

## RESISTENCIA AL DESGASTE EN DEPÓSITOS DE SOLDADURA CON ALTO CONTENIDO DE Cr SOBRE UN ACERO ASTM A128

WEAR RESISTANCE IN HIGH Cr CONTENT WELD DEPOSITS ON ASTM A128 STEEL

Fecha de Recepción : 30/11/2021  
Fecha de Aprobación : 10/12/2021  
Fecha de Publicación : 06/06/2022

DOI: <https://doi.org/10.26495/icti.v9i1.2167>

 Emilio Bautista Rodríguez<sup>1</sup>

 Enrique Alejandro López Baltazar<sup>2</sup>

 Cecilio Jesús Martínez González<sup>3</sup>

 Francisco Alvarado Hernández<sup>4</sup>

 Víctor Hugo Baltazar Hernández<sup>5</sup>



### Resumen

En la minería se utiliza el proceso de trituración de mineral, en este proceso algunos elementos de máquina sufren desgaste, estos componentes como martillos y conos trituradores son fabricados de acero Hadfield (ASTM A128) con el 12% al 14% de Mn. El desgaste ocurre cuando estos elementos de máquina tienen contacto directo con partículas abrasivas, debido a esto, y al costo elevado de compra, la recuperación de estas piezas es fundamental, para ello se utiliza el proceso de soldadura SMAW (Shield Metal Arc Welding) para la recuperación a través de depósitos de soldadura mediante electrodos con medio y alto contenido de Cr. En esta investigación se evalúa la microestructura, microdureza y el desgaste por abrasión bajo la norma ASTM G65 de cinco tipos de electrodos comerciales depositados en el acero ASTM A128. Se observó que la cantidad de Cr en el depósito tiene efecto en la cantidad de carburos, donde un aumento de carburos de Cr puede repercutir negativamente en el desgaste abrasivo. La microdureza tiene injerencia en la resistencia al desgaste abrasivo de manera opuesta a lo esperado, donde menor cantidad de carburos presentan una pérdida de masa mínima de material con respecto al acero ASTM A128.

**Palabras Clave:** ASTM A128, desgaste, SMAW, electrodos de Cr, ASTM G65.

### Abstract

Austenitic Mn Hadfield (ASTM A128) steel is employed in components such as cone crushers for obtaining gravel, recently the mining sector is looking for minimizing and controlling wear rates. Components subjected to abrasion wear after a period of time would need to be refurbished. Shielded Metal Arc Welding (SMAW) is a method for repairing those components. In this research five electrode rods have been utilized: medium Cr and high Cr base. This study aims on evaluating the effect of the microstructure and microhardness of five weld deposits are also evaluated, on the other hand, abrasive wear standard test method ASTM G65 is employed to evaluate the five weld deposits. The resistance to abrasive wear was influenced by the amount of carbides M3C and M7C type and microhardness on deposits.

**Keywords:** ASTM A128, wear, SMAW, Cr electrodes, ASTM G65.

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería de los Materiales, Universidad Autónoma de Zacatecas, México, emilio.bautista@uaz.edu.mx

<sup>2</sup> Escuela de Ingeniería de los Materiales, Universidad Autónoma de Zacatecas, México, calopezb@uaz.edu.mx

<sup>3</sup> Escuela de Ingeniería de los Materiales, Universidad Autónoma de Zacatecas, México, cecilio.jmartinezg@uaz.edu.mx

<sup>4</sup> Escuela de Ingeniería de los Materiales, Universidad Autónoma de Zacatecas, México, ingenierofah@uaz.edu.mx

<sup>5</sup> Escuela de Ingeniería de los Materiales, Universidad Autónoma de Zacatecas, México, victor.baltazar@uaz.edu.mx

## 1. Introducción

La principal propiedad mecánica de los aceros Hadfield (ASTM A128) es su gran resistencia al desgaste el cual se le atribuye a un endurecimiento por deformación (Higuera et al., 2007; Giraldo & Valencia, 1940; Mauricio et al., 2010). En el sector minero, el desgaste en conos de trituración representa grandes pérdidas económicas debido a los altos costos de reparación o reposición de estos componentes. Para disminuir el desgaste de estos elementos es necesario realizar el revestimiento de la superficie que se encuentra en constante desgaste por medio de material de aporte mediante el proceso de soldadura SMAW con electrodos con alto contenido de Cr, para aumentar la resistencia a partículas abrasivas, y lograr la recuperación de estos componentes para su posterior reingreso a las máquinas trituradoras. La presencia de alto porcentaje de Cr en los depósitos realizados mediante el proceso SMAW, sobre el acero ASTM A128, aumentará la dureza y mejorará la resistencia al desgaste por partícula abrasiva.

