



Artículo de Investigación

Constance Tipper, la mujer que explicó por qué los buques Liberty se fracturaban

Constance Tipper, the woman who explained why Liberty ships broke up

RESUMEN

Constance Tipper fue una científica británica que trabajó entre 1920 y 1960 en ciencia de materiales, investigando el proceso de deformación de cristales, realizando sus primeros trabajos con Taylor, uno de los pioneros en el desarrollo de las teorías de deformación de mono y policristales. Sin embargo, su contribución más significativa fue resolver el misterio de la fractura de los Liberty Ships, los buques que se construyeron en masa en los EEUU durante la segunda guerra mundial con el fin de transportar pertrechos a Europa. Ella pudo relacionar aspectos relativos a la composición química y microestructurales de los aceros con su comportamiento a fractura en función de la temperatura, contribuyendo a la comprensión del comportamiento dúctil-frágil de estos materiales. Vivió en una época en que a las mujeres les era complicado hacerse camino en un mundo que era tradicionalmente reservado para los hombres, incluso cuando se le hizo un reconocimiento, en 1923, no pudo entrar al sitio donde se haría la cena de homenaje, por ser mujer. En este artículo, se cuenta la historia de esta mujer que, como otras más conocidas como María Curie o Lisa Meitner, fue un ejemplo de dedicación al estudio y a la ciencia.

Palabras clave: Tipper; Cristales; Frágil; Impacto; Barcos de la Libertad; Biografía.

ABSTRACT

Constance Tipper was a British scientist who worked between 1920 and 1960 in materials science, investigating the deformation process of crystals, doing her first work with Taylor, one of the pioneers in the development of theories of deformation of mono and polycrystals. However, her most significant contribution was solving the mystery of the fracture of the Liberty Ships, the ships that were built massively in the United States during the Second World War in order to transport supplies to Europe. She was able to relate aspects associated to the chemical and microstructural composition of steels with their fracture behavior as a function of temperature, contributing to the understanding of the ductile-brittle behavior of these materials. She lived at a time when it was difficult for women to make their way in a world that was traditionally reserved for men. Even when she was recognized in 1923, she could not enter the place where the tribute dinner would be held, because to be a woman. This article tells the story of this woman who, like others better known such as Maria Curie or Lisa Meitner, was an example of dedication to study and science.

Keywords: Tipper; Crystals; Fragile; Impact; Liberty Ships; Biography

Autor de Correspondencia

Alberto Monsalve González

alberto.monsalve@usach.cl

Departamento de Ingeniería Metalúrgica
Universidad de Santiago de Chile

Artículo Recibido: 20 de enero, 2023

Artículo Aceptado: 18 de abril, 2023

Artículo Publicado: 17 de mayo, 2024



Introducción

La plasticidad de los cristales

Las bases fenomenológicas de la deformación de sólidos cristalinos, un aspecto conocido por cualquier ingeniero o científico del área de materiales, fueron planteadas por el científico G. I. Taylor en la década del 20 del siglo pasado. Lo que no todos saben es que Taylor trabajó con una asistente que no pasó a la “gran historia” de la ciencia e ingeniería de materiales, no figura en la mayoría de los libros de la especialidad y sólo es posible encontrar referencias de ella aquí y allá: se llamaba Constance Fligg Elam, que tras contraer matrimonio en 1928 con George Tipper, adopta el apellido de su esposo y, con el paso de los años, pasó a firmar sus trabajos como Constance Tipper. El primer artículo que se puede encontrar en “google academico” data de 1920 y lleva por título “Grain growth and recrystallization in metals” y los autores son Harold Carpenter y Constance Fligg Elam (Carpenter y Elam, 1920). En este trabajo demuestran que el crecimiento de grano se debe al desplazamiento de los límites de grano y no a la coalescencia. Luego en 1921 publican con el profesor Carpenter un segundo trabajo relacionado con la producción de monocristales de aluminio (Carpenter y Elam, 1921). A partir de los resultados de este segundo artículo, escribe en 1923 un trabajo que realizó con el profesor Taylor (Taylor y Elam, 1923), algo notable si se considera que Taylor ocupa un lugar en todos los libros de ciencia de materiales. Por este trabajo, ambos fueron premiados por la Royal Society. Otro antecedente interesante es que ella nació el 6 de febrero de 1894, es decir, escribió estos artículos antes de los 30 años (con Carpenter a los 27 y con Taylor a los 29). Tiene que haber sido muy capaz para lograr impactar con estos artículos a edad tan temprana. (Su fecha de nacimiento cambia de acuerdo a las fuentes consultadas: 6 o 16 de febrero de 1894).

