Optimización del Proceso del Nivelado de Placas de Acero, Utilizando Herramientas de Reingeniería, Proponiendo la Instalación de Material Rectificador de Marcas, En Maquiladora de Acero, (Apodaca, Nuevo León, México)

Optimization of the Steel Plate Leveling Process Using Reengineering Tools, Proposing the Installation of Mark-Correcting Material in a Steel Manufacturing Plant (Apodaca, Nuevo León, México)

Gerardo Cirenio García García, Ramón Pali Casanova, Manuel Aguilar Vera
[1,2,3] Universidad Internacional Iberoamericana, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán,
*gerardo.cirenio.garcia@hotmail.com

Abstract

Within the state of Nuevo León in the city of Apodaca, it is common to find steel machining where steel plates up to ¾" thick are produced. In the steel bending process, not all of the finished products fully comply with the quality standards requested by customers, due to, among other factors, brands of origin, strapping marks, handling in the leveling process, contact with other impact surfaces and the leveling itself. The objective of this study is to optimize the process of leveling steel plates, using reengineering tools, proposing the installation of brand rectifying material, in a maquiladora in Apodaca, Nuevo León, México. The application of a total quality management methodology is proposed to reduce various research tools were used, among which are the observation of the process, the use of documentary research and bibliography, interviews with clients and operating personnel, technical meetings with groups of experts in the operating process, technicians, administrators, and management groups and shareholders, and lastly, case studies of success. The results, as can be seen throughout this investigation, are a set of proposals to improve the process and meet production standards. Some of the proposals are adaptation of a roller with polypropylene bristles that allows cleaning prior to the leveling process, air injection of instruments prior to entering the leveler to remove dust from the steel plates and thus preserve the time of life of the leveling machine and reduce the time of unscheduled stoppages. (6)

Keyword (12 puntos)
Metallurgy, Optimization, Leveling, Productivity, Quality.

Resumen

Dentro del estado de Nuevo León en la ciudad de Apodaca, es común encontrar el maquinado de acero de donde se producen placas de acero de hasta ¾" de espesor, en el proceso de doblado de acero no todo el producto terminado cumple en su totalidad con los estándares de calidad solicitados por los clientes, debido entre otros factores como; las marcas de origen, marcas por flejes, por manejo en el proceso de nivelado, por contacto con otras superficies de choque y en el nivelado mismo. El objetivo del presente estudio es optimizar el proceso del nivelado de placas de acero, utilizando herramientas de reingeniería, proponiendo la instalación de material rectificador de marcas, en maquiladora de Apodaca, Nuevo León, México. Se propone la aplicación de una metodología de la gestión de calidad total para disminuir esta problemática. Se utilizaron diversas herramientas de investigación entre las cuales se encuentran la observación del proceso, la utilización de una investigación documental y bibliográfica, entrevistas con los clientes y personal operativo, reuniones técnicas con grupos de expertos del proceso operativo, técnicos, administrativos y grupos directivos y accionistas, y por último estudio de casos de éxito. Los resultados finales, como se podrá observar a lo largo de la presente investigación, son un conjunto de propuestas para mejorar el proceso y cumplir con los estándares de producción. Algunas de las propuestas son: adaptación de un rodillo de cerdas de polipropileno qué permita la limpieza previa al proceso de

nivelado, inyección de aire de instrumentos previos a la entrada al nivelador para retirar el polvo de las placas de acero y así preservar el tiempo de vida útil de la máquina de nivelado y reducir el tiempo de paros no programados.

Palabras clave
Metalurgia, Optimización, Nivelado, Productividad, Calidad.

