-frágil, que como se ha expuesto con anterioridad gira en torno los 200-300°C o hasta incluso los 400° C, teniendo en cuenta que la lámpara tiene un uso prolongado. Esta vez el filamento no se ha enrollado en el soporte, esto puede ser debido a que no tenía otro filamento cercano (como en el experimento B).



**Figura 7.51:** Ensayo C-lupa

En esta imagen se aprecia el envejecimiento de la lámpara, se ven los soportes completamente recubiertos de Wolframio, y se aprecia una gran cantidad de picaduras en el filamento, debido a su gran tiempo de uso. No se aprecia con claridad pero se supone que la rotura ha sido con bordes redondeados debido a que el filamento se encuentra totalmente deformado y estirado, aunque también puede presentar aristas vivas debido al gran envejecimiento de la lámpara. Si la lámpara fuera nueva, quizás no hubiera llegado a la rotura sino simplemente a la deformación, pero la gran cantidad de picaduras y la pérdida de Wolframio (encontrado en los soportes) ha ayudado a la rotura del filamento.

Como conclusión, sin una lámpara se encuentra con el cristal intacto y el filamento se encuentra deformado, se puede concluir que la lámpara se encontraba encendida en el momento del impacto, ya que para poder

enrollarse ha tenido que poseer un carácter dúctil, y para ello ha debido de estar a una temperatura superior a los 200-300°C. Suizas si la lámpara no tuviera ya un tiempo de uso no hubiera llegado a romperse, quedando solo en una deformación del filamento.

#### 7.2.4.5 Ensayo D

Para este ensayo se utilizara una lámpara completamente nueva y que haya estado apagada menos de un segundo.



**Figura 7.52: Ensayo D**

Como se aprecia en la imagen el filamento de Wolframio ha sufrido un gran alargamiento y por tanto una gran deformación, lo cual implica que, en el momento de la colisión, la lámpara se encontraba encendida o ha sido apagada hace poco tiempo (como ya se conoce). Esto implica un comportamiento dúctil del metal, como se ha dicho anteriormente para que el hilo de Wolframio pueda ser deformado sin romperse debe estar por encima de la temperatura de transición dúctil-frágil, que como se ha

expuesto con anterioridad gira en torno los 200-300°C o hasta incluso los 400° C.

En la lupa vemos con más claridad la deformación del filamento, se ve como los soportes no han sufrido daño alguno y que el filamento tiene un aspecto brillante, y esto se sabe porque se trata de una lámpara nueva. Quizás el filamento ha estado al borde de la rotura, ya que ha llegado casi al límite del alargamiento, un impacto mas fuerte seguramente habría acabado rompiendo el filamento.



**Figura 7.53:** Ensayo D-lupa

Como conclusión, sin una lámpara se encuentra con el cristal intacto, la lámpara no presenta envejecimiento y el filamento se encuentra deformado, se puede concluir que la lámpara se encontraba encendida en el momento del impacto o como ocurre en este caso ha estado encendida hace relativamente poco tiempo.

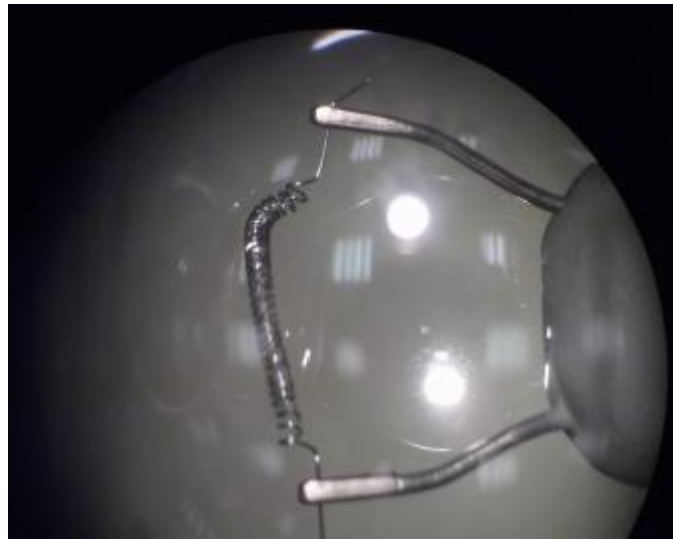
#### 7.2.4.6 Ensayo E

Para este ensayo se utilizara una lámpara usada un cierto tiempo y que haya estado apagada menos de un segundo.



**Figura 7.54:** Ensayo E

Como se aprecia en la imagen el filamento de Wolframio ha sufrido un pequeño alargamiento y por tanto una pequeña deformación, lo cual implica que, en el momento de la colisión, la lámpara se encontraba encendida o ha sido apagada hace poco tiempo (como ya se conoce). Esto implica un comportamiento dúctil del metal, como se ha dicho anteriormente para que el hilo de Wolframio pueda ser deformado sin romperse debe estar por encima de la temperatura de transición dúctil-frágil, que como se ha expuesto con anterioridad gira en torno los 200-300°C o hasta incluso los 400° C, teniendo en cuenta el uso de la lámpara.



**Figura 7.55:** Ensayo E-lupa

En la lupa vemos con más claridad la deformación del filamento, se ve como los soportes no han sufrido daño alguno y que el filamento tiene un aspecto brillante. Este filamento no se ha deformado mucho, se aprecia que el grosor de este filamento es mayor que el del Ensayo D, esto es debido a que son marcas distintas de lámpara, esta mayor cantidad de Wolframio ha sido la causante de la menor deformación de este filamento.

Como conclusión, sin una lámpara se encuentra con el cristal intacto y el filamento se encuentra deformado, se puede concluir que la lámpara se encontraba encendida en el momento del impacto o como ocurre en este caso ha estado encendida hace relativamente poco tiempo, también es viable que la deformación sea anterior al golpe ya que esta deformación ha sido muy pequeña y puede ser debida al envejecimiento del filamento.

#### 7.2.4.7 Ensayo F

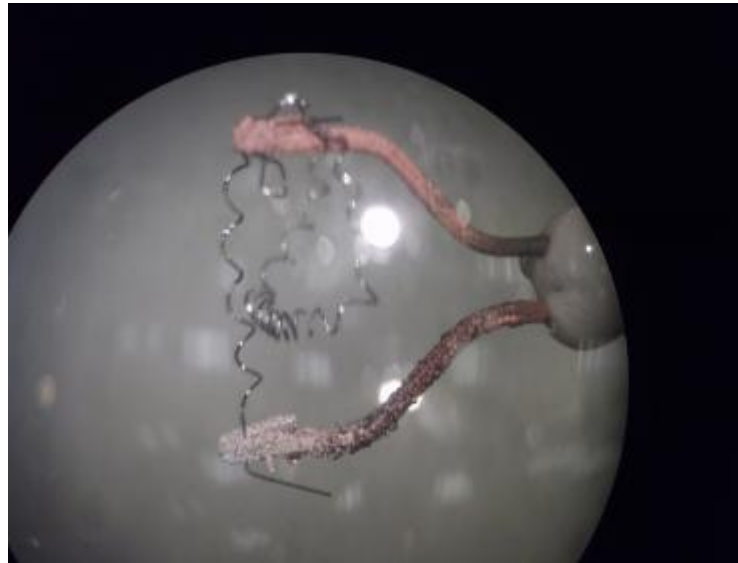
Para este ensayo se utilizara una lámpara usada bastante tiempo y que haya estado apagada menos de un segundo.



**Figura 7.56:** Ensayo F

En esta imagen se aprecia que el filamento está totalmente estirado y deformado y a su vez enrollado sobre sí mismo, también se aprecia como el soporte de la lámpara también se ha deformado y se ha desplazada hacia un lado de la lámpara. En el momento de la colisión, la lámpara se encontraba encendida o ha sido apagada hace poco tiempo (como ya se conoce). Esto implica un comportamiento dúctil del metal, como se ha dicho anteriormente para que el hilo de Wolframio pueda ser deformado sin romperse debe estar por encima de la temperatura de transición dúctil-frágil, que como se ha expuesto con anterioridad gira en torno los 200-300°C o hasta incluso los 400° C, teniendo en cuenta que la lámpara es de uso prolongado.





**Figura 7.57:** Ensayo F-lupa

En la lupa se puede apreciar más claramente la gran deformación que ha sufrido el filamento y como este se ha estirado hasta casi la rotura y se ha enrollado en los soportes y sobre sí mismo. Se aprecia con claridad el envejecimiento del filamento, debido tanto a la gran cantidad de picaduras que tiene el filamento como a la gran cantidad de Wolframio que se puede observar en los soportes. Quizás con un impacto mayor el filamento hubiese llegado a la rotura.

Como conclusión, si una lámpara se encuentra con el cristal intacto y el filamento se encuentra deformado, estirado y enrollado sobre sí mismo y los soportes, se puede concluir que la lámpara se encontraba encendida en el momento del impacto o como ocurre en este caso ha estado encendida hace relativamente poco tiempo.

#### 7.2.4.8 Ensayo G

Para este ensayo se utilizara una lámpara nueva y que haya sido apagada en el intervalo de uno a dos segundos.



**Figura 7.58: Ensayo G**

A primera vista se aprecia una clara deformación del filamento de la lámpara. Se debe tener en cuenta que la deformación va mermando respecto a los anteriores ensayos, esto es debido a que el filamento ya tenía menos temperatura a la hora del impacto. Por tanto, se deduce que en el momento de la colisión, la lámpara se encontraba encendida o ha sido apagada hace poco tiempo (como ya se conoce). Esto implica un comportamiento dúctil del metal, como se ha dicho anteriormente para que el hilo de Wolframio pueda ser deformado sin romperse debe estar por encima de la temperatura de transición dúctil-frágil, que como se ha expuesto con anterioridad gira en torno los 200-300°C o hasta incluso los 400° C. Por tanto se deduce que pasados dos segundos el filamento sigue estando por encima de los 400°C.