Momento extraño a propósito de la cena en el “Royal Society Dining Club”

Como se mencionó, dada la importancia de las contribuciones que fue haciendo durante esos años, la “Royal Society” del Reino Unido, que reconocía cada año a científicos que se hubieran destacado por sus aportes a la ciencia, decidió en el año 1923, homenajear con este honor a G. I. Taylor y a C. F. Elam. Les invitaron a exponer sus hallazgos en plasticidad de

cristales y luego, como es tradicional en estas situaciones, a una cena en la “Royal Society Dining Club”. Todo habría estado muy bien si no fuera porque hubo un detalle: los organizadores no se percataron que la letra C era de Constance y el Club donde se hizo la cena no admitía la entrada de mujeres. No es de sorprenderse, ya que aún en el siglo XXI, en algunos países hay sitios (no muchos afortunadamente) donde aún se prohíbe la entrada de mujeres. Bueno, el bochorno se salvó, gracias a la humildad de Constance, que declinó la invitación para asistir a la cena. Según Kelly Zapas, cito textual lo que dijo Constance: “Lamento haber dado tantos problemas”. Luego agrega: “Pero es más desgracia que culpa mía que no sea un hombre”...y finalmente escribe esto: “Me siento muy honrada de recibir vuestra invitación, aunque me doy cuenta que fue enviada producto de un malentendido” (Zapas, 2015). Una pena para esos notables científicos haber prescindido de la presencia de la joven Constance, quien se abría paso exitosamente en un mundo en esa época prácticamente reservado a los hombres.

Los primeros pasos

Constance Elam estudió ingeniería. A los 18 años (esto es en 1912) ingresó a la universidad (Newnham College de Cambridge) y fue una alumna aventajada ya que en 1915 ingresó al Departamento de Metalurgia del “National Physical Laboratory” en Teddington. Aquí estuvo poco tiempo porque muy pronto pasó a la “Royal School of Mines”, parte del “Imperial College of London”, donde fue asistente de investigación del profesor Sir Henry Cort Harold Carpenter. Parece que en 1921 o 1922 comenzó a trabajar con el profesor G. I. Taylor, ganando ambos en 1923 el premio denominado “Bakerian Medal” de la Royal Society, que se comentó más arriba. Bueno, qué más se puede contar, a los 29 años ya premiada, un reconocimiento que muchos académicos recibían al final de su carrera, ella desde muy temprana edad ya fue una científica reconocida y respetada por sus pares e hizo una larga carrera académica, retirándose en 1960.

Algo más sobre su carrera y sus logros

Primero que todo cabe aclarar que, si se desea hacer un seguimiento de la productividad científica de Constance Tipper, se debe buscar como C. F. Elam o

como C. F. Tipper, porque como ya se informó, cambió su apellido tras contraer matrimonio; aunque en la mayoría de los artículos firma como C. F. Elam, a partir aproximadamente de 1948, firma como C. F. Tipper, como es actualmente recordada.