1. Introducción

México es el 15 productor a nivel mundial del acero mundial, ya que en el año 2018 se produjo una cifre récord de 20.4 millones de toneladas liquidas y 19.6 millones de toneladas de acero terminado y a pesar que en el año 2020 hubo una reducción en la producción debido a la pandemia mundial y el cierre de mucho mercado comercial, se produjeron aproximadamente 16.8 millones de toneladas líquidas y 14.4 millones de toneladas de acero terminado, de los cuales se exportaron 3.2 millones de toneladas y se estima que el 65% de la exportación fue a EUA; después se exporto el 9.7% a Colombia, y el 3.7% a Canadá; esto representa una de las industrias más rentables y de crecimiento en México (Vallejo, J. 2005). En el proceso de nivelado de acero se pierde producto de acero por marcas y daño en el proceso, entre el daño provocado por mencionar alguno se puede citar el daño por flejes, por contacto con superficies de metal con metal, daños de origen, entre otros. En el proceso de nivelado por día se llegan a procesar cerca de 16 rollos de acero con un peso aproximado de 17 toneladas cada uno, estimándose que se procesan 280 toneladas de acero por día, de los cuales cerca de 0.5 toneladas procesadas se dañan, lo que produce una pérdida de 8 toneladas de acero de primera calidad, lo cual representa una pérdida económica importante, que se busca disminuir con técnicas que permitan, eliminar los daños ocasionados a las placas. Estas técnicas van desde la limpieza mecánica, física, hasta limpieza químicas y lo que se busca es proponer una reingeniería que utilice las instalaciones existentes con el menor costo posible de instalación y que el proceso se agilice.

Planteamiento del problema o identificación de una oportunidad de mejora continua. En el proceso de maquinado del acero se pueden encontrar diferentes daños a las placas como: poros, defectos de producción, corrosión, etc. Esta merma de material representa de 1 a 2 placas del rollo al principio y/o final del proceso con un peso aproximado de 300 a 600 kilogramos, lo que al promedio por día se puede cortar y nivelar cerca de 20 a 25 rollos, lo que se traduce en una pérdida aproximada de 10 toneladas por día. Se busca proponer un proyecto que este diseñado para una reingeniería la cual optimice el proceso de nivelado de acero. (García, G. 2022).

Justificación. Las mermas de productos por cada rollo son de aproximadamente de 0.5 toneladas, lo cual por día es aproximadamente de 8 toneladas y cerca 2000 toneladas por año, por dicha razón económica es necesario la optimización del proceso de nivelado de acero, proponiendo técnicas que permitan la rectificación del material para retirar las marcas en las placas de producto terminado, permitiendo maximizar la producción.

Explicación teórica y justificación del modelo utilizado para el desarrollo del proyecto o de la intervención. El proceso de nivelado de acero comienza en la logística de transporte de rollos de acero, provenientes de los clientes que solicitan la maquinación de sus rollos en las instalaciones. Una vez en la planta se pesan los rollos para tener un control del acero en peso y calidad del mismo, se almacena dentro de las naves para su posterior proceso de maquinado. Los rollos son insertados en la niveladora de ½", se retiran los flejes para evitar marcas al ser instalados en el proceso, se verifica la trazabilidad del producto con las etiquetas que indican cual es el número de rollo, sus dimensiones y la calidad del mismo, pasa a través de rodillos transportadores y niveladora y finalmente pasa a una guillotina que corta el acero en frio. A lo largo del proceso, desde la fabricación, transporte y manejo del acero puede sufrir daños, marcas, oxidación, exposición al sol o la lluvia; esto es causante de que la calidad pueda disminuir y no cumpla los estándares para los cuales son requeridos para la fabricación de vehículos, herramientas y productos diversos.
Los daños más comunes son las marcas, poros, descuadres, dimensiones fuera de especificación (espesor, ancho o largo). Por esta razón se requiere implementar y minimizar los factores que alteren la calidad del producto, y para ello se busca proponer la implementación de seguimiento al material, cámaras de video, un sistema de limpieza mecánica, identificar las partes del proceso donde las láminas se dañen por contacto, por rozamiento o choque directo.

2. Antecedentes

2.1 Proceso de laminado

La metalurgia mecánica es la parte de la metalurgia que se ocupa, principalmente de la respuesta de los metales frente a las fuerzas o cargas que se les aplican en un momento dado. Los metales en la tecnología moderna son de suma importancia económica, esto a la factibilidad que se le da en formas útiles. Existen diversos procesos para el trabajo de los metales que sirven en funciones específicas a los cuales la metalurgia mecánica los agrupa como proceso de conformación, que a su vez pueden ser clasificados en base a las formas en cómo se aplican las fuerzas de conformación, y estas son:
Procesos de comprensión directa.
Procesos de comprensión indirecta.
Procesos de tracción.
Procesos de plegado o flexión.
Procesos de cizallamiento.

En los procesos de comprensión directa, la fuerza se aplica a la superficie de la pieza de metal que se trabaja y este fluye formando un ángulo recto con la dirección de la comprensión. Los ejemplos más representativos de estos procesos son la forja y la laminación, la cual se utiliza en el caso de estudio.

