







# Increasing Durability: Influence of Hard Coatings on Wear Resistance, Hardness, and Microstructure by the FCAW Process.

Purizaga Fernández, Ismael, Dr.<sup>1</sup>; Aguilar Rodríguez, Luis, Dr.<sup>1</sup>; Vera Alvarado, Jorge, Dr.<sup>1</sup>, Tello De la Cruz, Elmer, Msc.<sup>2</sup>; Vega Anticona, Alexander, Dr.<sup>2</sup>; Castillo Chung, Aldo, Dr.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Metalurgia, Universidad Nacional de Trujillo, Perú; ipurizaga@unitru.edu.pe; laguilar@unitru.edu.pe; jvera@unitru.edu.pe;

<sup>2</sup>Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad Cesar Vallejo, Perú; etello@ucv.edu.pe; avegaa@ucvvirtual.edu.pe

\*corresponding author:

alrocas@unitru.edu.pe

Av. Juan Pablo s/n, Phone 044 633952

*Abstract– The study investigated the influence of hard coating type on abrasive wear resistance, hardness, and microstructure using the FCAW process on AISI5130 low alloy steel, commonly used in mining industry machinery. The relationship between hardness, microstructure, and wear resistance was examined. The wear test was carried out in accordance with ASTM G65. Experimental results obtained from samples measuring 25.476.2x76.2x76.2x12.7 mm indicate that the most effective hardfacing is the one with a microstructure composed of uniformly distributed hexagonal primary carbides of type  $M_7C_3$  in an eutectic matrix, together with primary austenite. The hardness test gave inconclusive results due to the similarity in hardness between two of the three types of hard coatings examined, despite their different levels of abrasive wear resistance. Microstructure was carried out with optical microscopy and SEM. The dilution effect during welding is a contributing element to the differences in the final microconstituents compared to their initial composition, as determined by the Fe-Cr-C ternary phase diagram. The presence of alloying elements, such as Cr, W, Nb, and V, significantly affects the production of primary carbides in the microstructure of wear-resistant phases that are resistant to abrasive wear.*

*Keywords: Resistance, coating, wear, abrasion, FCAW process, welding, hardness, microstructure, carbides.*

# Aumento de la durabilidad: Influencia de los revestimientos duros en la resistencia al desgaste, la dureza y la microestructura mediante el proceso FCAW

Purizaga Fernández, Ismael, Dr.<sup>1</sup>; Aguilar Rodríguez, Luis, Dr.<sup>1</sup>; Vera Alvarado, Jorge, Dr.<sup>1</sup>; Tello De la Cruz, Elmer, Msc.<sup>2</sup>; Vega Anticona, Alexander, Dr.<sup>2</sup>; Castillo Chung, Aldo, Dr.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Metalurgia, Universidad Nacional de Trujillo, Perú; [ipurizaga@unitru.edu.pe](mailto:ipurizaga@unitru.edu.pe); [laguilar@unitru.edu.pe](mailto:laguilar@unitru.edu.pe); [jvera@unitru.edu.pe](mailto:jvera@unitru.edu.pe);

<sup>2</sup>Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad Cesar Vallejo, Perú; [etello@ucv.edu.pe](mailto:etello@ucv.edu.pe); [avegaa@ucvvirtual.edu.pe](mailto:avegaa@ucvvirtual.edu.pe)

\*corresponding author:

[alrocas@unitru.edu.pe](mailto:alrocas@unitru.edu.pe)