**Figura 7.59:** Ensayo G-lupa

En la imagen de la lupa se ve como los soportes no han sufrido daño alguno ni tampoco ningún cambio en sus características, solo ha sido el filamento el que se ha deformado, por lo demás la lámpara se encuentra intacta.

Como conclusión, si una lámpara se encuentra con el cristal intacto y el filamento se encuentra deformado, se puede concluir que la lámpara se encontraba encendida en el momento del impacto o como ocurre en este caso ha estado encendida hace relativamente poco tiempo, de hecho se sabe que esta se ha apagado en el intervalo de uno a dos segundos.

#### 7.2.4.9 Ensayo H

Para este ensayo se utilizara una lámpara de uso medio y que haya sido apagada en el intervalo de uno a dos segundos.



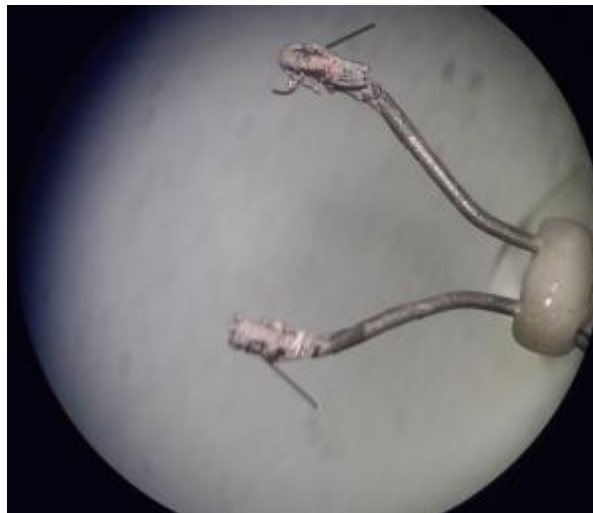
**Figura 7.60: Ensayo H**

A primera vista se aprecia como el filamento se ha partido por uno de los extremos unidos al soporte pero por otra parte no se aprecia deformación en el filamento, o solo una pequeña deformación, lo que si se ve es un desplazamiento del filamento, una rotación de este.



**Figura 7.61: Ensayo H**

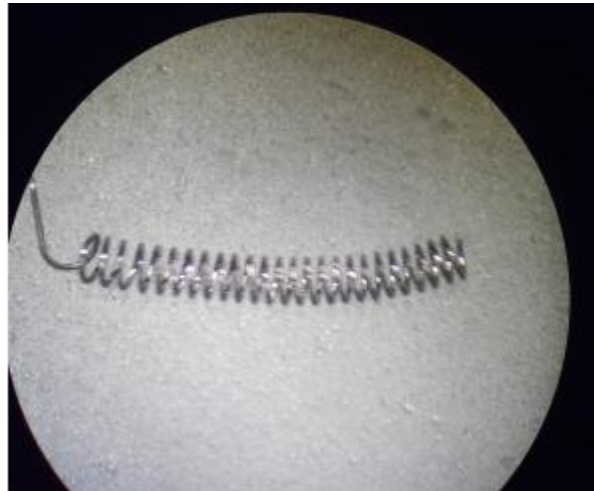
Por el impacto la lámpara se encontraba en mal estado y debido a la manipulación se ha acabado desprendiendo de la lámpara, de esta manera se puede observar mejor el filamento de Wolframio ya que antes la lámpara de vidrio y el Wolframio propio del envejecimiento de la lámpara no nos dejaban ver con claridad. Aquí se aprecia un poco mejor la rotura del filamento, se deduce que el filamento se rompió por un extremo nada mas sufrir el impacto, esto lo libero y por tanto no llego a deformarse como se esperaba, quedando así el filamento desplazado pero sin deformación aparente.



**Figura 7.62:** Ensayo H-lupa

A la hora de manipular la lámpara para llevarla hasta la lupa el filamento se desprendió del otro extremo, quedando los soportes por un lado y el filamento por otro. En esta imagen vemos los soportes con mayor aumento, se puede apreciar el envejecimiento de la lámpara, los soportes estaban en mal estado, con mucho Wolframio superficial, de esto se deduce que los soportes no estaban en condiciones de agarrar con fuerza el filamento de Wolframio y por esto el filamento se rompió. La primera rotura del filamento es aquella en la que queda un trozo de filamento en el soporte, por tanto la primera rotura no fue en el soporte sino en el filamento de Wolframio, se puede observar la rotura frágil del filamento, ya

que presenta bordes con aristas, esto es debido al envejecimiento del filamento.



**Figura 7.63:** Ensayo H-lupa

En esta foto se presenta el filamento de Wolframio desprendido, por un lado se ha roto el filamento y por el otro lado se ha soltado del soporte debido al envejecimiento de la lámpara. Se puede apreciar la gran cantidad de picaduras que tiene el filamento y que la rotura ha sido frágil como ya se expuso anteriormente. Por otro lado el otro extremo del filamento se encuentra intacto ya que simplemente se ha soltado del soporte de la lámpara.

Como conclusión este ensayo es muy contradictorio, si se hubiera analizado la lámpara después del ensayo sin conocer las condiciones iniciales se hubiera llegado casi siempre a la conclusión de que la lámpara se encontraba apagada o había estado apagada desde hace tiempo, se debe a que la rotura del filamento ha sido frágil, que este apenas se ha deformado, que la cantidad de picaduras del filamento y el envejecimiento de los soportes son los causantes de la rotura y no la elevación de la temperatura. Este ensayo no da los resultados esperados, pero es una manera de alertar de que la evaluación de las lámparas en

los accidentes de tráfico no es 100% fiable ya que puede haber casos como este ensayo totalmente engañosos.

#### 7.2.4.10 Ensayo I

Para este ensayo se utilizara una lámpara con bastante uso y que haya sido apagada en el intervalo de uno a dos segundos.

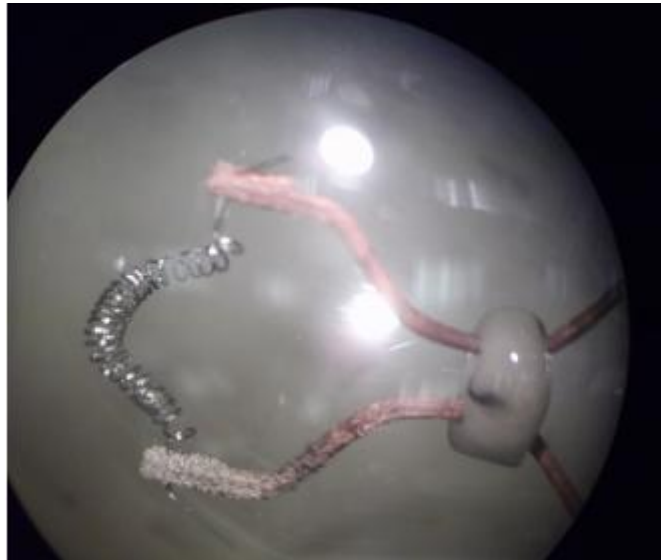


**Figura 7.64:** Ensayo I

A primera vista se parecía una gran deformación en el filamento de Wolframio y también una gran deformación en los soportes de la lámpara, los cuales han sido desplazados hacia un lado de la lámpara. El filamento se ha estirado considerablemente hasta el punto de llegar casi a la máxima longitud. Por tanto, se deduce que en el momento de la colisión, la lámpara se encontraba encendida o ha sido apagada hace poco tiempo (como ya se conoce). Esto implica un comportamiento dúctil del metal, como se ha dicho anteriormente para que el hilo de Wolframio pueda ser deformado sin romperse debe estar por encima de la temperatura de transición dúctil-frágil, que como se ha expuesto con anterioridad gira en torno los 200-300°C o hasta incluso los 400° C. Por tanto se deduce que



pasados dos segundos el filamento sigue estando por encima de los 400°C también en las lámparas con uso prolongado.



**Figura 7.65:** Ensayo I-lupa

En esta imagen se aprecia mejor la deformación tanto del filamento como del soporte. Se aprecia con gran claridad el envejecimiento de la lámpara, los soportes tiene una cantidad exagerada de Wolframio en su superficie y el filamento está totalmente lleno de picaduras, en este caso podría haber pasado algo similar a lo que ocurrió en el Ensayo H, pero esta vez los soportes aguantaron lo suficiente y el filamento pudo deformarse tal como se esperaba en este ensayo.

Como conclusión, si una lámpara se encuentra con el cristal intacto y el filamento se encuentra deformado, así también como el soporte también esta deformado, se puede concluir que la lámpara se encontraba encendida en el momento del impacto o como ocurre en este caso ha estado encendida hace relativamente poco tiempo, de hecho se sabe que esta se ha apagado en el intervalo de uno a dos segundos y que a pesar del gran uso de esta lámpara no se ha llegado a la rotura, aunque podría haberse dado el caso.