Como se mencionó, su productividad científica arranca en 1920, cuando escribe dos artículos con el profesor Carpenter sobre crecimiento de grano y sobre producción de monocristales de aluminio (Carpenter y Elam, 1920; Carpenter y Elam, 1921), el cual profundiza y amplía en 1925 (Carpenter y Elam, 1925). Ya a partir de 1923 comienza su trabajo con el profesor Taylor, publicando en 1923 un artículo relacionado con la distorsión de cristales de Al durante el ensayo de tracción (Taylor y Elam, 1923), el cual es profundizado en 1925 (Taylor y Elam, 1925), publicando ambos un trabajo en 1926 relacionado con la deformación de cristales de hierro (Taylor y Elam, 1926). Ya en 1925 comienza a publicar sola, estudiando deformación en cristales de Al-Zn (Elam, 1925; Elam, 1927a), un trabajo sobre deformación de cristales de oro, plata y cobre en 1926 (Elam, 1926), uno sobre cristales de Cu-Zn en 1927 (Elam, 1927b), y uno sobre cristales de Cu-5%Al en 1927 (Elam, 1927c). También como cristalógrafa, en los años 1927 y 1928 estudió estructuras bandeadas (Elam, 1927d; Elam y Taylor, 1928) y en 1934, sistemas de deslizamiento y maclado (Elam, 1934). La recristalización fue un campo también abordado (Elam, 1935), la deformación de latones beta y hierro (Elam, 1936) y la influencia de la velocidad de deformación en el límite elástico de hierro (Elam, 1938) entre otros campos. Como se deduce, Constance Tipper ya tenía una carrera consolidada y era una respetable científica cuando comenzó la segunda guerra mundial, donde iba a tener una participación importante como se relata más adelante. Pero antes, algunos datos de su carácter.

Su personalidad

La fotografía que publica wikipedia y que se muestra en la Figura N° 1, muestra a una mujer con mirada inteligente y penetrante, con un rostro que revela gran determinación, su aspecto irradia confianza en sí misma. Aún así, fue una persona sencilla y cuando se retiró después de 45 años de trabajo, se fue a vivir a un pueblo llamado Langwathby, dedicándose a lo que le gustaba: la pesca con mosca y la ejecución del órgano en la iglesia. Allí vivió con su hermano, ya que quedó viuda en 1947, llegando a cumplir 101 años (murió en 1995).



Figura N° 1. Constance Tipper (1894-1995)
(Wikipedia, 2024)

El caso de los Liberty Ships

Se ha escrito acerca de estos buques que fueron contruidos en grandes cantidades durante la segunda guerra mundial con el fin de abastecer de suministros a Gran Bretaña y a la ex Unión Soviética, con el fin de apoyar el esfuerzo de guerra (Monsalve, 2004). Se construyeron 2700 de estos buques, de los cuales 20 experimentaron fractura total, 90 experimentaron agrietamiento sin llegar a fracturarse y 400 experimentaron grietas de algún tipo. Las fallas se daban cuando el buque navegaba por mares fríos, originándose normalmente en las esquinas en ángulo recto de las escotillas, normalmente aquellas situadas en la zona central del buque, donde los esfuerzos flectores son máximos. Además, se observó que las grietas estaban asociadas a soldaduras, ya que el buque era fabricado uniendo planchas de acero mediante soldadura y no mediante remachado, como era tradicional. Además, el acero usado ofrecía una anormalmente baja resistencia a la propagación de estas grietas. Los gobiernos de EEUU y

de Gran Bretaña dispusieron equipos de investigación para dilucidar el origen de este problema y le correspondió a Constance Tipper hacerse cargo de la investigación por parte del “British Admiralty Ship Welding Comitee”. Paralelamente, al otro lado del Atlántico, en el “Naval Research Laboratory” en EEUU, también se preocupaban de dilucidar el misterio de las fracturas de estos importantes buques, de los que uno se muestra en la Figura N° 2.

El diseño de este buque buscaba cumplir con que fuera rápido, barato y simple de fabricar. Poseía un motor de vapor de triple expansión y según Harris *et al.* (2015), era ya un diseño obsoleto. Sin embargo, tenía la ventaja de que todas las fábricas en EEUU estaban en capacidad de proveer partes para este buque. Se sabe que el presidente Roosevelt comisionó al empresario de obras civiles Henry Kaiser para que se hiciera cargo de la construcción en masa de estas naves. En opinión del autor, una curiosa coincidencia, un empresario de apellido claramente alemán haciéndose cargo de la construcción de buques que iban a llevar los suministros bélicos para vencer a Alemania. ¿Lo habrán pensado así los alemanes? Lo dejó en clave sólo de reflexión personal. Por lo demás, Kaiser no tenía experiencia en construcción naval, ya que su ámbito de acción eran las obras civiles, había construido grandes represas en EEUU, así como autopistas en EEUU y Canadá. Volviendo a las fallas experimentadas por estos buques, la sospecha fundamental apuntó a las soldaduras, hechas por obreros y obreras no suficientemente capacitados. Como ya se mencionó, se formaron dos equipos. El de EEUU estaba dirigido por el contralmirante Ellis Reed-Hill, que lideraba el “Ship Structure Comitee” y a quien se

