

# Una completa revisión de los orígenes y evolución de los procesos de manufactura de las cadenas

## A complete review of the origins and evolution of chain manufacturing processes

Felipe Varela Canales

Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile.

[felipe.varela.c@usach.cl](mailto:felipe.varela.c@usach.cl)

### Resumen

---

El presente trabajo muestra los posibles orígenes, el desarrollo y evolución de los diversos procesos de manufactura de las cadenas, trazando la línea base sobre la existencia de la cadena por miles de años, primeramente utilizada en sistemas de cangilones de agua y en bocetos de Leonardo da Vinci, evolucionando morfológicamente en función de las necesidades o posibilidades de cada taller de artesano, para dar paso con el devenir de los años a su apogeo en la industria marítima en el siglo XIX mediante mecanismos de manufactura por fundición o forja, paralelamente la revolución industrial impulsó la sustitución de la fuerza del herrero por la de las máquinas, pudiendo implementar procesos de manufactura de cadenas soldadas cada vez de forma mas automática. Finalmente se concibe la cadena como un conjunto de eslabones en constante cambio ligado a los avances tecnológicos y necesidades de la historia de la humanidad.

**Palabras Clave:** Metalurgia; Cadenas; Eslabones; Procesos de manufactura; Fundición; Moldeo en arena; Forja; Soldadura.

### Abstract

---

This work shows the possible origins, development and evolution of the various manufacturing processes of chains, tracing the baseline of the existence of the chain for thousands of years, first used in water bucket systems and in sketches by Leonardo da Vinci, evolving morphologically according to the needs or possibilities of each artisan's workshop, The industrial revolution led to the substitution of the blacksmith's strength by that of machines, allowing the implementation of increasingly automatic manufacturing processes for welded chains. Finally, the chain is conceived as a set of constantly changing links linked to technological advances and the needs of human history.

**Keywords:** Metallurgy; Chains; Links; Manufacturing processes; Foundry; Sand casting; Casting; Welding.

## Introducción

Las cadenas llevan con nosotros miles de años los historiadores antiguos recogen el uso de cadenas metálicas en joyería, grilletes y construcción, las cadenas se usan para diversas actividades y/o acciones, atar sujetar y tirar de cosas y sus diferentes tamaños reflejan sus variados usos. El proceso evolutivo de la manufactura de la cadena ha quedado en registro de la historia de la humanidad, entrelazado por eventos o hitos destacables, algunos como la primera edad de Hierro, el apogeo de la industria naval en europa o la revolución industrial. En cierto sentido las cadenas han conformado un vínculo con el pasado de nuestra sociedad que nunca podremos romper.

## Antecedentes históricos

### El origen de las cadenas

La cadena ha existido durante miles de años. Los primeros signos de su probable uso se remontan al Antiguo Egipto (en algún momento entre 3150-332 a.C.) para mover agua en sistemas de elevadores de cangilones. Estos sistemas también se utilizaron durante la dinastía Han en China (202 a.C.-220 d. C.) para mover el agua alrededor de las terrazas de arroz. Las primeras ilustraciones chinas muestran una técnica similar a los modernos transportadores de cadenas forjadas, donde los accesorios tiran eficazmente del agua a lo largo de un canal (Church, 2021).

En el 225 a.C, Philo (American Chain Association, 2005) describió un elevador de agua accionado por

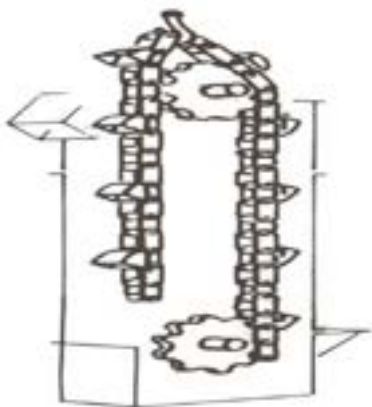


Figura N° 1. Adaptación esquemática del sistema de elevación de agua accionado por cadena de Philo (American Chain Association, 2005).

cadena, como se muestra en la Figura N° 1. En realidad se trataba de una forma de ascensor de cangilones. Más tarde, hay referencias a cadenas de eslabones redondos o forjados en barcos romanos y vikingos, tal como se aprecia en la Figura N° 2

### El dilema sobre su autoría

Leonardo da Vinci esbozó los diseños de cadenas (Church, 2021) que se muestran en la Figura N° 3 en el año 1500. Algunos de estos diseños son muy similares a las modernas cadenas de eslabones, de hojas y silenciosas. ¿Significa esto que da Vinci inventó la cadena industrial como la conocemos?. Tal vez no, como muchos de sus diseños, no está claro si pasaron del papel a la vida real. Probablemente haya muchos otros ejemplos de cadenas utilizadas en accionamientos y transportes antes del siglo XIX.