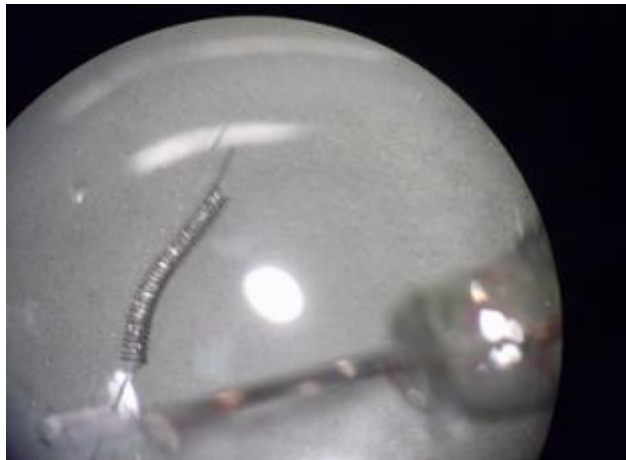
#### 7.2.4.11 Ensayo J

Para este ensayo se utilizara una lámpara completamente nueva y que haya sido apagada en el intervalo de dos a cuatro segundos.



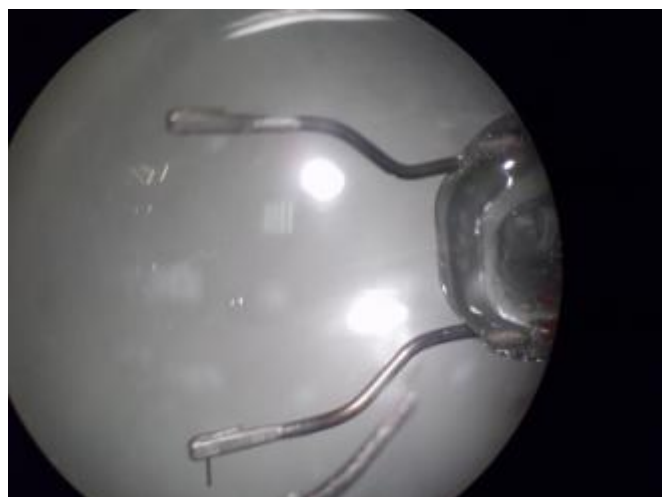
**Figura 7.66:** Ensayo J

A primera vista se ve que el filamento se ha desprendido del soporte de la lámpara, por ahora no se sabe si es debido a una rotura del filamento o a un posible desprendimiento del filamento de los soportes, vemos como la lámpara a sufrido en el impacto ya que ha perdido la base de esta. Los soportes parecen intactos, tal como se encontraban antes del ensayo.



**Figura 7.67:** Ensayo J-lupa

En esta imagen se aprecia una pequeña deformación del filamento, esta habrá tenido lugar al comienzo del ensayo ya que la lámpara era nueva y estaba en perfectas condiciones antes del ensayo, se aprecia que el extremo del filamento por donde se ha roto es donde el filamento no se encuentra enrollado, esto es normal debido a la menor resistencia en este lugar.



**Figura 7.68:** Ensayo J-lupa

Con esta imagen de la lupa vemos que un trozo del filamento todavía se encuentra en el soporte mientras que el otro soporte no contiene nada del filamento, esto nos da a entender que en un extremo se ha producido la rotura del filamento y en el otro extremo se ha desprendido. Los soportes se encuentran intactos, sin deformación y sin cambios aparentes. Al fondo se vislumbra el filamento desprendido, el cual se analizara a continuación.

Como conclusión, al superar los dos segundos el tiempo que se tira la lámpara apagada después de estar encendida, el filamento no se debería deformar tanto, como ocurre en este ensayo y si el impacto es lo bastante fuerte, quizás el filamento puede llegar a romperse, siempre de una manera frágil, ya que ha bajado de la temperatura de transición dúctil-frágil. Se deduce que el filamento tenía una temperatura superior a los 400°C al comienzo del ensayo y por eso la pequeña deformación que se vislumbra, pero que una vez bajo de los 200-300°C el filamento pierde su carácter dúctil y pasa a ser frágil, por eso la rotura del filamento, siempre y cuando el impacto sea lo bastante fuerte. Por tanto si el filamento se encuentra roto la lámpara se encontraba casi el 100% de las veces apagada, ahora si el filamento no está muy envejecido y tiene una pequeña deformación, se llega a la conclusión que la lámpara había estado encendida hacia más de dos segundos antes del impacto.

#### 7.2.4.12 Ensayo K

Para este ensayo se utilizara una lámpara de uso medio y que haya sido apagada en el intervalo de dos a cuatro segundos.



**Figura 7.69:** Ensayo K

A primera vista se ve una pequeña deformación del filamento, sin haber llegado a romperse como en el ensayo anterior, también se ve una deformación en el soporte de la lámpara, quizás de ahí sale la diferencia con el ensayo anterior, como el filamento se encuentra deformado se deduce que ha estado a temperaturas superiores a los 200-300°C en el momento del impacto y que no ha llegado a deformarse más porque esta temperatura no se ha mantenido y el filamento se ha enfriado rápidamente.



**Figura 7.70:** Ensayo K-lupa

En la lupa se aprecia mejor la pequeña deformación del filamento y el envejecimiento de este, si nos fijamos en la gran cantidad de Wolframio que tienen los soportes de la lámpara, al contrario que en el ensayo anterior los soportes han aguantado el impacto y no se ha desprendido el filamento, esto puede ser debido a la mala calidad de las lámparas actuales si las comparamos con lámparas más antiguas.

Como conclusión, al superar los dos segundos el tiempo que se tira la lámpara apagada después de estar encendida, el filamento no se debería deformar tanto, como ocurre en este ensayo y si el impacto es lo bastante fuerte, quizás el filamento puede llegar a romperse, siempre de una manera frágil, ya que ha bajado de la temperatura de transición dúctil-frágil. Se deduce que el filamento tenía una temperatura superior a los 400°C al comienzo del ensayo y por eso la pequeña deformación que se vislumbra, pero que una vez bajo de los 200-300°C el filamento pierde su carácter dúctil y pasa a ser frágil, pero en este caso no llega a producirse la rotura del filamento. Por tanto si el filamento se encuentra con una

pequeña deformación sin llegar a ser tan grande como en los ensayos anteriores se llega a la conclusión que el filamento no tenía la temperatura necesaria para deformarse en gran medida, pero aun así se ha deformado. Por tanto se deduce que si sufre una pequeña deformación (siempre que sea mayor a la deformación mínima que tiene lugar por el envejecimiento del filamento) la lámpara se encontraba encendida entre dos y cuatro segundos antes del impacto.

#### 7.2.4.13 Ensayo L

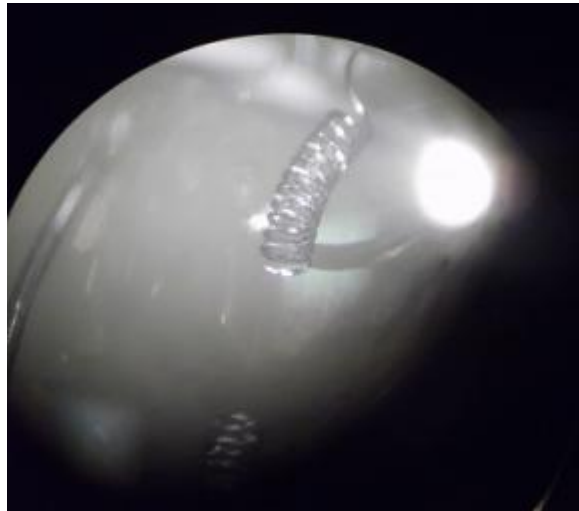
Para este ensayo se utilizara una lámpara de uso prolongado y que haya sido apagada en el intervalo de dos a cuatro segundos.



**Figura 7.71: Ensayo L**

A primera vista se ve como el filamento se ha roto completamente por la mitad y que no ha sido deformado, esto es característico de una rotura frágil del material, en esta foto se puede apreciar el envejecimiento de la lámpara, la gran cantidad de Wolframio que tiene la lámpara es signo característico de un gran uso de la lámpara, y si tenemos en cuenta que

la lámpara es de doble filamento, o sea de posición/freno, está claro que la rotura se ha producido por el mal estado de la lámpara.



**Figura 7.72:** Ensayo L-lupa

En esta imagen de la lupa se ve lo que queda de filamento en los soportes, se ve una gran cantidad de picaduras en el filamento, y en el borde donde se ha roto se aprecia que ha sufrido una fractura frágil ya que tiene el borde puntiagudo, en forma de aristas y no redondeado. Cambien se aprecia una leve deformación en el filamento, debida a que anteriormente la lámpara ha estado encendida, pero el gran desgaste de la lámpara no ha permitido la deformación del filamento y en el momento que ha sufrido el impacto del filamento se ha roto, podría haberse roto de manera dúctil, pero el hecho de estar en tal mal estado lo ha impedido, prácticamente se podría decir que el filamento estaba ya casi roto, de otra manera se hubiera producido una rotura dúctil.



**Figura 7.73:** Ensayo L-lupa

En esta imagen vemos el resto del filamento, se aprecian gran cantidad de picaduras y un estado bastante envejecido.

Como conclusión, en este caso la lámpara se encontraba en tal mal estado que no ha dejado paso a la deformación del material ni a la rotura dúctil del filamento, sino que se ha roto de manera frágil casi de manera inmediata, esto tiene que ser debido a que el filamento estaba ya muy dañado y prácticamente estaba ya casi roto. Por tanto si el filamento presenta una rotura frágil lo más normal es que la lámpara estuviese apagada, pero también cabe la posibilidad (como sucede en este caso) de que la lámpara estuviese en tan mal estado que llegue a romperse antes de deformarse y/o romperse de manera dúctil, por tanto habrá que tener en cuenta el envejecimiento de la lámpara cuando el filamento se haya roto de manera frágil.



#### 7.2.4.14 Ensayo M

Para este ensayo se utilizara una lámpara nueva y que se encuentre apagada.