El objetivo de esta investigación se enfoca en estudiar el comportamiento a la resistencia al desgaste por partícula abrasiva de depósitos de soldadura sobre un acero al manganeso tipo ASTM A128, con el uso de diferentes electrodos con alto contenido de Cr.

## 2. Material y métodos

Para la aplicación de los depósitos de soldadura sobre el ASTM A128 se utilizó el proceso de soldadura SMAW utilizando polaridad de CD+, 125 A y una velocidad de avance de 3.8 mm/s aproximadamente. Los electrodos comerciales elegidos se muestran en la tabla 1, la elección de estos electrodos se dio con base a los elementos presentes en la composición química, la cual es proporcionada por el fabricante. Como primer paso, se estudian las reglas y requisitos de operación, con el objetivo de determinar el tamaño de la aeronave y requisitos para su operación, principalmente.

### Figura 1

*Electrodos a evaluar*

Muestra	Electrodo
M1	Wearshield 44
M2	UTP 711 B
M3	AMTEC 60
M4	AMTEC 63
M5	Wearshield 60

Nota: El diámetro de los electrodos fue de 3.175 mm.

El proceso de soldadura SMAW consistió en aplicar un solo cordón de soldadura con cada uno de los electrodos en el ASTM A128, una vez realizado este procedimiento se continuó a sumergir las muestras en un contenedor de agua inmediatamente a una temperatura de 25°C, esto con el fin de evitar agrietamientos en el depósito de soldadura

El desgaste en los depósitos de soldadura se llevó a cabo en una máquina de desgaste abrasivo por chorro de arena, esta máquina se muestra en la figura 1, es una máquina construida con base a la norma ASTM G65 para desgaste por partícula, la cual utiliza arena sílice como medio abrasivo para la ejecución de las pruebas. Los parámetros utilizados fueron, 200 rpm, con un tiempo de permanencia de 30 min, para completar 6000 revoluciones, las cuales son requeridas para cada ensayo, con un flujo de arena de 300 a 400 g/min (ASTM International, 2013).

### Figura 1

*Máquina de desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G65*



Para revelar la microestructura de las uniones se sometieron a la técnica de desbaste y pulido, finalmente se efectuó un ataque químico compuesto de 5 g de  $\text{FeCl}_3$ , HCl 50 ml y 100 ml de agua. Las pruebas de microdureza se efectuaron con un microdurómetro modelo HMV-2T con una carga de 300 g durante 15 s y una separación entre indentación de 200  $\mu\text{m}$ . La medición de pérdida de masa para cada depósito, se realizó previamente y una vez realizada la prueba de desgaste mediante una balanza electrónica Ve-1000 Marca Velab, la cual tiene una máxima carga de 1000 g.

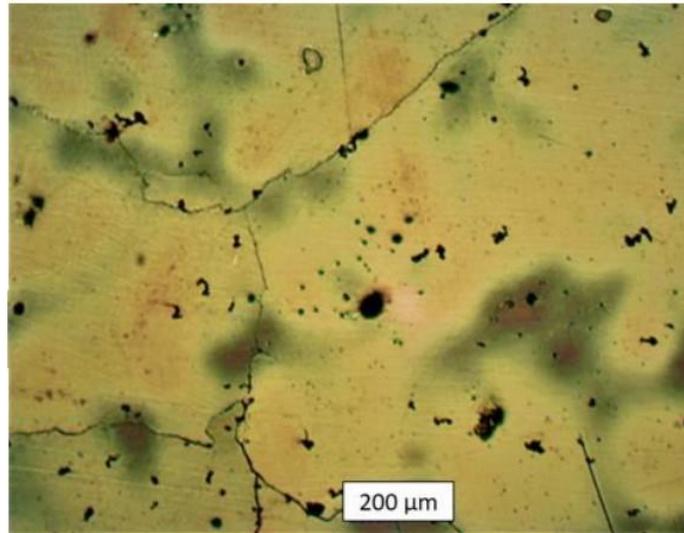
Para obtener el porcentaje de carburos que están presentes en cada una de las muestras, se utilizó un software denominado Imagen-Pro Plus, en el cual se midió el área aproximada de los carburos observados en las fotomicrografías. El área analizada fue sumada en su totalidad y de esta manera se calculó el porcentaje de carburos.