### El desarrollo evolutivo de la cadena

La tecnología tardó algún tiempo en ponerse al día con el concepto de la cadena (Church, 2021). Los problemas en la fabricación y procesamiento del acero impidieron el crecimiento de la cadena hasta el siglo XIX, cuando las nuevas tecnologías hicieron realidad las cadenas y los rodamientos de acero. En la década de 1800, un francés llamado Gull obtuvo una patente para una cadena similar para usar en una bicicleta. Esta cadena, llamada "Cadena de gaviota", todavía se utiliza hoy en día en aplicaciones colgantes. Cuando se inventó la cadena moldeada en el siglo XIX, las cosas comenzaron a moverse con bastante rapidez. Primero vino la cadena desmontable fundida, que se compone de eslabones fundidos idénticos. A continuación, apareció la cadena de pivote, que tiene un pasador separado. La cadena



Figura N° 2. Cadena romana perteneciente al museo arqueológico nacional, Madrid.

desmontable fundida y la cadena de pivote se han mejorado a lo largo de los años y todavía se utilizan hoy en día en algunas aplicaciones especiales. Están siendo reemplazados, gradualmente, por una cadena transportadora de acero de gran paso.

## Métodos de fabricación de cadenas

### Fabricación mediante el proceso de fundición de eslabones.

Si hacemos referencia a la concepción de los procesos de manufactura metalúrgica en la Primera Edad de Hierro, la perspectiva puede llegar a ser desoladora, ya que ha sido un tópico que se ha venido ignorando, muchas veces por falta de datos, el estudio de hallazgos metálicos, haciéndose hincapié sobre todo en hallazgos cerámicos. No obstante se rescata los estudios metalúrgicos de la Primera Edad de Hierro en Aragón, que dan cuenta de diversas manufacturas de artilugios, armas y herramientas, entre ella algunas de las primeras cadenas, fabricadas por la técnica de moldeo en arena.

Los moldes utilizados para la fabricación de cadenas tienen una variedad tipológica (Royo Guillen, 1980), basada en las necesidades o posibilidades de cada taller de artesano, algunos de ellos se destaca la implementación de dos aros unidos por un vástago recto, para la producción de una serie de piezas fundidas.

Otro ejemplo singular son algunos restos de moldes aparecidos en las zonas de el Cabezo de Monleón y en el Cascarujo ambos correspondientes a España,



Figura N° 3. Adaptación esquemática de la idea de cadena extraída de los bocetos originales de Leonardo da Vinci (Church, 1921).

donde presentaron matrices para fundir varios eslabones a la vez, como se pueden visualizar en la figura N°4 para el esquema representativo de la cadena, concretamente 3 eslabones en la zona de el Calabezo de Monleón y 4 eslabones en la zona de el Cascarujo respectivamente. La cronología del molde en arena esta dada por el autor A. Beltrán contextualizada en la Primera Edad del Hierro.

Desde el siglo XIX y a comienzos del siglo XX se ha seguido el proceso de fabricación mediante el moldeo, es decir, el molde 'se compone de una pluralidad de piezas, normalmente cuatro, pero dicho moldeo tiene desventajas prácticas que serán fácilmente evidentes para los expertos en moldeo en arena, aunque además es especial, se necesitan maquinaria y equipos complicados. También se han hecho intentos de fundir cadenas con moldes hechos a mano, como el que se muestra según la Figura N° 5 en la patente de MoGlashan & Wilhams (1913), expedida en enero de 1913, pero tales procesos han involucrado una multiplicidad de operaciones y son particularmente lentos.

Ahora bien, el 8 de febrero de 1918, R.R Rust presentó método de fabricación de cadenas de fundición que posteriormente se patentó en 1921. El método de fabricación de cadenas de fundición del señor R.R Rust se puede visualizar en la Figura N° 6, ahora bien respecto a la fabricación de cadenas de ancla, estas tienen como uno de sus objetivos la provisión de un método simple mediante el cual la cadena se puede fundir de forma económica y rápida. En un molde de arena dividido, las piezas de los cuales se puede apisonar con una máquina, por lo que se

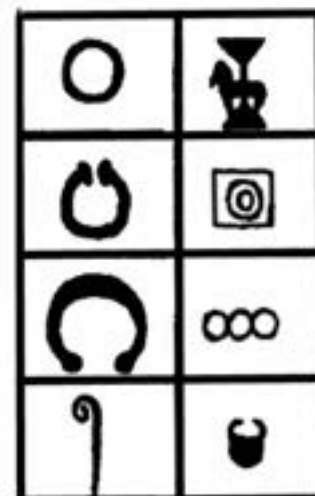


Figura N° 4. Adaptación esquemática de la distribución tipológica y cuantitativa de los objetos de adorno y rituales en Aragón, (relación de símbolos empleados en su elaboración) (Royo Guillen, 1980).

puede superar todas las desventajas inherentes a la fundición de cadenas a partir de moldes permanentes y moldes de arena hechos a mano (Rust, 1921), y también reducir el costo sobre los métodos de forjado en uso actual, mientras que al mismo tiempo, la cadena resultante tiene todas las propiedades deseadas.

Con el venir de los años en 1972 según la United Ind. Inc. patentó un método y un sistema para moldear una pluralidad de eslabones de cadena espaciados y eslabones de conexión entre ellos en el mismo mecanismo de moldeo (USP, 1972). Tal cual como se logra visualizar en la Figura N°7, Los moldes para fundir los eslabones espaciados se forman en las porciones de carga y arrastre del sistema de moldeo, y los lados adyacentes de los moldes son intersectados por rebajes verticales alargados que reciben conjuntos de almas sobresalientes que contienen canales arqueados para completar los moldes para los eslabones espaciados.