**Figura 7.74:** Ensayo M

A primera vista se aprecia que el filamento ha quedado prácticamente destrozado y se ha partido en varios pedazos, quedando varias espiras por la lámpara de vidrio, está claro que el filamento no ha sufrido deformación alguna y que se ha roto (seguramente de manera frágil) nada más recibir el impacto, esto es así debido a que no ha sufrido ninguna subida de temperatura y por tanto es imposible que se deforme.



**Figura 7.75:** Ensayo M-lupa

Uno de los extremos del filamento no se ha roto sino que se ha desprendido del soporte pero sin embargo el otro sí que ha sufrido una rotura, en la imagen de la lupa se ve el trozo de filamento unido al soporte. Este extremo del filamento presenta bordes puntiagudos, con arista viva, típico de una rotura frágil del material.



**Figura 7.76:** Ensayo M-lupa

En la siguiente imagen vemos el resto del filamento y como este ha quedado destrozado, todos los extremos presentan bordes con aristas vivas, por tanto han sufrido rotura frágil.

Como conclusión si la lámpara no presenta síntomas de envejecimiento, el filamento se encuentra roto y sin estar deformado y a parte, la rotura del filamento ha sido con aristas vivas, de manera frágil, se llega a que la lámpara se encontraba apagada en el momento del impacto.

#### 7.2.4.15 Ensayo N

Para este ensayo se utilizara una lámpara de uso medio y que se encuentre apagada.



**Figura 7.77: Ensayo N**

A simple vista no se aprecia ni deformación ni rotura del filamento, lo más probable es que el impacto no ha sido lo suficientemente fuerte, la principal diferencia al anterior ensayo puede ser el grosor del filamento y como anteriormente se comento la diferencia de calidad entre una lámpara nueva y las lámparas antiguas.



**Figura 7.78:** Ensayo N-lupa

En esta foto se aprecia mejor que no ha habido deformación en el filamento, si se ve que este tiene picaduras.

Como conclusión si el filamento se encuentra intacto, esto quiere decir que la lámpara estaba apagada, y/o que el impacto no ha sido lo suficientemente grande para romper el filamento.

#### 7.2.4.16 Ensayo O

Para este ensayo se utilizara una lámpara de uso prolongado y que se encuentre apagada.



**Figura 7.79:** Ensayo O

A simple vista no se aprecia ni deformación ni rotura del filamento, lo más probable es que el impacto no ha sido lo suficientemente fuerte para que el filamento se rompiera.



**Figura 7.80:** Ensayo O-lupa

En esta foto se aprecia mejor que no ha habido deformación en el filamento y que este se encuentra en perfectas condiciones.

Como conclusión si el filamento se encuentra intacto, esto quiere decir que la lámpara estaba apagada, y/o que el impacto no ha sido lo suficientemente grande para romper el filamento.

### 7.2.5 Conclusiones

A modo de resumen:

-Si el filamento presenta una gran deformación incluso si se ha roto se puede decir con completa seguridad que la lámpara se encontraba encendida.

-Si el filamento presenta una pequeña deformación incluso roto y la lámpara no presenta signos de envejecimiento se puede concluir que la lámpara se encontraba encendida.

-Si el filamento presenta una pequeña deformación incluso roto y la lámpara presenta signos de envejecimiento, hay que estudiar a fondo el filamento, si el filamento está roto y presenta bordes puntiagudos la lámpara se encontraba apagada. En este caso no se puede asegurar 100% como ya ocurrió en el Ensayo L.

-Si el filamento no se encuentra deformado ni roto, casi con total seguridad la lámpara se encontraba apagada, también es posible que el impacto no fuera lo suficientemente fuerte.

-Si el filamento se encuentra roto, este contiene gran cantidad de picaduras y la rotura ha sido de tipo frágil (bordes puntiagudos) la lámpara se encontraba apagada o el filamento estaba roto con anterioridad.

-Como conclusión final, el filamento de Wolframio es dúctil hasta 3-4 segundos después de haberse apagado la lámpara, esto indica que en estos 3-4 segundos el filamento pasa de unos 3000°C a menos de 200°C, por tanto es una bajada de temperatura tan brusca en tan poco tiempo que es difícil concretar una serie de tiempos en los que el filamento se deforma o no. Por tanto siempre que el filamento se encuentre deformado (no una deformación leve como la que tiene lugar debido al envejecimiento del filamento) quiere decir que la lámpara estuvo encendida hace unos 4 segundos o menos.

-Un factor a tener en cuenta es la mala calidad de las lámparas actuales, teniendo estas mucho menos resistencia que las lámparas antiguas a pesar de estar mucho más envejecida estas últimas, este factor hay que tenerlo en cuenta ya que quizás algunos resultados no son los deseados debido a la diferencia de calidad entre las lámparas actuales y las lámparas mas antiguas.

# **CAPÍTULO VIII. APLICACIONES** **DEL ANALISIS DE LOS** **FILAMENTOS EN LA** **INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES** **DE TRÁFICO**



## 8.1 Pasos a seguir para el estudio de las lámparas incandescentes en accidentes de tráfico

### 8.1.1 Inspección de lámparas

La inspección de las lámparas de un automóvil que ha sufrido un accidente aporta información sobre cómo se ha producido y si la lámpara se encontraba encendida o apagada en el momento del impacto. Esta circunstancia va a tener importancia a la hora de analizar accidentes nocturnos, alcances, maniobras en las que es necesaria una especialización previa, etc. Es primordial conocer si las lámparas estaban encendidas o apagadas cuando se produjo el accidente. La inspección está basada en el análisis de los efectos del accidente sobre las lámparas; es decir en las consecuencias de golpes, impactos directos, deceleraciones y aceleraciones, siendo estos efectos distintos si se encuentran encendidas o apagadas.

#### 8.1.1.1 Inspección de las lámparas para determinar si estaban encendidas o apagadas

Un impacto puede no afectar a una lámpara o, por el contrario, dejarla completamente destrozada. En ambos casos, no se dispondrá de información suficiente para determinar si estaba o no encendida en el momento del accidente, pero, entre estos dos extremos, el impacto puede afectar a la lámpara de tal manera que su análisis indique su estado en el momento del accidente. A la hora de analizar las lámparas de un vehículo siniestrado, se pueden presentar los siguientes casos:

- El cristal no está dañado
- El cristal está roto

### Lámpara con el cristal sin romper

Puede darse el caso de que la lámpara, externamente, no presente ningún daño. Entonces, habrá que analizar el estado del filamento.

#### -Filamento entero (no presenta ninguna rotura)

Aunque el filamento no presente rotura, podremos encontrarlo deformado o no:

- a) Deformado. Ha sufrido un alargamiento, lo cual implica que, en el momento de la colisión, la lámpara se encontraba encendida.
- b) No deformado. Si el filamento está intacto y no presenta ninguna deformación, revela que la lámpara estaba apagada en el momento de la colisión.

#### -Filamento roto

Cuando el filamento se encuentra roto se pueden presentar las siguientes posibilidades:

- a) Deformado. En este caso, si el filamento se encuentra roto y deformado, la lámpara se encontraba encendida.
- b) No deformado. Si el filamento únicamente presenta un corte limpio, si deformación, la lámpara estaba apagada en el momento de la colisión.
- c) Bordes fundidos. Si el filamento tiene los bordes de la zona de rotura fundidos, es signo de que la lámpara se encontraba encendida.
- d) Bordes con aristas. Por el contrario, si el filamento roto presenta bordes con aristas vivas, la lámpara estaba apagada.

### Lámpara con el cristal roto

En el caso de que la lámpara, como consecuencia del golpe, tuviera el cristal roto, habrá que analizar los restos que queden sobre la base del filamento.

a) Presencia de oxido. La oxidación ocurre únicamente cuando el aire entra en contacto con el filamento. Si la lámpara se rompe completamente, la oxidación aparece enseguida. Si aparecen restos de oxido (filamento oscurecido), indica que el filamento se encontraba encendido en el momento del accidente. Cuando el color de filamento es muy oscuro, como marrón, púrpura o verde, ha tenido lugar la oxidación. Esto también puede haberse producido aplicando corriente a un filamento intacto de una lámpara a la que se le haya roto el cristal. Podemos encontrar filamentos ligeramente tintados en las lámparas con dos filamentos. El filamento ennegrecido es el que se encontraba incandescente y el tintado estaba caliente por estar próximo al anterior. Si uno de los dos filamentos de una lámpara rota ha desaparecido, y el que queda está ligeramente oxidado, significa que el que falta se encontraba incandescente.

b) Ausencia de oxido. Si no se encuentran restos de oxido ni sobre el filamento ni en la base de este, la lámpara se encontraba apagada en el momento del accidente.

c) Presencia de cristal fundido. Puede ocurrir que, al fraccionarse el cristal, algún trozo caiga sobre el filamento incandescente y llegue a fundirse, formando unas pequeñas bolitas sobre el filamento. En ese caso, quedaría claro que la lámpara se encontraba encendida en el momento de la colisión.

#### 8.1.1.2 Inspección de las lámparas para determinar la dirección del impacto

La deformación que presenta el filamento de las lámparas puede dar indicios sobre la dirección del impacto en el momento del accidente. Cuando un vehículo sufre un impacto frontal, se predice una deceleración brusca, lo que supondría una deformación del filamento en sentido contrario al golpe. Cuando la lámpara posea dos filamentos, el que este encendido se deformara en mayor medida que el que este apagado. Los filamentos de las lámparas se oxidan hasta un segundo después de haberse apagado y se pueden deformar hasta varios segundos después de apagarse. Esta propiedad puede aplicarse al caso de los intermitentes para saber si se encontraban accionados o no en el momento del accidente.