### 3. Resultados

La microestructura del acero al Mn se puede observar en la figura 2, esta microestructura es la típica de un acero austenítico, en la cual se observan carburos presumiblemente del tipo  $\text{M}_3\text{C}$  y  $\text{M}_7\text{C}_3$  en los límites de grano (Sevilla et al., 2004).

#### Figura 2

*Microestructura típica del acero al manganeso ASTM A128*

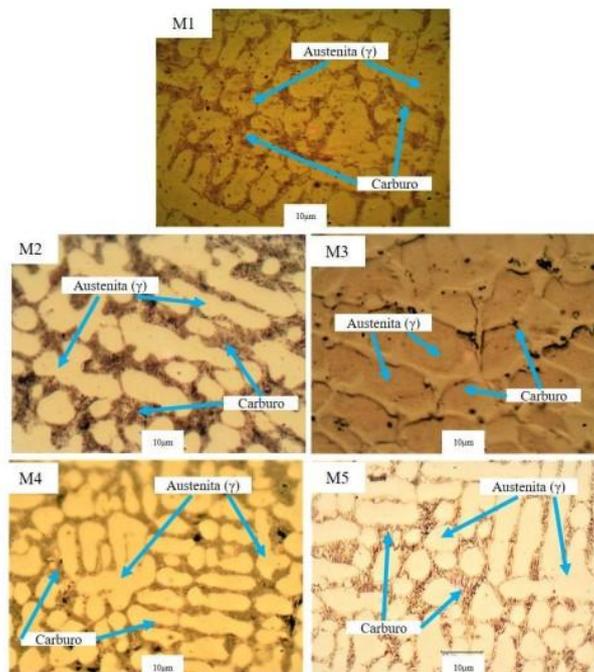


Los depósitos de soldadura revelaron una microestructura semejante en todas las muestras (ver figura 3), con una fase mayoritariamente austenítica y un crecimiento de grano dendrítico a causa del temple, el cual fue realizado posterior al proceso de soldadura (Higuera et al., 2007; Evans, 1986). También se observa la presencia de carburos, los cuales probablemente correspondan a carburos de Cr. Para el caso de la M3 se observó que los carburos están presentes en menor medida, ya que son diminutos y dispersos, esta muestra reveló un menor contenido de carburos con respecto a las otras muestras, en el caso de las muestras M2, M4 y M5, son las que presentan una mayor cantidad de carburos, en la muestra M1 también observó la presencia considerable de carburos y un crecimiento de grano dendrítico (Reyna et al., 2008; Baltazar et al., 2017).

Microestructura de las muestras analizadas obtenidas por microscopía óptica a 1000x

### Figura 3

*Microestructura de las muestras analizadas obtenidas por microscopía óptica a 1000x. M1 (Wearshield 44), M2 (UTP 711 B), M3 (AMTEC 60), M4 (AMTEC 63), M5 (Wearshield 60)*



La medición del porcentaje de carburos es un gran aspecto a evaluar debido a la relevancia que tienen estos al ser sometidos a desgaste abrasivo, los carburos tienden a disminuir la tasa de desgaste según su proporción, aunado a la matriz, que en conjunto conforman la microestructura de los depósitos de soldadura (Giraldo & Valencia, 1940).

Los carburos de Cr tienen buena resistencia al desgaste debido a su dureza y morfología, sin embargo, un aumento considerable de estos puede repercutir negativamente en el desgaste, estos carburos pudieran aumentar la dureza de la muestra que está siendo analizada y provocar que el mecanismo de desgaste sea por fisura, este tipo de desgaste es considerado el que tiene mayor remoción de material (Giraldo & Valencia, 1940; Del Río López et al, 2016).