Las unidades de alma sobresalientes también contienen moldes para fundir los eslabones verticales de conexión entre los eslabones separados horizontalmente, como se logra visualizar en la Figura N°8. Después de fundir dos o más cadenas de eslabones múltiples, pueden conectarse entre sí para proporcionar una cadena de cualquier longitud deseada fundiendo eslabones de conexión entre los eslabones finales de cada cadena utilizando otros conjuntos de almas.

En síntesis el proceso de fabricación por medio de fundición de eslabones, ha evolucionado con el pasar de las décadas y en particular, este proceso de manufactura confiere a los componentes de hierro fundido propiedades que dependen de el diseño del componente (Eslabón), la metalurgia y el método de aplicación. Factores como el grosor de la pared local influyen en el tipo de microestructura que se desarrolla, y el material tendrá propiedades locales dependiendo de la historia metalúrgica y térmica local.

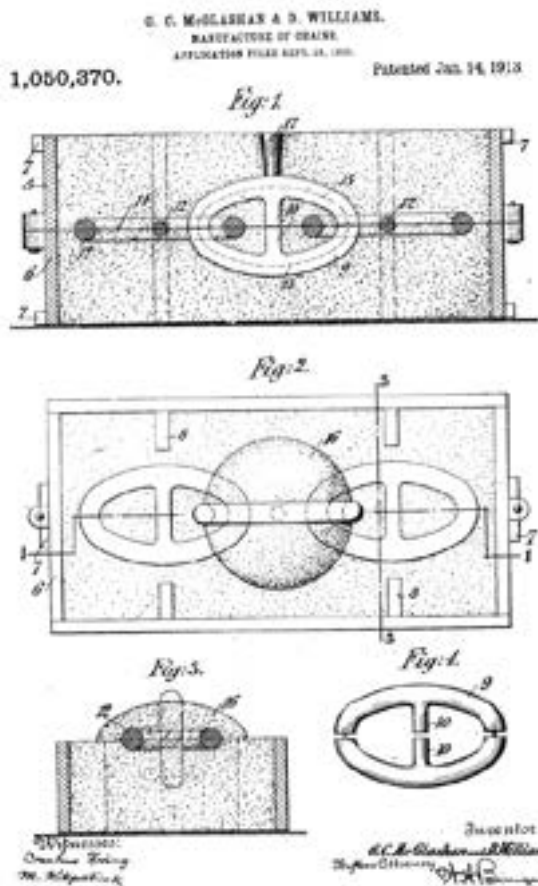


Figura N° 5. Patente de manufactura de cadenas presentada por MoGlashan & Wilhams (1911).

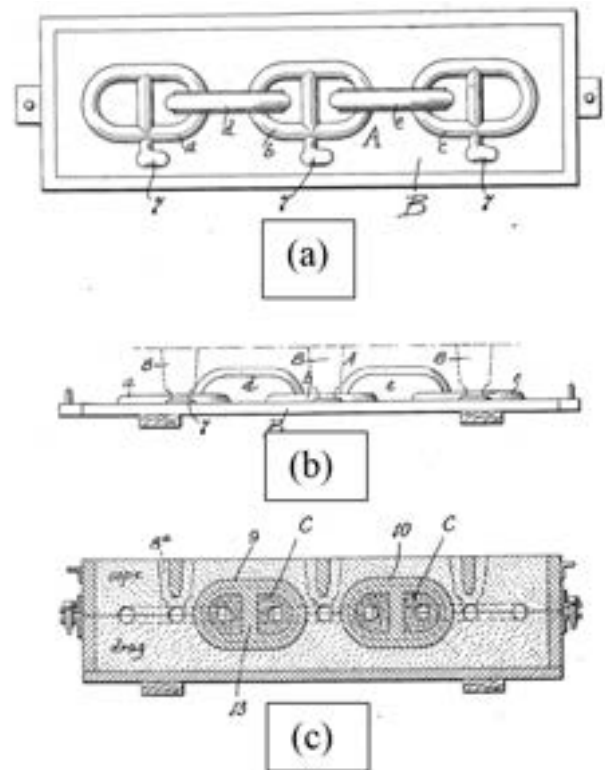


Figura N° 6. (a) Esquema de una vista en planta de un patrón dividido y su patrón utilizado tardíamente en la formación del medio molde, (b) esquema de una elevación lateral de (a) y (c) esquema de una sección longitudinal a través de un molde completado (Rust, 1921).