## **CAPÍTULO IX. APLICACIONES A** **CASOS REALES**

## 9.1 Análisis de los informes de accidentes de tráfico relacionados con las lámparas incandescentes

### 9.1.1 Informe sobre el estado de los filamentos de las lámparas de frenado de un Citroën Xsara-Picasso

Este informe fue elaborado por Miguel Ángel Castillo, Ingeniero Técnico Industrial y Máster en Ingeniería de Fabricación, Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Mecánica y de los Materiales de la Universidad de Sevilla en la Escuela Universitaria Politécnica y Experto Universitario en Tasación y Valoración de Daños.

#### 9.1.1.1 Contexto del informe

Según la información el vehículo implicado se encontraba circulando a la luz del día, cuando debido a las retenciones del tráfico se vio obligado a realizar una frenada, motivo por el cual una motocicleta que circulaba detrás impacta contra el vehículo. Según testigos presentes la luz de frenado del vehículo no se encontraban encendidas, motivo por el cual se solicita la realización del estudio objeto del presente informe con el fin de dictaminar si efectivamente las lámparas del citado vehículo estaban en condiciones de funcionamiento y encendidas o no en el momento del accidente.

El golpe se produjo en la zona trasera izquierda del vehículo, afectando a las lámparas y el conjunto óptico de luces de especialización del lado izquierdo del vehículo, no habiéndose afectado en el accidente las del lado derecho.



**Figura 9.1:** Xsara siniestrado

#### 9.1.1.2 Objetos a analizar

Se entregan los siguientes objetos para poder realizar el estudio.



**Figura 9.2:** Objetos a analizar

La bolsa señalada con el número 1 contenía los restos de las lámparas y soportes de conexión eléctrica del piloto trasero izquierdo que pudieron ser recuperados tras el accidente, mientras que la número 2 contenía la

óptica completa del piloto trasero derecho del vehículo Xsara Picasso siniestrado, tal como se ve en la figura.



**Figura 9.3:** Objetos a analizar

Se abren las bolsas para ver su contenido, a continuación se procedió a la apertura del paquete contenido en la bolsa número 1, dentro de la cual se encontraba a su vez el soporte de conexión deformado por el impacto del piloto trasero izquierdo de un vehículo Xsara Picasso (1), los restos de una lámpara rota (2) y el conjunto completo de las luces centrales de aviso de frenado de este mismo tipo de vehículos (3), tal como se ve en la figura.





**Figura 9.4:** Objetos a analizar

Asimismo, dentro de la bolsa que formaba el paquete, pudieron hallarse los restos del filamento de una de las lámparas.



**Figura 9.5:** Filamento

#### 9.1.1.3 Inspección y análisis de las lámparas del vehículo siniestrado

Se tienen los siguientes objetos para analizar:

- Soporte de conexión eléctrica y portalámparas de piloto trasero izquierdo.
- Tres lámparas montadas sobre el soporte.
- Una lámpara de incandescencia rota.

- Conjunto completo de luz de aviso de frenada central con óptica y lámparas.
- Un fragmento de filamento de lámpara de incandescencia.
- Conjunto completo de piloto trasero derecho con óptica, soporte de conexión, portalámparas y lámparas.

#### Soporte y portalámparas de piloto trasero izquierdo

Presenta un elevado grado de deformación, producto del impacto recibido en la zona trasera izquierda del vehículo. Está constituido por una placa metálica que actúa como elemento conductor sujeta a una pieza de material plástico aislante que es la que se acopla al elemento reflector y difusor externo y que se encontraba partida en varios trozos debido al impacto recibido.



**Figura 9.6:** Portalámparas izquierdo

Se han numerado la posición de cada una de las lámparas, cuyas características se indican en el cuadro adjunto:

Lámpara	Función	Tipo	Potencia	Color
L1	Antiniebla	Incandescencia simple	21W	Blanco
L2	Marcha atrás	Incandescencia simple	21W	Blanco
L3	Intermitencia	Incandescencia simple	21W	Ámbar
L4	Posición y freno	Incandescencia de doble filamento	21/5W	Blanco

La única lámpara que se encontraba intacta es la de luz de intermitencia que destaca por su color amarillo-ámbar, mientras que las restantes se encontraban rotas, pudiendo ser identificadas por otras características, ya que solo poseen un filamento de Wolframio.



**Figura 9.7:** Lámparas destrozadas

### Lámpara incandescente rota

Es una lámpara de doble filamento con la inscripción 21/5W, por lo que se trata de una lámpara indicadora de luces de posición/freno, precisamente la única que no aparece montada sobre el soporte de conexión.



**Figura 9.8:** Lámpara rota

Los soportes de los filamentos aparecen deformados hacia el casquillo. Esto junto a la rotura del pie dirigida hacia la parte interior del casquillo denota que esta lámpara ha recibido un fuerte impacto en la parte opuesta que al tiempo que rompió la lámpara dobló todos estos elementos de la misma. En uno de los soportes aparece un pequeño fragmento del hilo del filamento. Al ser este soporte de menor longitud que los restantes indica que este fragmento es del filamento correspondiente a la luz de freno de 21W y con toda probabilidad a partir de este fragmento se desprendió el que luego sería encontrado en el interior de la bolsa que contenía esta lámpara, puesto que no aparecen restos del filamento de 5W correspondiente a la luz de posición, lo cual entra dentro de lo lógico al ser este de mucho menor sección. Aunque, tal como se aprecia en las anteriores imágenes falta el soporte de uno de los filamentos, su identificación no da lugar a dudas, tanto por su configuración como por la inscripción grabada sobre el casquillo.

### Conjunto central de luz de aviso de frenada

Este conjunto está formado por un soporte de plástico rígido con una ventanilla longitudinal difusora de color rojo, sobre el que monta un soporte del mismo tipo de plástico que contiene los alojamientos para cinco lámparas de especialización de 5W cada una.



**Figura 9.9:** Lámpara trasera

### Piloto trasero derecho



**Figura 9.10:** Piloto derecho

Se suministró completo. Está formado por el soporte portalámparas, lámparas y óptica completa, con reflectores y difusor para los distintos tipos de lámparas del citado piloto trasero derecho.



**Figura 9.11:** Portalámparas derecho

Todas las lámparas aparecen enteras, con sus correspondientes  
lámparas y alojadas en sus correspondientes portalámparas:

#### 9.1.1.4 Inspección de lámparas

Dadas que circulaba de día y con bastante sol, no es de suponer que el vehículo siniestrado llevase el alumbrado encendido ni tampoco se ha informado de maniobras que implicasen un uso de las luces de intermitencia, por lo que la inspección se circunscribe a determinar si, efectivamente, las luces de aviso de frenado funcionaban correctamente en el momento del accidente. Para ello se inspeccionan utilizando los medios adecuados, tanto la lámpara de doble filamento que se suministró con la lámpara rota y que debía haber estado alojada en el portalámparas marcado con L4 del soporte de conexión del piloto izquierdo, la del piloto derecho, marcada asimismo con la referencia L 4D, que estaba completa, y el conjunto central completo.

-Inspección de la lámpara rota del piloto izquierdo

Al faltar los filamentos, los indicios de funcionamiento hay que buscarlos en las posibles zonas donde la evaporación del wolframio del filamento de frenado ha podido depositar material cuya oxidación, al entrar en contacto a alta temperatura con el oxígeno atmosférico, nos permita determinar si la lámpara estaba o no encendida en el momento o instantes antes de su rotura. Los únicos elementos cercanos al filamento de la luz de frenado presentes en la lámpara donde pueden existir depósitos de wolframio, son los soportes del propio filamento y los de la luz de posición:

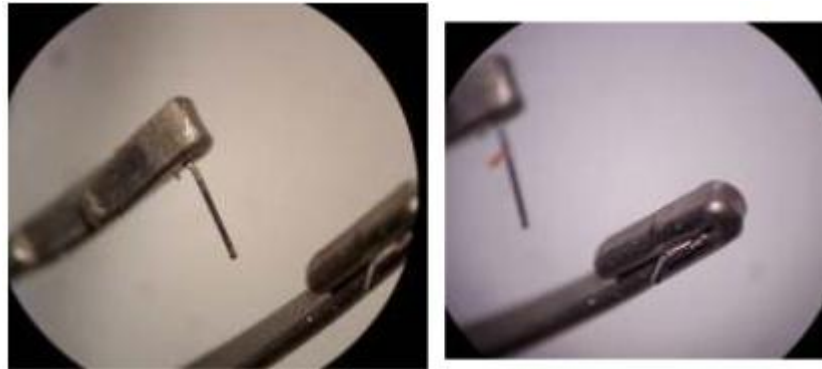


**Figura 9.12:** Lámpara del piloto izquierdo

En una primera observación a bajo aumento, los soportes de los filamentos aparecen con su color normal, sin apenas depósitos de wolframio, lo que denota, en principio, que la lámpara no debía tener muchas horas de uso.

En la imagen se aprecia un trozo de la parte del filamento de luz de freno que conecta con el soporte aún unido al mismo, así como un fragmento

de filamento de la luz de posición también unido a su correspondiente soporte, apareciendo este último con un color y aspecto normal.