El área analizada, así como el porcentaje que se obtuvo de los carburos por muestra se presentan en la tabla 2, los valores que corresponden al área de los carburos están expresados en  $\mu\text{m}^2$

**Tabla 2**

*Área de los carburos por muestra y porcentaje de carburos. M1 (wearshield 44), M2 (UTP 711B), M3 (AMTEC 60), M4 (AMTEC 63), M5 (WEARSHIELD 60)*

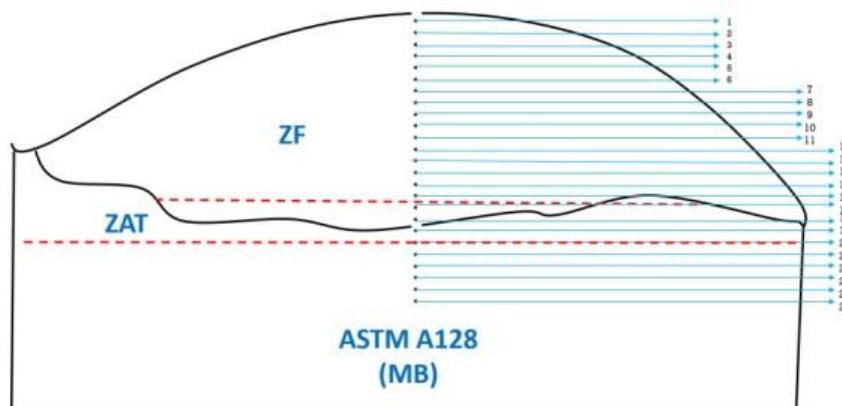
	Área total $\mu\text{m}^2$	Área carburos $\mu\text{m}^2$	% de carburo
M1	3,807.930	1310.410	34.41
M2	3,499.158	1329.808	38.0
M3	3,342.225	205.872	6.15
M4	3,473.086	1444.130	41.58
M5	3,630.137	1571.488	43.29

Con respecto a la evaluación de la microdureza, en la figura 4 se observa un esquema de las indentaciones realizadas a los depósitos donde la muestra M1 presenta una microdureza en la zona de fusión (ZF) que oscila entre 450 y 400 HV, en algunos casos con valores por debajo de 400 HV, también se observa una ligera caída de dureza hacia la última sección de la ZF. La muestra M2 tiene una variación significativa en sus valores de microdureza registrados en la ZF, algunas indentaciones oscilan entre 300 y 400 HV, la microdureza promedio de esta muestra es de 325.16 HV. La M3 muestra una disminución en la dureza con respecto a los ejemplares anteriores, el promedio es de 225 HV en la ZF, sin embargo, al final de esta región existe un ligero incremento en sus valores, cerca de la ZAT (Zona Afectada Térmicamente). Esta muestra tiene una estructura mayormente austenítica ( $\gamma$ ), a lo que se puede atribuir los valores registrados, cabe mencionar que la microdureza en esta muestra es uniforme en las tres regiones del depósito de soldadura.

En la muestra M4 existe una oscilación considerable en los valores registrados de microdureza, posiblemente por la cantidad de carburos, los cuales pertenecen al tipo M7C3, también es posible observar el aumento de microdureza en la sección final de esta zona, finalmente, en la muestra M5, se obtuvieron los valores más altos de microdureza, este comportamiento se debe probablemente a la cantidad de carburos del tipo M7C3 y al tamaño de grano de la austenita ( $\gamma$ ) en el depósito, el cual se reduce considerablemente en comparación a las otras muestras analizadas mediante microscopía óptica (ver figura 3). Esta muestra presenta una variación de microdureza promediando un valor de 420 HV.

**Figura 4**

*Esquema de las indentaciones realizadas para obtener microdureza*

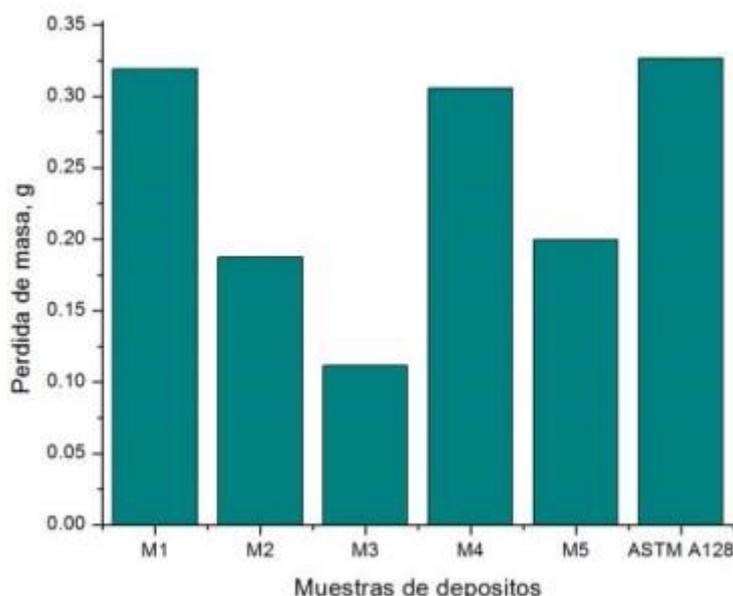


Derivado del ensayo de desgaste por partícula abrasiva realizado bajo la norma ASTM G65, se obtuvieron los resultados de la figura 5, cabe mencionar que para cada condición se evaluaron 3 muestras, en los resultados es posible observar que la muestra M3 es la condición que presenta mayor resistencia al desgaste abrasivo, con una pérdida de masa de apenas 0.11175 g.