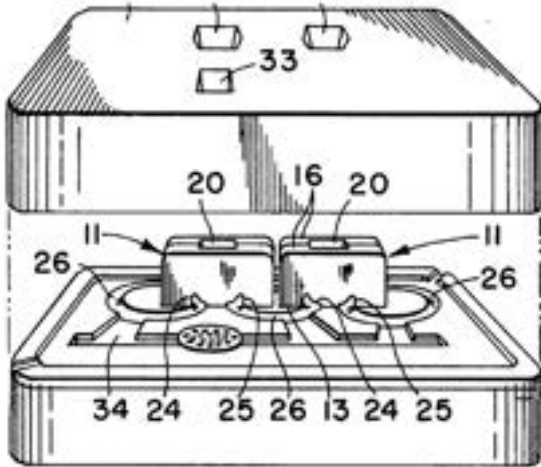


Figura N° 7. Vista isométrica parcialmente desglosada de todo el aparato de moldeo, con los conjuntos de almas para fundir los eslabones de conexión verticales mostrados en su lugar en la parte de arrastre del aparato de moldeo (USP, 1972).

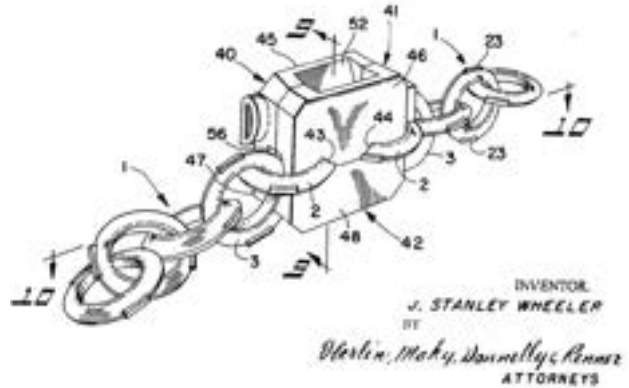


Figura N° 8. Vista isométrica ampliada que muestra el conjunto del alma utilizado para conectar dos cadenas (US Patent, 1972).

En la actualidad las simulaciones del comportamiento de tensión/deformación de los productos de fundición se realizan normalmente utilizando propiedades de material constantes en toda las piezas fundidas, los hierros fundidos son hoy en día materiales modernos que siguen desarrollándose, y tienen el potencial de satisfacer aún más necesidades de los diversos clientes en el futuro.

### Fabricación mediante proceso de forja de eslabones

El tipo de cadena más simple y uno de los más antiguos, es la cadena de eslabones, que está hecha de barras de metal rectas que se doblan en forma ovalada y se enrollan en juntas, como se logra visualizar en la Figura N° 9. Estas barras se hacían tradicionalmente de hierro forjado, pero las cadenas de

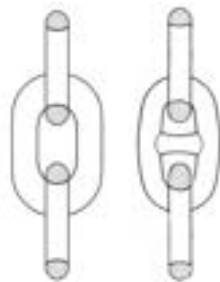


Figura N° 9. Adaptación esquemática de cadena de eslabones y cadena de eslabones ovalados, recuperado de Encyclopedia Britannica, Inc (Enciclopedia Británica, 2021).

acero han ganado popularidad en los últimos años (Enciclopedia Británica, 2021). Este tipo de cadena se utilizaba tradicionalmente en anclas, grúas y palas mecánicas.

En la medida que el desarrollo tecnológico avanzaba a comienzos del siglo XIX, el proceso de fabricación de la cadena forjada se vio envuelto en constantes transformaciones, desde procesos artesanales ancestrales hasta procesos industriales, un registro de aquello son las variadas patentes que conforman más de una posibilidad para dar con cabida a lo que hemos conocido como la cadena. En la línea de lo anterior, Irving A. Brown, de Cleveland, Ohio, patentó el 19 de abril de 1910 una serie de cadenas metálicas (Brown, 1910), tal como se puede visualizar en la Figura N° 10.

la presente invención se propuso como sustituto de la cadena de placa ampliamente utilizada para suspender contrapesos de ventana y similares y caracterizado por tener sus eslabones formados a partir de piezas en bruto de chapa con ojales en cada extremo, estando cada pieza en bruto sobre sí misma doblada, de modo que los eslabones de las mismas se alinean entre sí.

Unos años más tarde el 07 de enero de 1924 William F. Kopke presentó una patente para la fabricación de una cadena antideslizante para autos, el dispositivo se diseñó particularmente para ser utilizado en co-