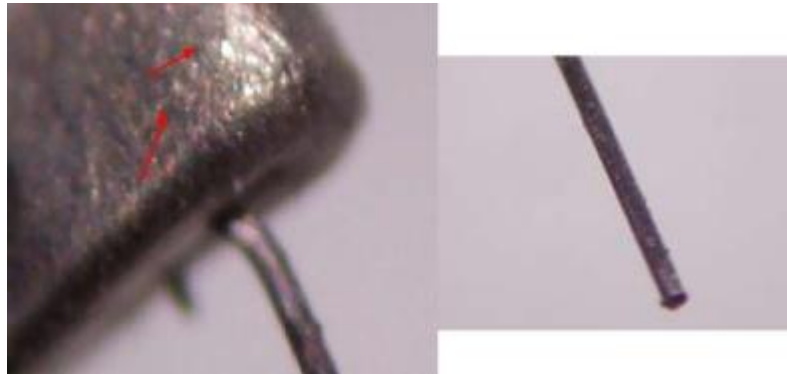


**Figura 9.13:** Soportes

Dado que, aparentemente, no aparecen depósitos sobre los soportes adyacentes, se pasa a examinar con mayor aumento el fragmento de filamento de la luz de freno que aparece en la imagen de la izquierda.

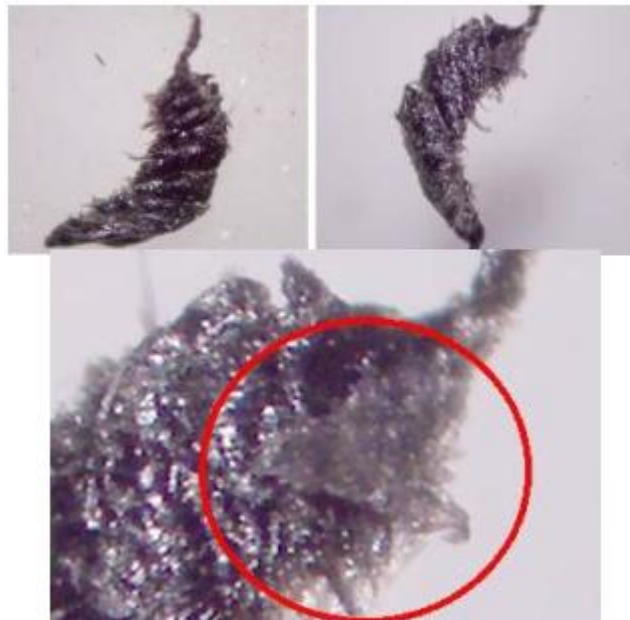
En estas condiciones se aprecian leves depósitos de color verdoso sobre la superficie del soporte y un ennegrecimiento acusado del fragmento de filamento, sobre el que aparecen pequeñas adherencias de color oscuro procedentes de la zona arrollada del propio filamento que es la zona del mismo que alcanza mayor temperatura, la variación de coloración es signo evidente de la formación de óxido de wolframio, lo que nos indica que la temperatura de estos elementos estaba por encima de los 400 °C en el momento de la rotura.





**Figura 9.14:** Soportes

Con el fin de asegurar este resultado se examina el fragmento de filamento hallado en el interior de la bolsa que contenía esta lámpara, con el fin de determinar su procedencia y su estado. Este fragmento pudo quedar adherido bien al resto que aparece unido al propio soporte o bien en el interior del propio casquillo.



**Figura 9.15:** Filamento

Aparece deformado, con un color oscuro y una superficie áspera, lo que denota un alto grado de oxidación, con los extremos alargados y recubierto de partículas de vidrio fundido adherido a la superficie, circunstancias todas que, tal como ya quedó expuesto en apartados anteriores, denotan que el filamento estaba a una elevada temperatura en el momento en que quedó expuesto a la acción atmosférica; es decir cuando rompió la lámpara de vidrio protectora.

Solo puede provenir del filamento de la luz de freno, puesto que su sección es mayor que la correspondiente al de la luz de posición y tampoco puede provenir de las otras lámparas rotas ya que, según la observación realizada anteriormente, cabe suponer que no estaban en funcionamiento en el momento del impacto. En resumen, del análisis de la inspección al microscopio de la lámpara de luz de posición/freno correspondiente al piloto izquierdo del vehículo Citroën Xsara Picasso siniestrado, se deduce que o bien ésta estaba en funcionamiento en el momento del accidente o lo había estado solo unos instantes antes.

#### -Inspección de las lámparas del soporte derecho

La lámpara de luz de posición y freno del lado derecho no sufrió rotura de la lámpara a no recibir el impacto de forma directa en el accidente, apareciendo completa y montada en su portalámparas, siendo desmontada para realizar su inspección:



**Figura 9.16:** Portalámparas derecho

La lámpara presenta un alto grado de ennegrecimiento en el cristal de la lámpara, lo que, a diferencia de la del lado izquierdo, denota un funcionamiento intensivo y prolongado de la misma. Esto y el hecho de que la inscripción de homologación de los casquillos de ambas lámparas sea distinta, lleva a confirmar el hecho planteado como hipótesis de que la lámpara del piloto izquierdo llevaba menos tiempo instalada en el vehículo, es decir había sido cambiada en fecha reciente.

Al ser observada detenidamente, se pudo comprobar además que presentaba rotura en el filamento correspondiente a la luz de freno, presentando parte del mismo aún unido a unos de los soportes, mientras que el resto se encontraba suelto en el interior de la lámpara.



**Figura 9.17:** Lámpara derecho

Bajo el microscopio aparece un filamento de superficie irregular con cráteres de desgaste causados por pérdida de material debido a la evaporación del wolframio, con una ligera deformación en las espiras próximas a la zona rota y una sección de rotura aparentemente de tipo frágil sin deformaciones notorias.



**Figura 9.18:** Filamento derecho

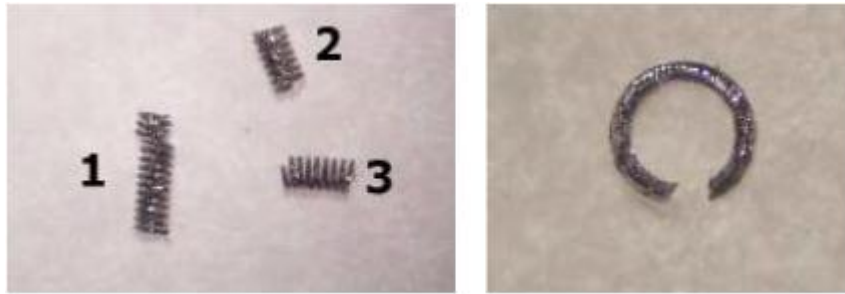
Igualmente y a diferencia de lo que ocurría con la lámpara del piloto izquierdo, donde los soportes metálicos del filamento aparecen casi libres de depósitos del wolframio evaporado, en esta aparecen fuertes depósitos de material desprendido sobre los soportes de ambos filamentos, lo que confirma el prolongado uso que ha tenido esta lámpara, y el escaso tiempo que estuvo en funcionamiento la anterior.



**Figura 9.19:** Soporte derecho

A la hora de inspeccionar con mayor profundidad el filamento, la presencia de la pared de vidrio y el oscurecimiento de la lámpara dificulta la observación, llegando a hacerla muy dificultosa a mayores aumentos, por lo que se decide proceder a la rotura controlada de la lámpara para permitir la correcta observación de los trozos de filamento. Dado el elevado desgaste del filamento y su consiguiente fragilidad, en el momento de la rotura de la lámpara, el trozo que aún estaba unido a su soporte (1) resultó desprendido del mismo, rompiéndose el trozo restante

en dos fragmentos (2 y 3). De la misma forma, aunque se hizo con sumo cuidado, durante su manipulación en la platina del microscopio, se desprendió una espira del citado filamento. Estos tres trozos del filamento original son los que han sido utilizados para su estudio.



**Figura 9.20:** Espiras de Wolframio

En la observación directa, sin la presencia intermedia del vidrio son mucho más ostensibles las picaduras o cráteres de desgaste por pérdida por evaporación a alta temperatura del wolframio del filamento.



**Figura 9.21:** Espiras de Wolframio

Dado que la lámpara de alumbrado posición/freno del lado derecho presentaba la lámpara o bulbo intacto, mientras que el filamento de la luz de freno estaba roto, cabe plantear tres hipótesis para explicar esta rotura:

1. El filamento estaba ya roto (fundido) anteriormente por desgaste debido al uso, luego la lámpara no pudo funcionar.

2. El filamento estaba completo y en incandescencia en el momento del impacto y se rompió por la violencia del golpe, debido a su fragilidad por la alta temperatura alcanzada en algunos puntos.
3. El filamento estaba entero y por tanto en funcionamiento en el momento del accidente y pudo romperse debido a su estado de desgaste por los golpes y vibraciones producidos durante el desmontaje, manipulación y transporte.

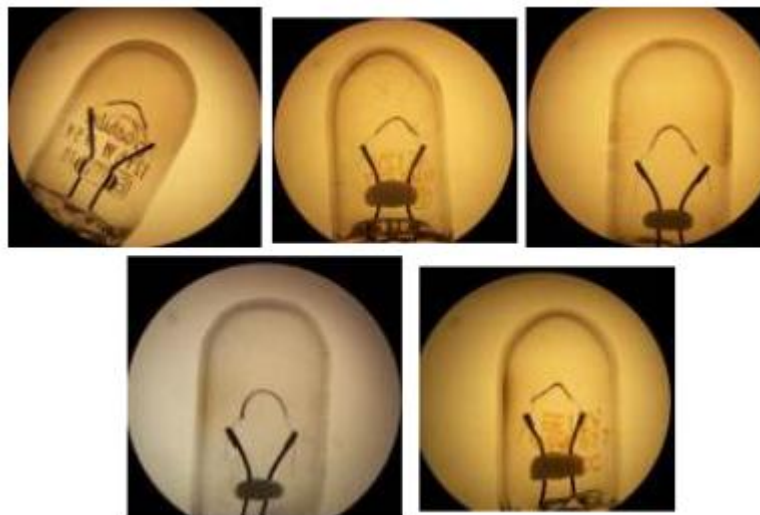
La primera hipótesis, es decir la que establece que el filamento de la lámpara estaría fundido con anterioridad al momento del accidente, podemos descartarla por completo. En esas circunstancias la rotura causada por el impacto se hubiese producido en frío, siendo completamente frágil, sin posibilidad de que el filamento apareciese deformado, ya que a temperatura normal el wolframio rompe sin deformación previa. Al estudiar el trozo de filamento que aparecía unido aún a uno de los soportes, se pudo constatar una deformación ostensible por estiramiento en zona próxima a la que aparecía rota.