Av. Juan Pablo s/n, Phone 044 633952

**Resumen—** El estudio investigó la influencia del tipo de recubrimiento duro sobre la resistencia al desgaste abrasivo, dureza, microestructura usando el proceso FCAW en acero de baja aleación AISI5130, comúnmente utilizado en maquinaria de la industria minera. Se examinó la relación entre la dureza, la microestructura y la resistencia al desgaste. La prueba de desgaste se llevó a cabo de acuerdo con la norma ASTM G65. Los resultados experimentales obtenidos a partir de las muestras que miden 25.476.2x76,2x12.7 mm indican que el revestimiento duro más eficaz es el que tiene una microestructura compuesta de carburos primarios hexagonales distribuidos uniformemente del tipo  $M_7C_3$  en una matriz eutéctica, junto con la austenita primaria. La prueba de dureza dio resultados inconclusos debido a la similitud en dureza entre dos de los tres tipos de revestimientos duros examinados, a pesar de sus diferentes niveles de resistencia al desgaste abrasivo. La microestructura se realizó con microscopía óptica y SEM. El efecto de dilución durante la soldadura es un elemento que contribuye a las diferencias en los microconstituyentes finales en comparación con su composición inicial, como se determina por el diagrama de fase ternario Fe-Cr-C. La presencia de elementos de aleación, como Cr, W, Nb y V, afecta significativamente la producción de carburos primarios en la microestructura de las fases resistentes al desgaste que son resistentes a el desgastamiento abrasivo.

**Palabras clave—** Resistencia, Recubrimiento, desgaste, abrasión, proceso, soldadura, dureza, microestructura, carburos, dilución.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los elementos que entran en contacto con el mineral diseminado en la industria minera enfrentan condiciones severas de desgaste abrasivo. Es esencial que la producción se mantenga tratando de minimizar los costos operativos. En este contexto, la protección preventiva contra el desgaste abrasivo cobra una gran importancia.

De hecho, seleccionar el sistema de Recubrimiento adecuado para el acero depende del mecanismo de desgaste abrasivo presente. Mediante el estudio de las causas del

deterioro, hemos logrado determinar la dureza del mineral, lo que aumenta la complejidad del proceso de desgaste abrasivo en los aceros y su resistencia a la penetración.

El historial térmico del material, al que se desea prevenir el desgaste abrasivo, es otro factor crucial a considerar, ya que afecta directamente la microestructura y la formación de fases duras y blandas que alteran la dureza del acero. La dilución resultante de la soldadura por fusión también altera la composición química y, en consecuencia, las propiedades mecánicas, lo que complica aún más el procedimiento de soldadura.

La exposición del acero AISI513 en condiciones operativas extremas como es la industria minera, conlleva un desgaste abrasivo severo que compromete seriamente su vida útil, lo que a su vez afecta el rendimiento de la máquina y la eficiencia operacional. Como resultado, los costos de producción se ven incrementados.

Se investigaron los efectos de la corriente en la microestructura y las propiedades mecánicas de los depósitos de cara dura. [1,2] El estudio encontró que la corriente influyó significativamente en la microestructura y las propiedades mecánicas de los depósitos. El estudio destaca la importancia de optimizar los parámetros del proceso para lograr la microestructura y las propiedades deseadas de los depósitos de cara dura.

En otro estudio investigaron los efectos del precalentamiento en la microestructura y dureza de los depósitos de cara dura.[3] El estudio encontró que el precalentamiento resultó en una microestructura refinada y una mayor dureza de los depósitos. El estudio enfatiza la importancia del precalentamiento para mejorar la calidad de los depósitos de cara dura.

Además, se han llevado a cabo varios estudios para investigar los efectos de diferentes técnicas de soldadura sobre las propiedades de los depósitos de revestimiento duro.

Los efectos del revestimiento duro con láser en lamicroestructura y la resistencia al desgaste de las superficies. El estudio encontró que el revestimiento duro del láser resultó en una microestructura refinada y una mejor resistencia al desgaste de las superficies. El estudio destaca el potencial del hardfacing láser como una alternativa a las técnicas tradicionales de hardfacing.[4].

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

En otro estudio, se demostró los efectos del procesamiento de agitación por fricción en la microestructura y las propiedades de los depósitos de cara dura. El estudio encontró que el procesamiento de agitación por fricción dio como resultado una microestructura refinada y una mejor dureza y resistencia al desgaste de los depósitos. El estudio enfatiza el potencial del procesamiento por fricción como una nueva técnica de revestimiento duro.[5]

Así mismo se destaca la importancia de la preparación de la superficie para lograr depósitos de alta calidad [6]. Del mismo modo, otro estudio se investigó los efectos de diferentes técnicas de preparación de superficies sobre la microestructura y las propiedades de los depósitos de cara dura. [7,8] El estudio encontró que el granallado y el decapado resultaron en propiedades mejoradas de los depósitos, mientras que el granallado resultó en propiedades inferiores. El estudio enfatiza la importancia de seleccionar la técnica de preparación de superficies adecuada para lograr depósitos de alta calidad.