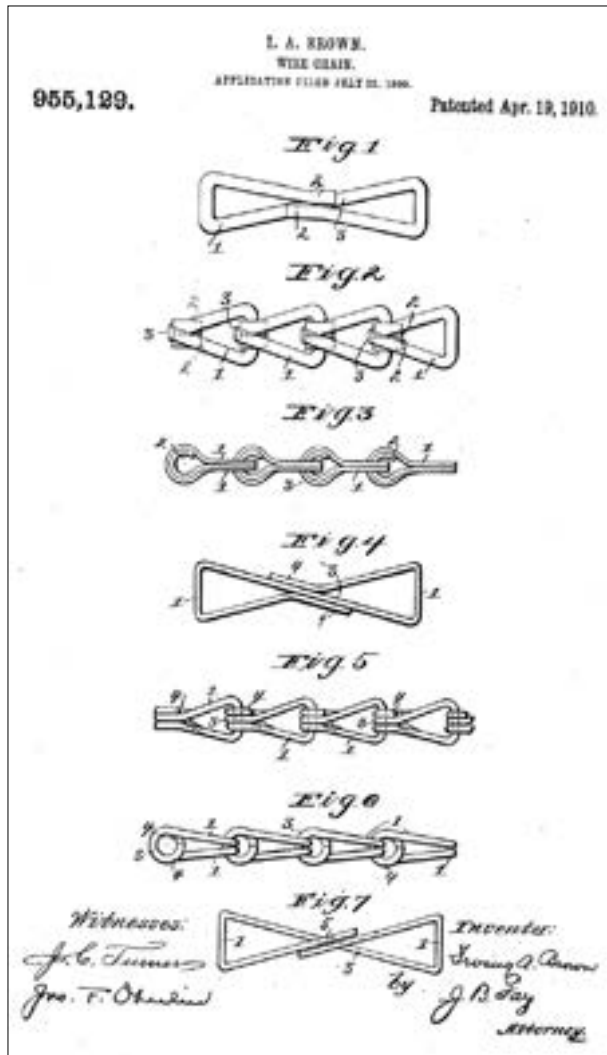


Figura N° 10. Patente de manufactura de cadenas metálicas presentada por Irving A. Brow (1910).

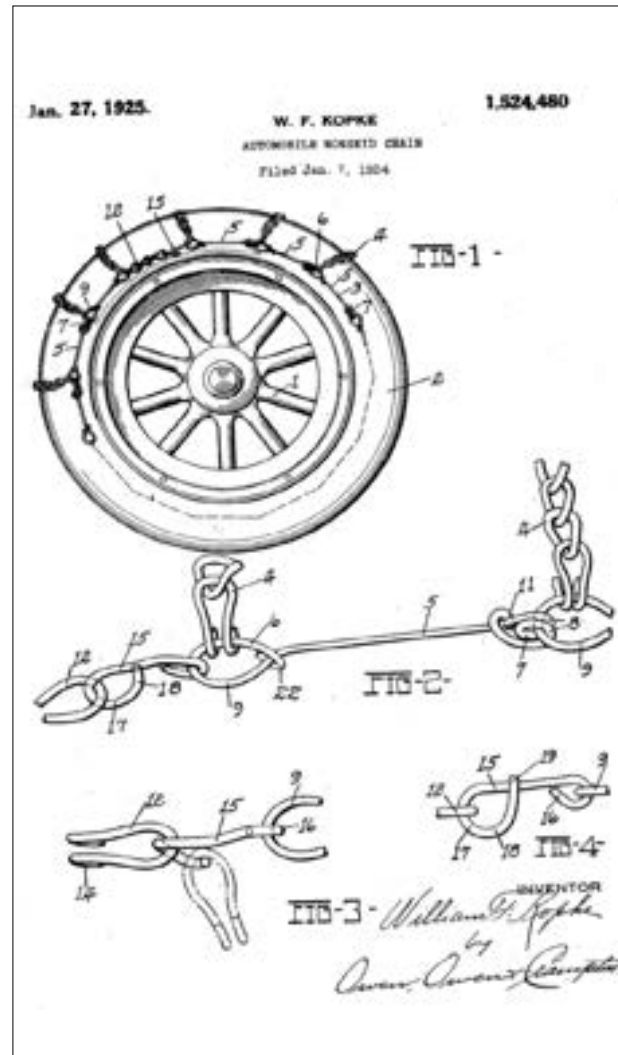


Figura N° 11. Patente de manufactura de cadenas antideslizantes para ruedas presentada por William F. Kopke (1925).

nexión con un neumático ordinario. En la Figura N° 11 se muestra la rueda con la incorporación de la cadena antideslizante. Esta cadena se conforma con una serie de cadenas laterales y cadenas transversales. Cada lado de la cadena consta de una pluralidad de eslabones. Cada eslabón está formado por un alambre pesado doblado en sus extremos para formar los bucles grandes y los bucles dobles pequeños. Cada uno de los bucles grandes está provisto de ganchos de enganche que se doblan alrededor de la parte del cuerpo del eslabón y doblado cerca de la porción de bucle del alambre para cerrar el gancho.

Paralelamente el 14 de marzo de 1919, se presentó la patente de una maquina elaboradora de cadenas (Rehuss, 1923), Figura N° 12, que en cierto modo seria una de predecesora de los sistemas manufactura avanzada que en la actualidad operan en los procesos de fabricaci3n de las cadenas, ahora bien el aparataje incluy3 una 'disposici3n relativamente simple, sustancial y compacta de piezas para' conformar autom3ticamente 'longitudes continuas de cadena partir de eslabones que ser3n de mayor perfecci3n mec3nica de lo que ha sido posible hasta la 3poca; la invenci3n contemplaba especialmente medios novedosos para cortar tramos sucesivos de