**Figura 9.22:** Espiras deformadas

En el caso de una rotura por fusión, no se presentan deformaciones y las secciones de rotura aparecen con unas características típicas de bodes estirados por una parte y redondeados por otra. Ninguna de estas circunstancias se da en el filamento estudiado, donde las secciones de rotura aparecen con bordes nítidos debidas a rotura frágil por concentración de tensiones originada por un golpe o impacto brusco en un punto del filamento caliente debilitado por la presencia de cráteres de desgaste.

Es decir, en este caso el filamento pudo romperse por algunas de las causas expuestas en las hipótesis 2 o 3, siendo indiferente para el caso el momento en que se produjo la rotura, puesto que para producirse la deformación que el filamento presenta, este debió soportar un esfuerzo causado por un golpe en el momento en que estaba encendido o bien instantes después de haber estado incandescente, cuando su temperatura aún no había descendido de los 400 °C, aproximadamente.



**Figura 9.23:** Lámparas de la luz central

Todas las lámparas se encuentran en perfectas condiciones de uso.

#### 9.1.1.5 Conclusiones

En resumen, de los estudios e inspecciones realizados sobre las lámparas de especialización de frenado del vehículo automóvil Citroën, modelo Xsara Picasso, que sufrió un accidente por alcance que afectó a su parte trasera izquierda, podemos concluir:

La lámpara indicadora de maniobra de frenado trasera izquierda del citado vehículo que resultó rota en el accidente estaba encendida o lo había estado instantes antes de producirse la colisión.

La lámpara indicadora de maniobra de frenado trasera derecha, cuya lámpara resultó intacta después del accidente y que mostraba el filamento roto, estaba encendida o lo había estado instantes antes de producirse la colisión, habiéndose roto el filamento a consecuencia de esta o posteriormente durante su desmontaje y traslado.

El conjunto central de luces de aviso de maniobra de frenado que va montado en la parte central superior de la luna trasera del vehículo Citroën modelo Xsara Picasso, estaba en perfectas condiciones de funcionamiento, por lo que cabe pensar en que debían estar encendidas en el momento de realizar la maniobra de frenado.

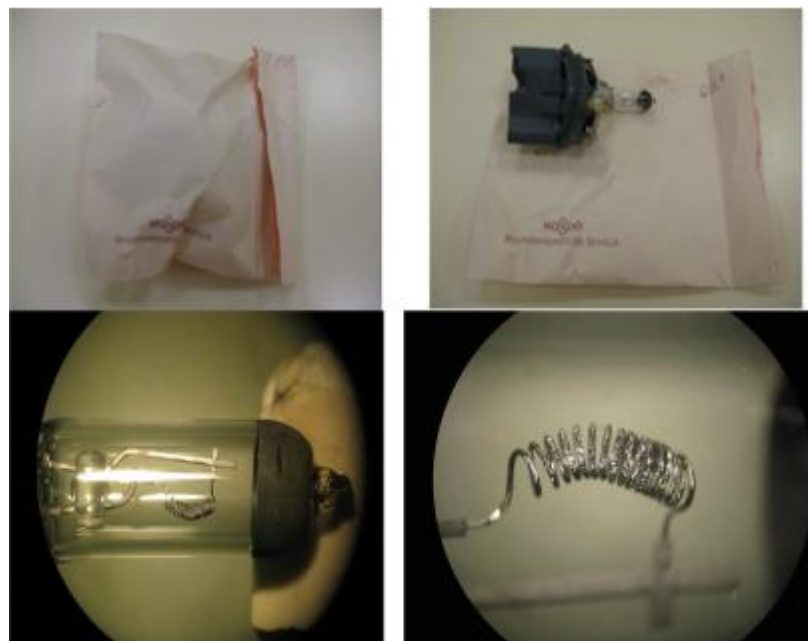


### 9.1.2 Informe preliminar del estado de los filamentos de las lámparas de los automóviles implicados en un accidente ocurrido en la Avda. Juan Pablo II de Sevilla

Los vehículos implicados en el accidente son un Volkswagen y un Peugeot, el Volkswagen impacta lateralmente contra el Peugeot a altas horas de la noche. Según el conductor del primero, el Peugeot no tenía sus luces encendidas.

#### 9.1.2.1 Vehículo Volkswagen

Lámpara de proyector delantero de yodo. Filamento con numerosos cráteres y picaduras por emisión de partículas, lo que indica un número elevado de horas de uso. El filamento aparece estirado y deformado, sin llegar a la rotura, lo que denota una deformación dúctil producida a temperatura elevada. Esto implica que el filamento estaba encendido cuando se produjo el impacto que causó la deformación.



**Figura 9.24:** Lámpara del Volkswagen

#### 9.1.2.2 Vehículo Peugeot



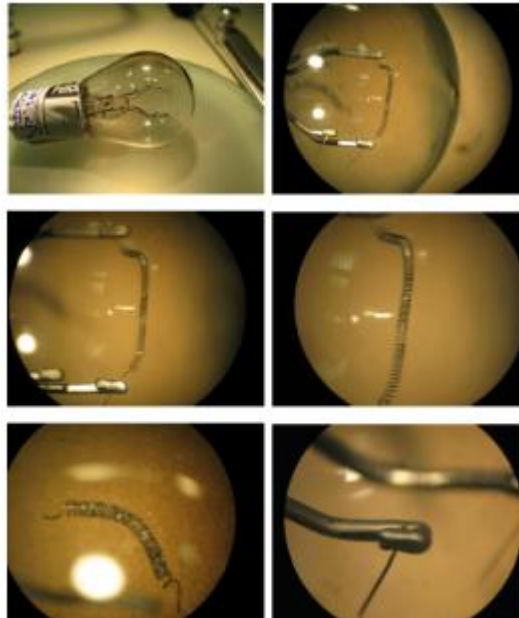
**Figura 9.25:** Lámpara de carretera

Lámpara de proyector delantero de yodo. Filamento con numerosos cráteres y picaduras por emisión de partículas, lo que indica un número elevado de horas de uso. No aparece deformación plástica alguna, el filamento conserva la forma y disposición original, lo que implica que al producirse el impacto el filamento estaba frío y por tanto lo más probable es que no estuviese encendido.



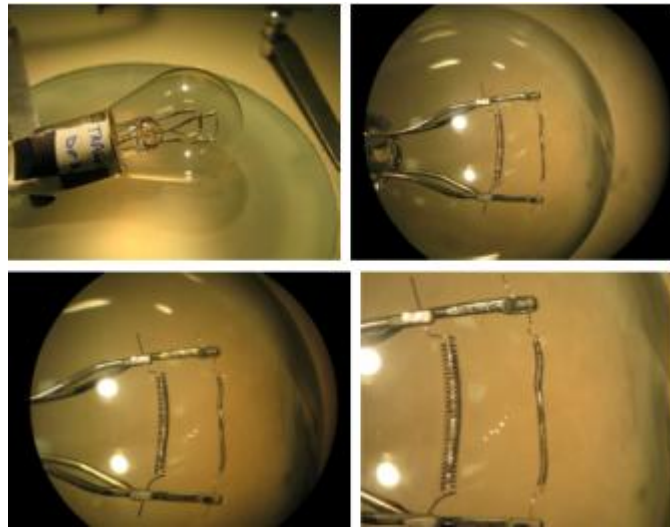
**Figura 9.26:** Lámpara de cruce

Lámpara de proyector delantero de yodo. Filamento de superficie lisa y brillante. Es una lámpara con muy poco tiempo de uso. No presenta ningún tipo de deformación, lo que puede implicar que - o bien no estaba encendida cuando se produjo el impacto - o bien la fuerza producida por este no fue suficiente para producir su deformación, dado su perfecto estado y que presenta una superficie resistente mayor, y el hecho de que la energía desarrollada durante el impacto pudo ser absorbida en su mayor parte por el desprendimiento y/o rotura del faro, por ejemplo. De su estado no puede asegurarse ni que estuviese encendida ni apagada en el momento del impacto.



**Figura 9.27:** Lámpara de posición y frenado izquierdo

Lámpara de doble filamento luz de posición/luz de frenado trasera izquierda. Presenta un aspecto oscurecido del cristal de la lámpara, producto de un uso prolongado, fundamentalmente del filamento de la luz de frenado que aparece desprendido de sus soportes. El filamento de la luz de posición, de menor diámetro presenta pequeñas picaduras y cráteres, indicativos de un uso no muy prolongado de la luz de posición. Aparece estirado y deformado sin llegar a romper en ningún punto, lo que denota que este filamento ha tenido que soportar un esfuerzo violento estando a temperatura elevada. Es decir, estaba encendido en el momento del impacto. El filamento de la luz de frenado presenta mayor índice de desgaste que el de posición, lo cual es lógico por su uso más intensivo. Aparece desprendido de sus soportes por rotura frágil, lo que denota que sufrió un esfuerzo brusco a baja temperatura, suficiente para romper el hilo, que por demás no presentaba su máxima resistencia debido al debilitamiento producido por desgaste.