Podemos decir que la comprensión directa es el proceso de conformado de los metales por comprensión directa. Este proceso es efectuado al hacer pasar a la pieza de metal entre dos rodillos
(cilíndricos) que giran uno en sentido contrario al otro, y durante el cual se deben de dar los fenómenos de reducción del espesor, alargamiento longitudinal y ensanchamiento lateral de la pieza que se trabaja. La diferencia entre la forja y este proceso es que es continuo y que en este proceso se debe pasar por rodillos. La laminación se produce con por lo menos dos rodillos para que este proceso se efectúe. Estos rodillos necesariamente deben de estar soportados o instalados en alguna especie de armazón con la suficiente resistencia para soportar las cargas del proceso, que suelen ser bastantes grandes, en algunos casos hasta de miles de toneladas. Se sobreentiende que dicho armazón deberá de ser sumamente robusto y resistente, la cual funcionará en conjunto con los rodillos como si fuera de una sola pieza. En el proceso de nivelación del metal se comprobó que entre mayor sea el número de rodillos mayor será la eficiencia el proceso del nivelado (Silva, D. 2012).

2.2 Comprensión plana.

Este método de deformación predomina en los molinos de laminación. En la comprensión plana, la mayor parte de las reducciones es en altura que se logra en la pieza de trabajo. Se traduce en la elongación en dirección, por lo cual el ensanchamiento en las direcciones laterales se considera despreciable. Tenemos el ejemplo de una sección rectangular de una pieza de trabajo, la cual posee una altura "y" y una longitud "I", y se toma un elemento de volumen de longitud infinitesim
al "dx" y altura "y", el cual está sometido a una presión "p" aplicada sobre su superficie, de tal manera que la fuerza ejercida en el elemento de volumen es p dx. (Figura 1), de lo cual la fuerza de fricción, Fx producto del contacto entre las dos superficies con coeficiente de fricción μ ecuación (Balboa, S. (2000).
La presión horizontal ejercida en el elemento es q, de uno de los lados del elemento, en tanto que del otro lado es, q + dp, como se muestra en la Figura 1. Si se hace un balance de fuerzas en la dirección x, de tal manera que, obtenemos la ecuación 2, resultando la ecuación 3 y sustituyendo se obtiene la ecuación 4 y 5.

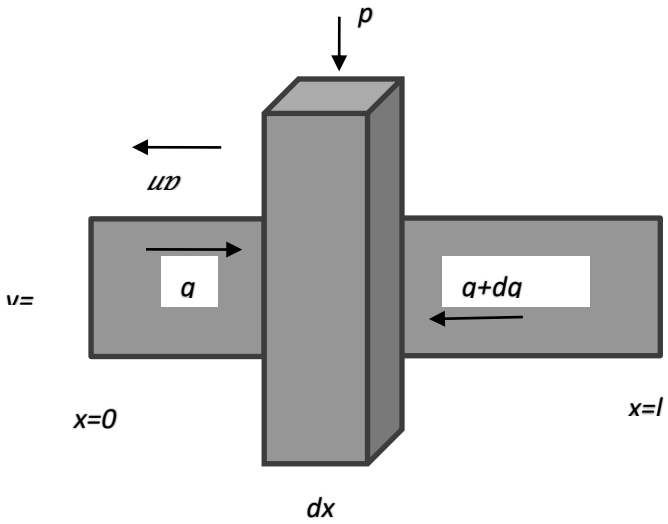


Figura 1. Fuerzas de fricción.

Las condiciones plásticas de los metales (Figura 2) indican que la comprensión de la pieza necesita una fuerza vertical igual a k para poder comprimirla en el modo de deformación plana, además si una fuerza vertical q se aplica, la fuerza total de comprensión estaría dada por las ecuaciones 6, 7, sustituyendo ecuación 8 y desarrollando ecuación 9.