Los efectos de diferentes posiciones de soldadura en la microestructura y las propiedades mecánicas de los depósitos de cara dura. El estudio encontró que la posición de soldadura influyó significativamente en la microestructura y las propiedades mecánicas de los depósitos. El estudio destaca la importancia de seleccionar la posición de soldadura adecuada para lograr las propiedades deseadas de los depósitos de revestimiento duro.[9]

Así mismo los efectos de diferentes gases de protección en la microestructura y las propiedades de los depósitos de cara dura. El estudio encontró que el argón resultó en las mejores propiedades generales de los depósitos. El estudio enfatiza la importancia de seleccionar el gas de protección apropiado para lograr depósitos de alta calidad.

Se estudiaron los efectos de diferentes técnicas de revestimiento duro sobre las propiedades de los depósitos de cara dura.[10, 11] El estudio encontró que el revestimiento de plasma resultó en propiedades superiores de los depósitos. El estudio destaca el potencial del revestimiento de plasma como una técnica alternativa de revestimiento duro.

En otro estudio, [12,13,14] investigaron los efectos de la pulverización de plasma de alta velocidad sobre la microestructura y las propiedades de los depósitos de cara dura. El estudio encontró que la pulverización de plasma de alta velocidad resultó en una microestructura refinada y propiedades mejoradas de los depósitos. El estudio enfatiza el potencial de la pulverización de plasma de alta velocidad como una nueva técnica de revestimiento duro.

También se investigó los efectos de diferentes materiales de sustrato sobre las propiedades de los depósitos de revestimiento duro. Se trató los [15] efectos del material de sustrato en la microestructura y las propiedades de los depósitos de cara dura. El estudio encontró que el material del sustrato influyó significativamente en la microestructura y las

propiedades de los depósitos. El estudio destaca la importancia de seleccionar el material de sustrato adecuado para lograr depósitos de alta calidad.

Dentro del campo de la ingeniería metalúrgica y su aplicación en la industria minera, se enfrenta un desafío significativo relacionado con el fenómeno del desgaste abrasivo (figura 1) en los elementos expuestos al mineral diseminado. Es de vital importancia lograr una producción eficiente y mantener los costos operativos en niveles óptimos, lo cual resalta la relevancia de la protección preventiva contra el desgaste abrasivo.

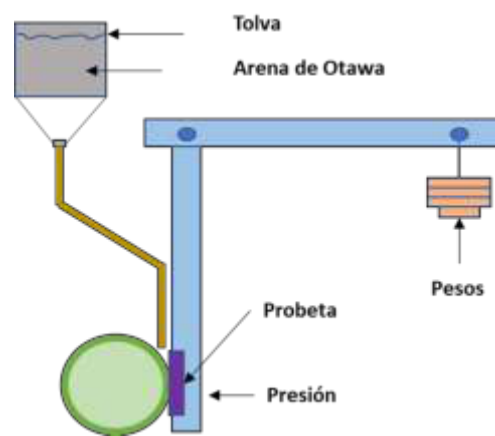


Fig. 1 Método de prueba estándar para medir la abrasión utilizando el aparato de rueda de arena seca/caucho

El propósito de esta investigación es evaluar el efecto que ejerce el Recubrimiento duro aplicado mediante el proceso FCAW en el acero de baja aleación, en términos de su resistencia al desgaste abrasivo, dureza y calidad de microestructura, específicamente en un acero AISI5130.

De acuerdo con las hipótesis planteadas, se anticipa que el Recubrimiento tipo 2 presentará una mayor resistencia al desgaste abrasivo en comparación con otras alternativas de Recubrimiento. Esta predicción se sustenta en la elevada dureza del Recubrimiento, la cual confiere una mayor resistencia mecánica, así como en una mejor calidad de microestructura en comparación con otros Recubrimientos aplicados en aceros de baja aleación usando el acero AISI5130 mediante el proceso FCAW. Es particularmente relevante la presencia de una mayor cantidad de carburos disueltos en la microestructura del Recubrimiento, atributo que se considera clave en el aumento de la resistencia al desgaste abrasivo.