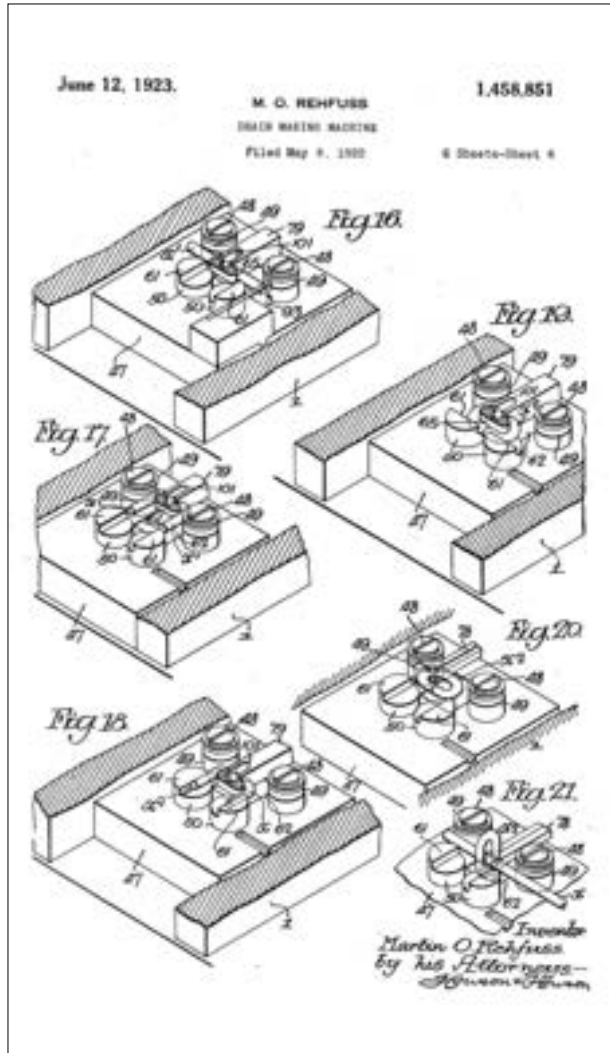


Figura N° 12. Patente de una máquina elaboradora de cadenas presentada por Martín O Rehfuss (USP, 1923).

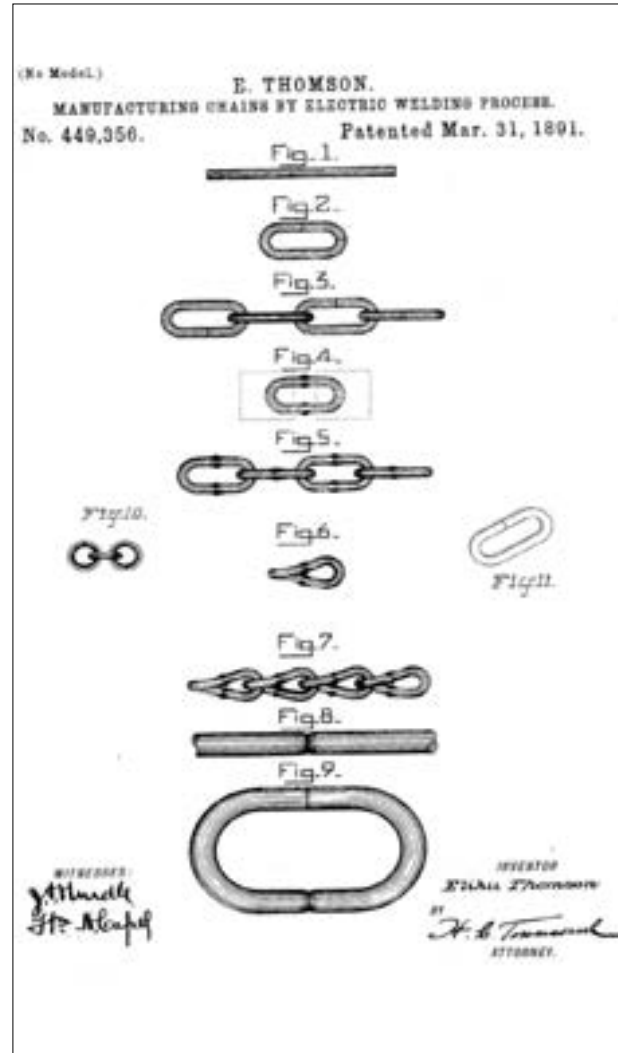


Figura N° 13. Patente de un proceso de manufactura de cadenas por arco eléctrico (Thomson, 1891).

barra o material de alambre y formarlos en una serie de eslabones conectados cerrados por un lado. Otro objeto de la invención fue proporcionar una máquina que tenga las características anteriores que incluirá un dispositivo novedoso para manipular los eslabones a medida que se formen cinco sucesivamente para permitir que cada material de barra que se va a formar en el siguiente eslabón. El mecanismo contempló un dispositivo simple y sustancial para agarrar cada eslabón después de su formación y luego, girarlo en un eje transversal en un ángulo de 90 grados de modo que un tramo recto de alambre

del cual el siguiente eslabón que se va a formar, se pueda pasar a través de él antes de la operación de conformado.

En síntesis el proceso de fabricación de eslabones de cadena mediante procesos de conformado como la forja, ha sido una de los mecanismos más antiguos donde sus antecedentes se encuentran en la labor de los herreros y la fraguas ancestrales. Este proceso aprovecha la plasticidad del material y en algunos casos, en virtud de los elevados niveles de deformación inherentes al proceso, éste se realiza normalmente en caliente.