Con la condición de frontera se tiene que p = k, en el borde de la pieza. Si se grafica p como función de x desde uno de los bordes de la pieza, por razones de simetría se alcanza un máximo a la mitad de la longitud y el valor de la presión ejercida este dado por la ecuación 10. (Silva, D. 2012)

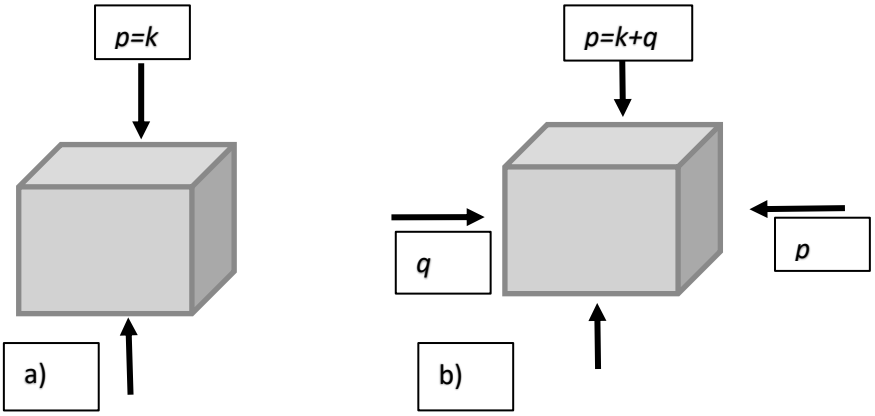


Figura 2. Condición de plasticidad para elementos en comprensión plana.

2.3 Descripción del proceso de nivelado.

El Proceso de nivelado inicia en el proceso desde la llegada de rollos que provienen de los clientes de fundiciones y de maquilas, (Ternimun, AHMSA, Villacero, entre otros) por medio de trazabilidad y de acuerdo a la calidad del mismo metal se pesan a su llegada y se clasifican en el almacén dentro de la nave industrial, una vez debidamente requerido se programa a su proceso de nivelado, donde entra en la maquina dobladora, por medio de conos concéntricos, donde el operador de entrada don ayuda del gruista seleccionan el rollo que entrara al proceso, una vez en el carro se procede a meter en los conos concéntricos por medio de herramientas neumáticas ya que los rollos pesa en promedio cerca de 30 toneladas cada uno, entran al proceso (Figuras 3 y 4) llegando al área de nivelado, donde por medio de fuerza mecánica neumática, los gatos hidráulicos nivelan el metal con las ecuaciones descritas en "la comprensión plana", sale de los niveladores (Figura 5), y pasa por mesas donde llega al área de corte de una guillotina diseñada para cortar placa de hasta ¾", (Figura 6), se realizan pruebas de calidad al material tales como milímetros de nivelación y revisión visual y física del material. (Figuras 7 y 8). Aquí termina el proceso de manufactura del doblado y nivelado del metal. (Garcia, G. 2022)

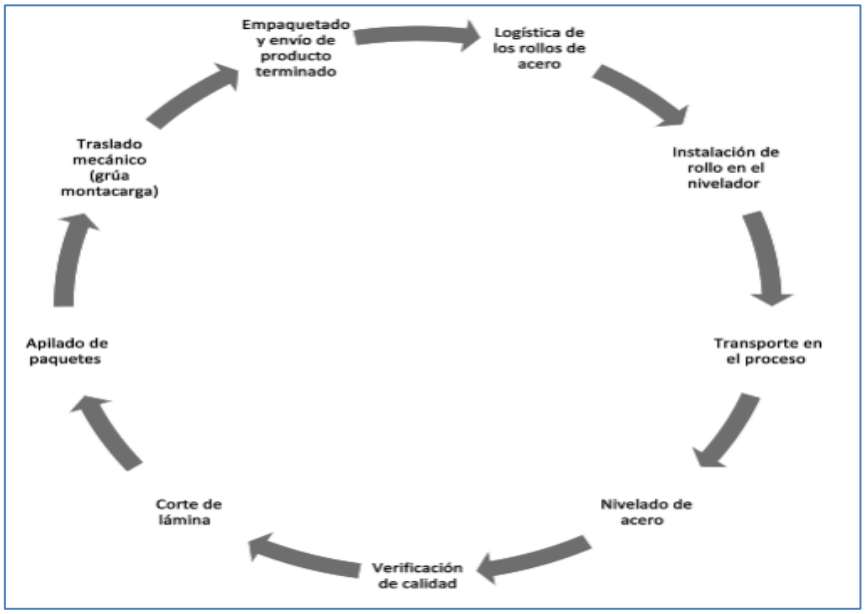


Figura 3.- Diagrama del proceso, maquilado de acero.