Con el fin de alcanzar los objetivos planteados, se propone llevar a cabo pruebas de laboratorio para determinar el Recubrimiento duro más conveniente en la aplicación del acero antes mencionado al acero AISI5130 mediante el proceso FCAW, con el objetivo de mejorar sus propiedades mecánicas.

Este estudio cobra una gran importancia en el ámbito de la ingeniería metalúrgica, ya que busca abordar de manera integral los desafíos del desgaste abrasivo que afectan al acero AISI5130 en la industria. La aplicación preventiva de un Recubrimiento duro adecuado se plantea como una solución viable para extender la vida útil de las piezas puestas en servicio, basada en un análisis exhaustivo de la resistencia al desgaste abrasivo, dureza y microestructura, con el objetivo de proporcionar enfoques efectivos para mejorar la eficiencia operacional y reducir los costos de producción en las operaciones mineras.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Modelo Experimental

Para la contrastación de la hipótesis se utilizó el diseño unifactorial, con un tamaño de muestra de 5 réplicas, en un total de 20 pruebas (tabla 1)

La Selección de Variables se hicieron de la siguiente manera: Variables independientes: Tipo de Recubrimiento: A Se consideran 4 niveles del factor A: a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, y a<sub>4</sub>, Variable dependiente: Resistencia al desgaste abrasivo, dureza, microestructura.

TABLA I  
MODELO EXPERIMENTAL UNIFACTORIAL

Niveles	Replicas				
	1	2	3	4	5
a <sub>1</sub>	a <sub>11</sub>	a <sub>12</sub>	a <sub>13</sub>	a <sub>14</sub>	a <sub>15</sub>
a <sub>2</sub>	a <sub>21</sub>	a <sub>22</sub>	a <sub>23</sub>	a <sub>24</sub>	a <sub>25</sub>
a <sub>3</sub>	a <sub>31</sub>	a <sub>32</sub>	a <sub>33</sub>	a <sub>34</sub>	a <sub>35</sub>
a <sub>4</sub>	a <sub>41</sub>	a <sub>42</sub>	a <sub>43</sub>	a <sub>44</sub>	a <sub>45</sub>

### B. Materiales

Se utilizó como base el acero de baja aleación AISI 5130, que se extrajo de los componentes de desgaste utilizados en la industria minera; una muestra fue proporcionada por una empresa del sector. La composición química y las propiedades mecánicas de AISI5130 se describen en las Tablas N° II.

TABLA II  
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL BASE

% C	% Mn	%Ni	%Mo	%Cr	%Si	%S	%Cu
0.33	0.72	0.03	0.30	2.10	1.42	0.06	0.04

### C. Cupones de Soldadura

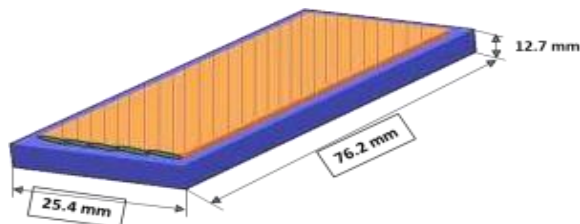


Fig. 2 Probeta para ensayo de desgaste abrasivo según norma ASTM

El depósito del recubrimiento duro se llevó a cabo mediante proceso FCAW, teniendo en consideración parámetros de soldadura constantes para todas las probetas estudiadas, voltaje: 23.5-27, Amperaje: 36.2-435.6 A, velocidad de avance 1.1-1.9 cm/m, diámetro del alambre: 1.6 mm, se usó la aplicación del recubrimiento con arco abierto, número de capas: 2 (tabla IV)

### D. Composición química de los tres tipos de Recubrimientos

TABLA III  
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS TRES TIPOS DE RECUBRIMIENTOS