reportaban Morgan Williams y George Ellinger, ambos pertenecientes a la oficina nacional de normalización (National Bureau of Standards). Como nota anecdótica, Ellis Reed-Hill fue el padre de Robert Reed-Hill, metalúrgico que trabajó en la Universidad de Florida y que escribió el libro que cualquier estudiante tuvo en sus manos en su primer curso de ciencia de materiales: “Principios de Metalurgia Física”.

Después de analizar 83 muestras de acero provenientes de buques que experimentaron fallas, Williams y Ellinger midieron la temperatura de transición dúctil-frágil a través del ensayo de impacto o ensayo de Charpy, encontrando que sólo en 8 de las 83 muestras, esta temperatura de transición era menor a 7°C. Por lo tanto, era razonable que estos aceros fallaran por fractura frágil a temperatura ambiente cuando ésta era igual o inferior a 7°C, como fue en aquellos casos en que ocurrió propagación de grieta. Un detalle adicional: la temperatura de transición dúctil-frágil promedio medida a las muestras fue de 24,8°C (Harris *et al.*, 2015). Hay que señalar que los aceros que se usaron en los astilleros cumplían estándares de calidad basados en límite elástico, esfuerzo tensil máximo y alargamiento a rotura, lo cual hoy se sabe que es necesario, pero no suficiente para garantizar un buen desempeño. Una parte del misterio ya estaba resuelto, sin embargo, lo que no se sabía en aquella época fue cómo hacer que el acero presentase una temperatura de transición dúctil-frágil menor (recordar que mientras menor es esta temperatura, mejor es el desempeño del material). Se pensaba que la composición química era la única variable que influía en esta propiedad.

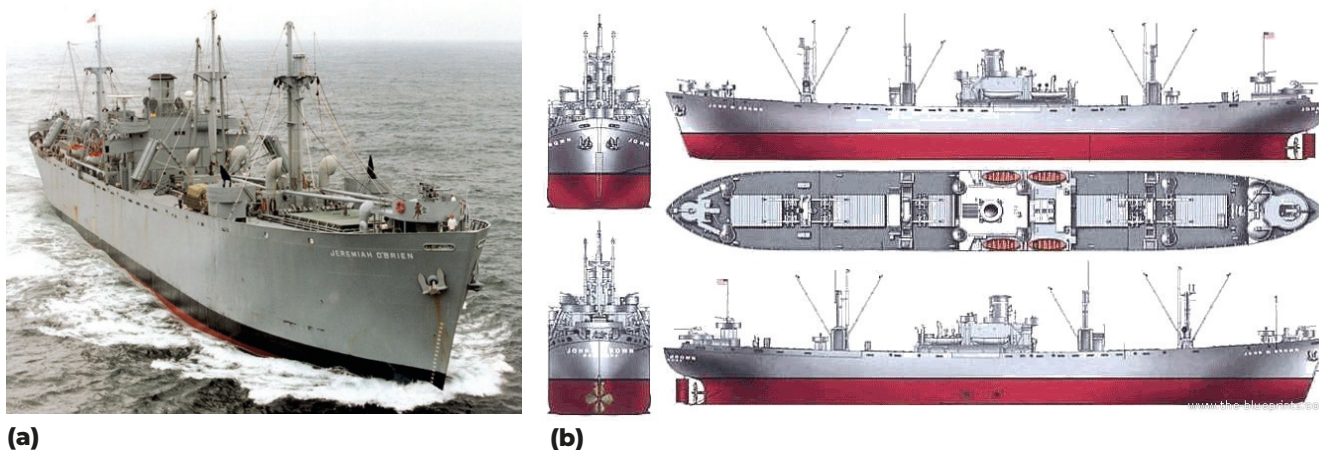


Figura N° 2. (a) Jeremiah O ´Brien, Liberty Ship que en 1982 ha sido declarado monumento nacional; actualmente se encuentra en San Francisco, California (Brasilmergulho, 2012). (b) John Brown, las flechas indican las escotillas 2 y 3, que es por donde se iniciaban las grietas (Sitio histórico estatal de Crailo, 2016).