La muestra M2 tiene la segunda mejor posición en cuanto a resistencia al desgaste abrasivo refiere, con una pérdida en masa de 0.1874 g, seguida muy de cerca de la muestra M5 con 0.1997 g de masa perdida. Respecto a la muestra M1 y M4, se puede observar que son las de peor desempeño, debido a la considerable pérdida de masa en comparación a la muestra M3, esta pérdida de masa está situada muy cerca del valor obtenido del acero ASTM A128 (Del Río López et al, 2016), para la M1 la pérdida de masa es de 0.3193 g, y en el caso de la M4 la pérdida corresponde a 0.3058g. De acuerdo con los datos obtenidos del desgaste abrasivo por partícula, es evidente que todos los depósitos tienen una mejor resistencia al desgaste al observado en el acero ASTM A128, el cual tiene una pérdida de masa 0.3266 g, este valor es ligeramente superior al obtenido en las muestras M1 y M5. Al hacer un análisis comparativo entre las muestras M3 y el ASTM A128, se puede observar que este último tiene un desgaste aproximadamente 3 veces superior

**Figura 5**

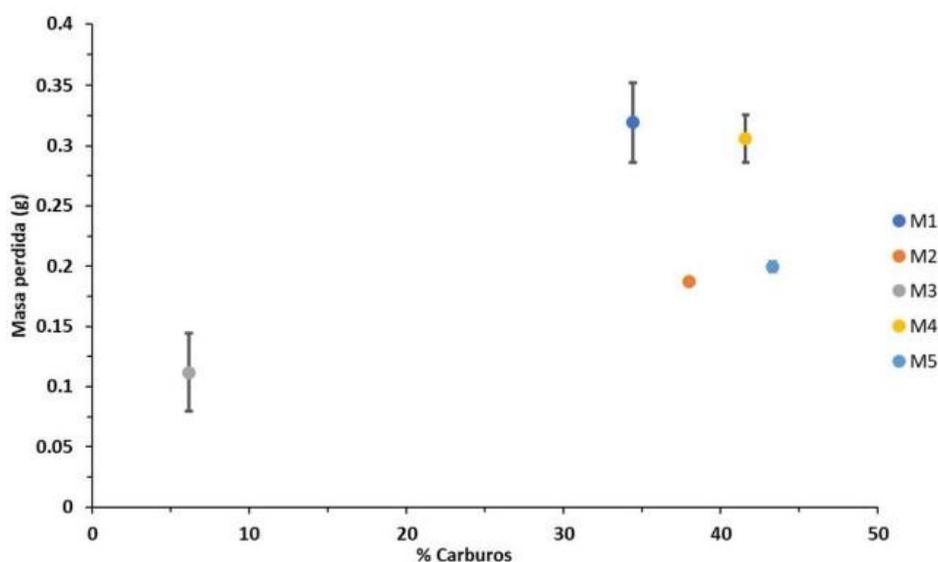
*Pérdida de masa de los depósitos analizados bajo la norma ASTM G65*



El comportamiento en relación a la masa perdida y el porcentaje de carburos observado en la gráfica de la figura 6, toma gran relevancia ya que los carburos tienen injerencia en la resistencia al desgaste, estos limitan el daño debido a su dureza y morfología ya que soportan y disipan mejor la energía de las partículas abrasivas (Akinay & Hayat, 2014). Los carburos pueden tener ser negativos en el desgaste según su proporción, los depósitos con mayor contenido de carburos pueden tener una baja resistencia al desgaste abrasivo por su alta dureza y baja tenacidad (Gahr, 1987; R.C. Adams, 2001), haciendo posible el mecanismo por microfisura, el cual pudiera remover material en gran cantidad (Gahr, 1987). La muestra M3 contiene un porcentaje de carburos reducido, este es apenas del 6.1597 %, que representa además una disminución en la dureza de este ejemplar, esta merma en la cantidad de carburos es el factor por el cual la M3 se posiciona como la mejor opción frente al desgaste abrasivo por partícula. Los carburos que se presentan en las muestras analizadas son del tipo M7C3, este carburo presenta una buena resistencia (Gahr, 1987), y también está presente el carburo Mo2C de acuerdo a estudios de difracción de rayos X.