### Fabricación de cadenas mediante proceso soldadura eléctrica

La fabricación de cadenas mediante procesos de soldadura eléctrica, tiene registro desde el siglo XIX (Thomson, 1891), la manufactura de cadenas por esta vía, se puede visualizar en la Figura N° 13, donde es aplicable a cadenas conformadas por doblado de alambre metálico en la forma deseada para cada eslabón, así como a aquellas formas de cadena en las que cada eslabón consiste en una pieza de chapa cortada en un lado para permitir ser enhebrado en el otro.

La invención del señor E. Thomson del año 1891, consistió en formar una cadena con sus elementos sucesivos enlazados o roscados entre sí, pero sin unión ni soldadura previa para cada eslabón, tal que posteriormente se procedía a soldar los eslabones consecutivamente o todos juntos para formar la cadena soldada completa. El conformado del eslabón se llevaba a una sección adecuada de metal y esta

era doblado aproximadamente a la forma deseada, al mismo tiempo enroscando el eslabón doblado en la línea de la cadena, siguiendo con esta norma, se construye una cadena de cualquier extensión y luego se procede con la soldadura de la cadena en los extremos de encuentro de cada eslabón (Senft Electric, 1928), preferiblemente por el proceso de soldadura eléctrica, con equipos similares a la Figura N° 14.

Con el devenir de los años el proceso de fabricación de cadenas de eslabones vía doblado y soldadura no ha presentado muchas variaciones (Rainer *et al.*, 2005), en la base de su metodología pero destacaremos algunos detalles del proceso de fabricación del último siglo.

Para la fabricación de cadenas de eslabones que logren sostener cargas mas pesadas Figura N°15 a, primeramente se manufacturan a través de un perfiladora, en la que una pinza coloca la materia prima (alambre de acero), sobre unos rodillos que lo enderezarán, posteriormente unas cuchillas de acero realizan una serie de muescas en ambos lados del alambre, estas muescas marcarán el lugar en el que se cortará en piezas del tamaño de un eslabón, unas cuchillas mecanizada hacen el corte final en las muescas, después los brazos de rodillo enrollan un trozo de alambre cortado alrededor de un taco de acero, tal como se visualiza en la Figura N°15 b, una vez que los rodillos forman un eslabón una herramienta lo toma y lo gira, así posiciona el eslabón terminado para que pueda conectarse con el siguiente eslabón como se logra visualizar en la Figura N° 15 c. Una vez hecha la cadena la siguiente etapa consiste en reforzarla, aquí es cuando pasa a solda-

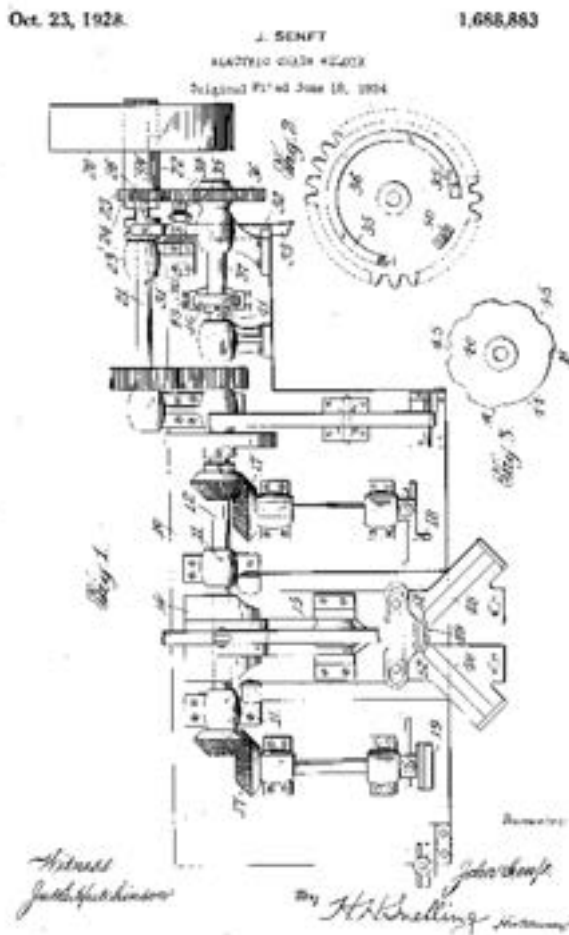


Figura N° 14. Soldadora eléctrica de cadenas Patentado el 23 de octubre de 1928 por John Senft (Senft Electric, 1928).