La contribución de Constance Tipper: composición química y microestructura.

Como ya se mencionó, el gobierno inglés solicitó a Constance Tipper que abordara el problema de la falla de los buques. Ella se fijó en los detalles microestructurales del acero usado, no sólo en la composición química: tamaño de grano y presencia de inclusiones fundamentalmente. A partir de esto, logró establecer que existe una relación entre la microestructura y la tendencia a la fractura frágil. Ella tenía una gran experiencia acumulada en el estudio de superficies de fractura, ya que con su base de metalurgista y como cristalógrafa, había sido la primera persona que había usado la microscopía electrónica de barrido en el análisis de superficies de fractura. Ella viajó en varias ocasiones al Naval Research Laboratory en EEUU invitada por George Irwin, uno de los creadores de la mecánica de la fractura. Allí efectuó un trabajo colaborativo con el equipo estadounidense, logrando descifrar el misterio de la fractura frágil en aceros, tras cuidadosos análisis que incluyeron sus propios datos y los de otros investigadores. Por ejemplo, se dio cuenta que no solo era importante la relación entre Mn y C, sino también la microestructura. Sugirió que una microestructura inapropiada (por ejemplo un tamaño de grano demasiado grande), era capaz de deteriorar el comportamiento mecánico de un acero a pesar que la composición química fuese la correcta (Tipper, 1957). Además, cuantificó los planos de clivaje en ferrita permitiendo comprender la relación entre microestructura y respuesta a fractura. Para mayor detalle puede consultarse las referencias (Baker y Tipper, 1956).

Conclusión

A través de estos párrafos se ha relatado lo que fue la vida de Constance Tipper, una mujer que dedicó gran parte de su vida al entendimiento de algunos aspectos claves de la ciencia de materiales, siendo pionera en la comprensión del mecanismo de deformación de los cristales que ocurren en la gran mayoría de metales y aleaciones. En este campo hizo aportes fundamentales, a partir de observaciones experimentales cuidadosas y complejas. Sin embargo, su gran aporte fue al entendimiento del comportamiento dúctil-frágil de aceros, ya que, a raíz de las fallas acaecidas a los barcos Liberty, logró dar una explicación coherente relativa a la influencia de la microestructura de un acero en su respuesta a la fractura, demostrando que el comportamiento a fractura no solo depende de la composición química del acero, sino que también de su microestructura. Tan importante como esto, es el hecho de que haya

sido mujer, una científica que destacó en una época en que asistir a la universidad, graduarse, obtener una cátedra universitaria y ser una científica destacada era extremadamente complicado para las mujeres. Otras científicas famosas como María Curie o Lisa Meitner lo habían logrado por la misma época. Constance Tipper, en otra área del conocimiento, enseñaba que aún en circunstancias adversas, una mujer puede abrirse paso exitosamente en la ciencia con esfuerzo, perseverancia, talento y dedicación, logrando ser reconocida y respetada por sus pares y por la sociedad sin que se le discrimine negativamente y por supuesto, tampoco positivamente, ya que cuando el talento y la dedicación existen, la discriminación positiva no es necesaria.