**Figura 6**

*Influencia del porcentaje de carburos sobre la masa perdida de los depósitos*



#### 4. Conclusiones

Los resultados indican que la cantidad de Cr en el depósito sobre un acero ASTM A128 mediante el proceso SMAW, tendrá efecto en la cantidad de carburos presentes en la microestructura, donde un aumento de carburos de Cr puede repercutir negativamente en el desgaste abrasivo por partícula.

La microdureza tiene injerencia en la resistencia al desgaste abrasivo de manera opuesta a lo esperado, debido a que los registros obtenidos sugieren que a menor cantidad de carburos se disminuye la dureza, generando así una mejor resistencia al desgaste abrasivo debido a su tenacidad.

Los depósitos con menor cantidad de carburos presentan una pérdida de masa mínima de material con respecto al acero ASTM A128, donde la pérdida de masa se presenta por un mecanismo de desgaste por microcorte y microarado.

## 5. Referencias

- Higuera, O. F., Trisancho, J. L., & Florez, L. C. (2007). Fundamentos teóricos de los aceros auténticos al manganeso (aceros hadfield). *Scientia El Technica* Año XIII, 34(34), 231–236.
- Del Río López, B., García Diez, A., Varela Lafuente, A., & Mier Buenhombre, J. L. (2016). Comportamiento frente al desgaste abrasivo de aceros tipo Hadfield de contenido medio en manganeso – *Metalmecánica*, <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/149287-Comportamiento-frente-desgaste-abrasivo-aceros-tipo-Hadfield-contenido-mediomanganeso.html>
- Giraldo, & Valencia, A. (1940). El Acero Hadfield Revisitados. *Revista Colombiana de Materiales* N.3. Pp. 1 - 24, 53, 1–23.
- Mauricio, C., Téllez, M., Adriana, B., & Tovar, S. (2010). Al Manganeso Sometido a Tratamiento Térmico Steel Submitted To Thermal Treatments. 9(17), 195–206.
- ASTM International. (2013). G65-16: Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand / Rubber Wheel. *ASTM Standards*, 04(Reapproved 2010), 1–12. <https://doi.org/10.1520/G0065-04R10.2>
- Gutiérrez Estrada, J., Mesa Grajales, D., Toro Betancur, A., & León Sevilla, L. (2004). Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en recubrimientos duros para aplicaciones en la industria minera. *Scientia et Technica*, 2(25), 149–154. <https://doi.org/10.22517/23447214.7217>
- Evans, G. M. (1986). EFFECT OF STRESS RELIEVING ON THE MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF C-Mn ALL-WELD METAL DEPOSITS. *Welding Journal* (Miami, Fla), 65(12).
- Reyna, E. C., Juan, J., Espinosa, C., Galicia, R. O., & Marañón, I. R. (2008). “COMPORTAMIENTO DE LA RESITENCIA A LA TENSION DE LA ZAC DE UN ACERO DE ALTO MANGANESO POR LA PRESENCIA DE DISCONTINUIDADES INTERCRISTALINAS”.
- Chintha, A. R. (2019). Metallurgical aspects of steels designed to resist abrasion, and impactabrasion wear. *Materials Science and Technology* (United Kingdom), 35(10), 1133–1148. <https://doi.org/10.1080/02670836.2019.1615669>
- Baltazar, L., Alejandro, E., Hernández, A., Ruiz, M., Simitrio, I., Ibarra, L., Hernández, B., & Hugo, V. (2017). “Recubrimiento de cono quebrador de mineral mediante el proceso de soldadura.
- Akinay, Y., & Hayat, F. (2014). Effect of the heat treatment on mechanical properties of Fe – Mn – C high manganese steel. *Proceedings of the International Conference on Mining, Material and Metallurgical Engineering*, Prague, Czech Republic, 149, 2–6.
- Gahr, K.-H. Zum. (1987). *Microstructure and wear of materials*. ELSEVIER SCIENCE.
- R.C. Adams. (2001). *The Materials Information Company*. Technology, 2, 3470. [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(03\)90166-8](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(03)90166-8)