Figura 4.- Instalación de rollos en proceso de nivelado.



Figura 5. Área de nivelado de acero. Área de nivelado del metal, rodillos de nivelado.



Figura 6. Área del proceso donde puede dañarse las placas de acero. Zona de contacto con la guillotina o cizaña



Figura 7. Prueba de nivelación verificación visual.



Figura 8. Calidad de nivelación. Medición de nivelación en milímetros.

Ecuaciones

1. $F_x = \mu p dx$
2. $\sum F_x = 0$
3. $2F_x = ydp$
4. $F_x = \mu p dx$
5. $2\mu p dx = ydq$
6. $p = q + k$
7. $q = p - k$
8. $\frac{dp}{p} = 2u \frac{dx}{y}$
9. $p = k\, e^{\frac{2ux}{y}}$
10. $p = k\, e^{\frac{2u(1-x)}{y}}$

2.4 Identificación del Grado de Oxidación y de la limpieza.

Antes de tomar cualquier decisión para solucionar el proceso de nivelado de metal, debemos identificar las técnicas existentes y su viabilidad al proceso con el menor costo y con el mayor aprovechamiento posible. Algunos autores buscan una eficiencia del 70% en sistemas de recubrimientos (Balboa, 2000).

La limpieza ayuda a la correcta adhesión y manejo del producto terminado, soldadura, pintura, etc., y se busca eliminar el polvo, aceites, grasas, escamas de laminación, óxido, humedad, pintura vieja, cualquier clase de contaminante presente en las superficies.

Existen diferentes métodos de preparación de superficies y la selección del mismo es parte integral de la especificación de cualquier proceso posterior al nivelado del metal. La Tabla 1. muestra la clasificación del grado de limpieza según normas internacionales.

Tabla 1. Algunos tipos de limpieza según normas internacionales.

Tipo de limpieza	SSPC	NACE	SIS
Limpieza con solventes	SSPC-1		
Limpieza con herramienta manual	SSPC-2		
Limpieza con herramienta mecánica	SSPC-3		B, C Y D
Limpieza de acero nuevo a la llama	SSPC-4		
Limpieza con abrasivo a metal blanco	SSPC-5	No.1	A, B, C y D
Limpieza con abrasivo a grado comercial	SSPC-6	No.3	A, B, C y D
Limpieza con abrasivo a ráfaga	SSPC-7	No.4	B, C y D
Limpieza con ácidos	SSPC-8		
Exposición a la intemperie y chorreado	SSPC-9		B, C y D
Limpieza con abrasivo a metal casi blanco	SSPC-10	No.2	A, B, C y D

3. Resultados y Conclusiones

La solución propuesta es el método de limpieza por rodillo y limpieza por aire de instrumentos, en la posición previa a la entrada del nivelador, siendo la mejor posición de instalación de boquillas de aire de instrumento para la limpieza de óxido, lo cual permite que el nivelador se mantenga limpio y que el producto pueda estar limpio previamente a la limpieza con rodillo de polipropileno de alta densidad, o metálico con poca invasión al producto terminado. La posición recomendable de instalación es a la salida de los dos niveladores ya que corren menos el riesgo de un golpe y que los rodillos pueden sufrir un daño y en el proceso tiene espació de adaptar los rodillos, también se recomienda retirar la guillotina que se encuentra al principio del proceso en el área donde se alimenta el proceso con el rollo sin nivelar, ya que esta cuchilla nunca se usa y es un punto de continuo choque dañando el material. (Garcia, G. 2022)

Derivado del estudio y de la observación, se propone el retiro de areas de impacto tales como cizaña obsolete a la entrada el proceso (figura 6), colocar rodillo limpiador (figura 9) donde se retire la cizalla.

Colocación de Boquillas de limpieza por aire de instrumentos en los niveladores de manera continua a intermitente esto para aumentar el tiempo de vida útil de los componentes de doblado de metal (gatos hidráulicos, baleros y lagartos mecánicos, Figura 10).