Referencias

- Baker JF, Tipper CF. 1956. The value of the notch tensile test. *Proc Inst Mech Eng* 170: 65-93.
https://doi.org/10.1243/pime_proc_1956_170_016_02
- Brasilmergulho. 2012. Visitando o Liberty Ship Jeremiah O'Brien. <https://www.brasilmergulho.com/wp-content/uploads/2016/05/Jeremyah-Obrien.jpg>
- Carpenter HCH, Elam CF. 1920. Crystal growth and recrystallisation in metals. *Nature* 106: 312-315.
<https://doi.org/10.1038/106312a0>
- Carpenter HCH, Elam CF. 1921. The production of single crystals of aluminium and their tensile properties. *Proc R Soc London Ser A* 100: 329-353.
<https://doi.org/10.1098/rspa.1921.0089>
- Carpenter HCH, Elam CF. 1925. Experiments on the distortion of single-crystal test-pieces of aluminium. *Proc R Soc London Ser A* 107: 171-180.
<https://doi.org/10.1098/rspa.1925.0013>
- Elam CF. 1925. Tensile tests of crystals of an aluminium zinc alloy. *Proc R Soc London Ser A* 109: 143-149.
<https://doi.org/10.1098/rspa.1925.0111>
- Elam CF. 1926. Tensile tests for large gold, silver and copper crystals. *Proc R Soc London Ser A* 112: 289-296.
<https://doi.org/10.1098/rspa.1926.0112>
- Elam CF. 1927a. Tensile tests on alloy crystals. Part I.—Solid solution alloys of aluminium and zinc. *Proc R Soc London Ser A* 115: 133-147.
<https://doi.org/10.1098/rspa.1927.0080>

- Elam CF. 1927b. Tensile tests on alloy crystals. Part II.—Solid solution alloys of copper and zinc. *Proc R Soc London Ser A* 115: 148–166. <https://doi.org/10.1098/rspa.1927.0081>
- Elam CF. 1927c. Tensile tests on alloy crystals. - Part IV.—A copper alloy containing five per cent. Aluminium. *Proc R Soc London Ser A* 116: 694–702. <https://doi.org/10.1098/rspa.1927.0158>
- Elam CF. 1927d. Banded structure in Al and Cu. *Nature* 120: 259.
- Elam CF. 1934. Slip-bands and twin-like structures in crystals. *Nature* 1934.
- Elam CF. Recrystallisation accompanying allotropic changes. *Nature* 1935
- Elam CF. 1936. The distortion of α -brass and iron crystals. *Proc R Soc London Ser A* 153: 273–301. <https://doi.org/10.1098/rspa.1936.0002>
- Elam CF. 1938. The influence of rate of deformation on the tensile test with special reference to the yield point in iron and steel. *Proc R Soc London Ser A* 165: 568–592. <https://doi.org/10.1098/rspa.1938.0077>
- Elam CF, Taylor GI. 1928. An investigation of some banded structures in metal crystals. *Proc R Soc London Ser A* 121: 237–247. <https://doi.org/10.1098/rspa.1928.0193>
- Harris MD, Grogg WJ, Akoma A, Hayes BJ, Reidy RF, Imhoff EF, Collins PC. 2015. Revisiting (some of) the lasting impacts of the Liberty Ships via a metallurgical analysis of rivets from the SS 'John W. Brown. *Jom* 67: 2965–2975. <https://doi.org/10.1007/s11837-015-1668-1>
- Monsalve A. 2004. Los 'Liberty Ships': Análisis de falla. *Remetallica* 24.
- Sitio histórico estatal de Crailo. 2016. The Liberty Ship S.S. Jeremiah Van Rensselaer. <https://crailoblog.blogspot.com/2016/02/the-liberty-ship-ss-jeremiah-van.html>
- Taylor GI, Elam CF. 1923. Bakerian Lecture: The distortion of an aluminium crystal during a tensile test. *Proc R Soc London Ser A* 102: 643–667. <https://doi.org/10.1098/rspa.1923.0023>
- Taylor GI, Elam CF. 1925. The plastic extension and fracture of aluminium crystals. *Proc R Soc London Ser A* 108: 28–51. <https://doi.org/10.1098/rspa.1925.0057>
- Taylor GI, Elam CF. 1926. The distortion of iron crystals. *Proc R Soc London Ser A* 112: 337–361. <https://doi.org/10.1098/rspa.1926.0116>
- Tipper CF. 1957. The brittle fracture of metals at atmospheric and sub-zero temperatures. *Metall Rev* 2: 195–261. <https://doi.org/10.1179/mtlr.1957.2.1.195>
- Wikipedia. 2024. Constance Tipper. https://en.wikipedia.org/wiki/Constance_Tipper#/media/File:-_Constance_Tipper.jpg
- Zapas K. 2015. Constance Tipper cracks the case of the Liberty Ships. *Jom* 67: 2774–2776. <https://doi.org/10.1007/s11837-015-1697-9>