**Figura 9.28:** Lámpara de posición y frenado derecho

Lámpara de doble filamento luz de posición/luz de frenado trasera derecha. Presenta un aspecto transparente del cristal de la lámpara, lo que implica poco tiempo de uso de esta lámpara. Esto indica que fue repuesta más recientemente que la anterior. Ambos filamentos aparecen con escaso desgaste, si bien el de posición está ligeramente estirado y deformado dúctilmente, lo que implica que estaba a elevada temperatura cuando se produjo el impacto, luego estaba encendido en el momento de sufrir el esfuerzo producido por dicho impacto.

#### 9.1.2.3 Conclusiones

- La lámpara delantera del vehículo Volkswagen estaba encendida en el momento del accidente.
- La lámpara de luz larga del Peugeot lo más probable es que no estuviese encendida.
- La lámpara corta de cruce del Peugeot está intacta por tanto no se puede determinar si estaba o no encendida.

-La lámpara de posición/frenado izquierda del Peugeot estaba encendida en el momento del accidente.

-La lámpara de posición/frenado derecha del Peugeot estaba encendida en el momento del accidente.

## **CAPÍTULO X. CONCLUSIONES**

Como ya se dijo en la introducción la investigación de accidentes de automóviles es algo bastante importante en la sociedad actual, tanto para autoridades como para las aseguradoras, una buena investigación de los accidentes de tráfico es de gran ayuda a la hora de resolver cualquier caso. En la mayoría de los juicios se tiene muy en cuenta la opinión del ingeniero que ha llevado a cabo la investigación, y la mayoría de las veces la investigación del accidente aporta mucha claridad en la mayoría de los juicios.

Hay muchas y variadas opciones para investigar los accidentes de tráfico, se deben tener en cuenta las distintos tipos de huellas que se pueden encontrar en el lugar del accidente: huellas de los neumáticos, huellas en el asfalto, huellas en otros componentes, etc. Se deberá tener en cuenta las ruedas, las llantas, las cubiertas. Los sistemas de seguridad pasiva tales como airbags y pretensores. Se deberá analizar el trayecto y desplazamiento del vehículo desde el momento del impacto, los daños estructurales que haya sufrido el vehículo. Se deberá analizar con detenimiento los resultados mostrados por el tacógrafo.

Por otra parte se debe realizar una toma de datos del accidente e intentar una reconstrucción del accidente para intentar esclarecer los hechos.

Todos estos puntos son muy importantes a la hora de investigar accidentes de tráfico, existen métodos que ayudan a investigar estos accidentes y por su puesto muchas más variables a tener en cuenta a la hora de la investigación.

El estudio realizado en el trabajo ha sido la inspección de las lámparas de un automóvil después del momento del accidente. El estudio realizado es de gran importancia a la hora de investigar accidentes ya que un simple vistazo a las lámparas podría determinar si las luces del vehículo se encontraban encendidas o no en el momento del impacto, e incluso si hubiera que realizar un examen exhaustivo para analizar las lámparas, esta podría aportar muchas más información sobre el accidente. Se



puede averiguar si las lámparas se encontraban en perfecto estado para ser usadas o si ya tenían bastante uso y no producían el mismo efecto que si fueran relativamente nuevas, se podría saber si la lámpara incluso estaba inservible en el accidente, o si se encontraba en perfectas condiciones pero el usuario no las ha usado correctamente.

Posteriormente a la realización del trabajo se han llevado a cabo ya incontables estudios sobre los filamentos de Wolframio de las lámparas en accidentes de tráfico, siendo este un punto importante a la hora de investigar y/o reconstruir un accidente de tráfico, pudiendo llegar a ser determinante a la hora de tomar una decisión en algún juicio o disputa.

Si se toma como ejemplo el estudio de la oxidación del filamento de Wolframio, con un pequeño vistazo se puede determinar el color tomado por el filamento, y como se sabe debido al estudio realizado, una coloración en el filamento de Wolframio indica que la lámpara se encontraba encendida y/o que se encontraba encendida unos segundos antes del impacto.

Teniendo en cuenta el estudio de la deformación del filamento de Wolframio, no solo se puede determinar si la lámpara se encontraba encendida en el momento del impacto sino también la dirección de este, pudiendo así dar un dato más que relevante a la hora de reconstruir un accidente de tráfico. Si por el contrario el filamento se encuentra roto se abre un abanico de posibilidades, si este ha sufrido deformación previa se sabe que la lámpara se encontraba encendida, sino ha sufrido deformación puede ser que la lámpara se encontraba apagada y el filamento se rompa de manera frágil o que el filamento ya se encontraba roto antes del impacto, teniendo en cuenta el envejecimiento de la lámpara en ambos casos.

En conclusión, una gran investigación de los accidentes de tráfico es algo cada vez más común en la sociedad actual donde las autoridades buscan resolver distintos casos, o donde las aseguradoras buscan conocer la

verdad en un accidente, esquivando de esta manera los distintos fraudes y estafas que últimamente han sufrido estas por parte de algunos usuarios. Una buena investigación puede ser un dato muy a tener en cuenta a la hora de decantar un juicio, y es una de las pruebas más importantes a tener en cuenta en la resolución de juicios.

## **CAPÍTULO XI. ANEXOS**

## **CAPÍTULO XII. BIBLIOGRAFÍA**

- 1.-Erik Lassner and Wolf-Dieter Schubert Vienna University of Technology Vienna, Austria. Tungsten Properties, Chemistry, Technology of the Element, Alloys, and Chemical Compounds.
2. - J. L. G. Fierro, Metal Oxides Chemistry and Applications
- 3.- Aparicio Izquierdo Francisco, García García Andrés, Martínez Sáez Luis, Páez Ayuso Javier, Sánchez Lozano Miguel, Gómez Méndez Álvaro; Accidentes de tráfico: investigación, reconstrucción y costes
- 4.-Michael Ashby, Hugh Shercliff and David Cebon; Materials: engineering, science, processing and design
- 5.- José Antonio de Saja Sáez, Miguel Ángel Rodríguez Pérez, María Luz Rodríguez Méndez; Materiales: estructura, propiedades y aplicaciones
- 6.- Manual de Reconstrucción de accidentes de tráfico. CESVIMAP
- 7.- Informe 1 de accidente de tráfico por Miguel Ángel Castillo
- 8.- Informe 2 de accidente de tráfico por Miguel Ángel Castillo
- 9.- <http://www.abc.es/20110623/ciencia/abci-misterio-lampara-encendida-desde-201106231033.html>
- 10.-<http://queaprendemoshoy.com/la-lampara-de-livermore-simbolo-del-movimiento-sop/#.UA-y47Q0OSo>
- 11.-<http://www.buscalogratis.com/ecologia-inventan-las-lamparas-que-nunca-se-funden-que-duran-toda-la-vida.htm>
- 12.- <http://xombit.com/2012/04/amenazas-muerte-inventor-lampara-eterna>
- 13.-[http://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/L%C3%A1mpara\\_el%C3%A9ctrica\\_incandescente](http://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/L%C3%A1mpara_el%C3%A9ctrica_incandescente)
- 14.-[http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af\\_incandesc/af\\_incandesc\\_1.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_incandesc/af_incandesc_1.htm)

- 15.- <http://es.wikipedia.org/wiki/Wolframio>
- 16.- [http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1mpara\\_incandescente](http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1mpara_incandescente)
- 17.- <http://www.aficionadosalamecanica.com/luces.htm>
- 18.- <http://www.abc.es/20110623/ciencia/abci-misterio-bombilla-encendida-desde-201106231033.html>
- 19.- [http://queaprendemoshoy.com/la-bombilla-de-livermore-simbolo-del-movimiento-sop/#.UDO2i93N\\_xk](http://queaprendemoshoy.com/la-bombilla-de-livermore-simbolo-del-movimiento-sop/#.UDO2i93N_xk)
- 20.- <http://energiaslibres.wordpress.com/2012/03/22/un-espanol-inventa-la-bombilla-que- apenas-gasta-y-dura-toda-la-vida/>
- 21.- <http://www.faunatura.com/bombilla-eterna.html>
- 22.- <http://www.philips.es/c/car-lamps/34593/cat/>
- 23.- <http://recambios-coche.oscaro.es/>
- 24.- [http://es.wikipedia.org/wiki/Tipos\\_de\\_bombilla\\_en\\_automoci%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Tipos_de_bombilla_en_automoci%C3%B3n)
- 25.- [http://www.economiadelasalud.com/Ediciones/41/08\\_pdf/epidemiologia.pdf](http://www.economiadelasalud.com/Ediciones/41/08_pdf/epidemiologia.pdf)
- 26.- <http://www.forocoches.com/foro/showthread.php?t=1365045>
- 27.- [http://www.economiadelasalud.com/Ediciones/41/08\\_pdf/epidemiologia.pdf](http://www.economiadelasalud.com/Ediciones/41/08_pdf/epidemiologia.pdf)
- 28.- [http://www.economiadelasalud.com/Ediciones/41/08\\_pdf/costes.pdf](http://www.economiadelasalud.com/Ediciones/41/08_pdf/costes.pdf)
- 29.- Jaime Candelas de Vivar y Antonio Hernando Lorenzo; Los accidentes de Tráfico: un enfoque técnico a un hecho sociológico.
- 30.- "PRAISE": Prevención de Lesiones y Accidentes de Tráfico para la Seguridad de los Empleados.

31.- Jorge Arturo Ruiz Ramos, MAP; RECONSTRUCCIÓN DE HECHOS  
DE TRÁNSITO.

32.-Dr. E. Krug, Lesiones por accidentes de tráfico.