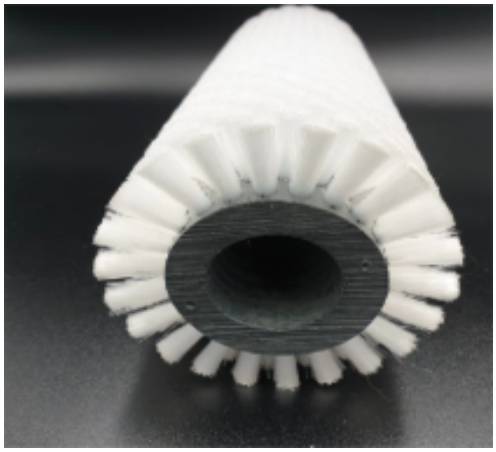


Figura 9. Rodillos a las medidas requeridas por el proceso hechos a la medida, de propileno y/o metálicos, adecuados a las necesidades de cada proceso.

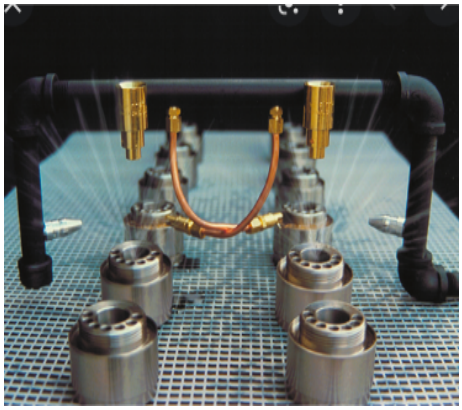


Figura 10. Boquillas para limpieza neumática de metales descripción grafica de la limpieza de las placas para disminuir el óxido de entrada al área de nivelado.

4. Agradecimiento

Agradezco a la Universidad Internacional Iberoamericana, México y la Compañía Plesa Steel y a sus inversionistas.

5. Referencias

Balboa, S. (2000). *Principios y procedimientos para la aplicación de recubrimientos industriales en la construcción* [Tesis de licenciatura, Universidad de Sonora]. Repositorio Institucional de la Universidad de Sonora. http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11596/Capitulo7.pdf

Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito". (2011). *Laminado protocolo.* https://escuelaing.s3.amazonaws.com/staging/documents/7885_laminacion.pdf

Euro Inox. (2004). *Decapado y pasivo del acero inoxidable*. The European Stainless Steel. https://www.worldstainless.org/files/issf/nonimagefiles/pdf/euro_inox/passivating_pickling_sp.pdf

Euro Inox. (2006). *Los acabados mecánicos de las superficies decorativas de acero inoxidable*. The European Stainless Steel. https://www.worldstainless.org/files/issf/non-image-files/pdf/euro_inox/mechanicalfinishing_sp.pdf

Fancubierta, F. (2015). *Estudio comparativo con E.F. de las formas de fuerza en laminación en frío* [Tesis de licenciatura, Universidad de Sevilla]. Repositorio institucional de la Universidad de Sevilla. https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/60286/fichero/PFC_Final.pdf

Garcia, G. (2022). *Optimizar el proceso del nivelado de placas de acero, utilizando herramientas de reingeniería, proponiendo la instalación de material rectificador de marcas, en maquiladora de Apodaca, Nuevo León*

[Tesis de maestría, Universidad Internacional Iberoamericana]. Repositorio interno, UNINI, México.

Garza, N. (2003). *Caracterización microestructural y superficial de aceros laminados en caliente y en frío* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Core Ac. https://core.ac.uk/download/pdf/76591715.pdf

León, U. (2010). *Protección contra la corrosión del acero inoxidable 304 a base de recubrimientos de Poli(3-octiltiofeno)* [Tesis doctoral, Centro de Investigación en Materiales Avanzados]. Repositorio institucional CIMAV.

López, R. (2010). *Evaluación de recubrimientos orgánicos por métodos potenciostáticos* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Autónoma de México. https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000657630

Servín, R. (1999). *Caracterización y análisis de rodillos de laminación en caliente y frío* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Nuevo León. http://eprints.uanl.mx/7593/1/1020130057.PDF

Silva, D. (2012). *Laminación en caliente y en frío de aceros Al Silicio para aplicaciones eléctricas* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio institucional de la Universidad Autónoma de Nuevo León. http://eprints.uanl.mx/3299/1/1080224682.pdf

Vallejo, J. (2005). *Conocimiento y prevención de la corrosión* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional de la Universidad de San Carlos de Guatemala. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0513_M.pdf

Secretaría de Economía. (2020). *Anuario estadístico de la minería mexicana, 2020*. Gobierno de México. https://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2020_Edicion_2021.pdf