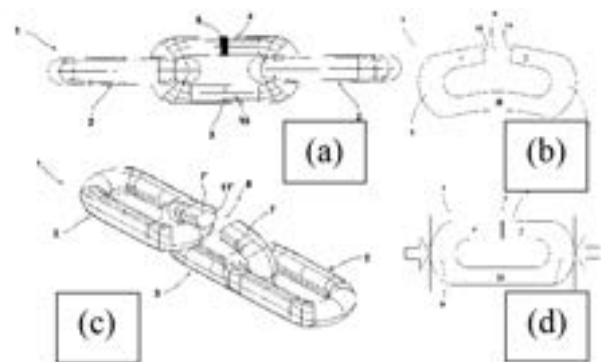


Figura N° 15. Cadena de eslabones y método de fabricación de una cadena de eslabones (Rainer *et al.*, 2005).

dura, unos martillos a izquierda y derecha empujan en el eslabón y 2 bloques de cobre entran en acción desde los laterales, actúan como electrodos y transmiten a ambos lados del eslabón una corriente eléctrica la corriente fluye a través del hueco del eslabón, mientras los martillos lo empujan el eslabón alcanza una temperatura de 997°C el alambre se funde y el eslabón se fusiona Figura N°15 d.

El siguiente paso consiste en un sistema de poleas que deja caer la cadena recién soldada en una bobina de tratamiento térmico, una corriente eléctrica recorre la bobina de cobre calentando la cadena que está dentro hasta que se pone color naranja y alcanza los 940°C, las poleas bajan la cadena a una bañera para que se temple, el extremo cambio de temperatura altera la microestructura del acero y lo hace más duro pero la experiencia confirma una cadena quebradiza, por eso es necesario una etapa de revenido, pasando la cadena a una segunda bobina térmica no tan caliente como la primera y después a otro baño frío así se evita que sea frágil finalmente se pasa la cadena por un sistema de control de calidad, en el que consiste de un calibrador de cadena, que analiza la resistencia de las cadenas y averigua si aguantarán la tensión solicitada.

## Conclusiones

En esta revisión bibliográfica se logró dar con una completa revisión sobre los orígenes y evolución de los procesos de manufactura asociado a las cadenas de eslabones, destacando a las cadenas como un elemento de participación fundamental en el desarrollo de la humanidad, estando presente en los grandes hitos como la Primera Edad de Hierro, el desarrollo naval de europeo y la revolución industrial hasta nuestras fechas.

Con respecto a las cadenas de eslabones fundidos las propiedades locales de cada eslabón pueden variar esencialmente en el volumen de la pieza fundida. Esto dificulta la optimización del componente con buena precisión. Sin embargo, en la actualidad, la incorporación de modernas herramientas de simulación para predecir la solidificación local y la microestructura, permiten hoy en día calcular las propiedades locales de los materiales para todas las partes de la pieza fundida, y determinar con gran precisión su comportamiento de tensión y comportamiento de la deformación.

Con respecto al proceso de fabricación de las cadenas de eslabones forjados, este proceso permitió fabricar piezas (eslabones) de materiales ferrosos y no ferrosos, en dimensiones, geometrías y pesos muy variados, que sería, dependiendo de los casos particulares muy difíciles de obtener mediante otras operaciones. Ahora bien, la revolución industrial y los avances tecnológicos de la época significaron, la sustitución de la fuerza del herrero por la de las máquinas. En la actualidad existe una gran variedad de equipos para la fabricación de cadenas, los cuales permiten la obtención de piezas de tamaños que van desde cadenas de joyería hasta cadenas industriales. Con respecto a la manufactura de las cadenas soldadas a lo largo de el último siglo a recurrido a una metodología equivalente, basada en el proceso de corte, posterior doblado a la formato del eslabón y aplicación de la soldadura a en la unión, lo anterior puede concebirse como una etapa categorizada de gran consumo energético (como la soldadura por resistencia). La principal variable restrictiva de este proceso convencional es principalmente la soldabilidad de la calidad del acero utilizado, que depende en gran medida del contenido de carbono y de los elementos de aleación.

## Referencias

- American Chain Association. 2005. Standard handbook of chains: Chains for power transmission and material handling. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Brown IA. 1910. Of Cleveland, Ohio. Wire Chain. Specification of Letters Patent. Serial No. 509,034.
- Church P. 2021. A brief history of chain: from Ancient Egypt to Jubilee Business Park. Fbchain. Com. <https://www.fbchain.com/blog/a-brief-history-of-chain-ancient-egypt-to-jubilee-park>
- Enciclopedia Britannica. 2021. Cadena. <https://www.britannica.com/technology/chain-connecting-device>.
- Kopke WF. 1924. Automobile Nonskid Chain Patented United States Patent en 1924 en Michigan, USA.

MoGlashan GT, Williams D. 1913. Manufacture of cams. Application filed. Patented

Rainer B, Berghoff J, Wirtz T. 2016. Cadena de eslabones y método de fabricación de una cadena de eslabones, patentado.

Royo Guillén JI. 1980. Hallazgos metalúrgicos de la Primera Edad del Hierro en Aragón. Real Academia de la Historia-IFC, España.

Rust RR. 1921. Method of making cast chains. Application filed. Patented US1398706A

Thomson B. 1891. Manufacturing chains by electric welding process. Patented Mar.31,1891.

USP. 1923. M. O. Refhuss Chain Making Machine. Patented en 1923 en USA.

USP. 1928. J. Senft electric chain welder, Patented Oct. 23, 1928.

USP. 1972. US Patent Wheeler Apparatus for making cast chain Inventor: J. Stanley Wheeler, Baltimore, USA.