Alambre	C	Cr	Mn	Si	Mo	V	W	Nb
Recubrimiento tipo 1	4.60	19.50	1.30	1.40	1.10	--	--	0.03
Recubrimiento tipo 2	5.00	20.00	0.50	0.50	3.50	0.50	1.00	1.50
Recubrimiento tipo 3	4.30	25.00	1.50	1.50	1.00	--	--	0.05

### E. Parámetros de soldadura Proceso FCAW

TABLA IV  
PARÁMETROS DE SOLDADURA

Alambre	Corriente (Amp)	Voltaje	velocidad de avance (mm/s)	Aporte de calor (J/mm)	N° de capas
Recubrimiento tipo 1	376.2	23.4	1.908	4520.2	2
Recubrimiento tipo 2	335.61	20.34	1.206	5545.49	2
Recubrimiento tipo 3	435.6	27	1.137	1614.08	2

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la Resistencia al desgaste (figura 1) en relación a la microestructura y según el estudio realizado, el diagrama Fe- Cr-C que es adecuado para describir las microestructuras obtenidas durante la solidificación de la soldadura de aleaciones de Fe-Cr-C, a pesar de la metaestabilidad impuesta por el proceso de soldadura FCAW. Los Recubrimientos duros analizados deberían formar microconstituyentes como carburos hexagonales primarios del tipo M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> y una matriz eutéctica compuesta por austenita y carburos de cromo.

Entre los Recubrimientos duros estudiados, el Recubrimiento tipo 2 muestra una concordancia significativa con el diagrama de fases y la microestructura final del depósito. Por otro lado, las alteraciones en los microconstituyentes de los depósitos Recubrimiento tipo 1 y tipo 3 se atribuyen principalmente a cambios en la composición química debido a aleantes debido a su afinidad con ciertos elementos. Es importante tener en cuenta el tipo de solución sólida formada por cada elemento en la celda matriz, ya que actúa como mecanismo formador de las fases deseadas Según los criterios desarrollados por Homme Rotery, los elementos Cr, W, V, Ti, Mn y Mo son capaces de formar soluciones sólidas sustitucionales con el Fe, que presentan niveles de afinidad grandes y extremadamente grandes. La creación de microconstituyentes y el vínculo entre la composición química y la microestructura final en los recubrimientos duros estudiados se comprenden mejor gracias a estos conocimientos.

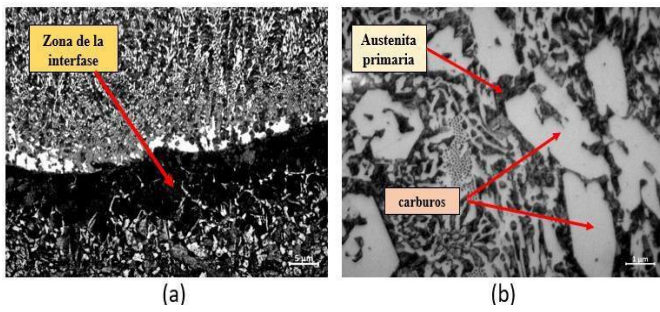


Fig. 3 (a) Microestructura de la interfaz del Recubrimiento tipo 1 a 1000X, (b) Microestructura del Recubrimiento tipo 1 a 1000X

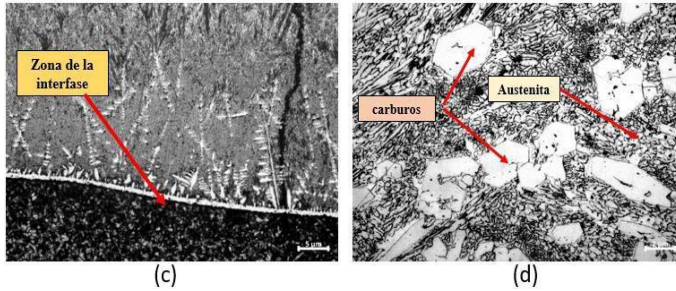


Fig. 4 (c) Microestructura de la interfaz del Recubrimiento tipo 2 a 100X (d) Microestructura del Recubrimiento 2 a 1000X

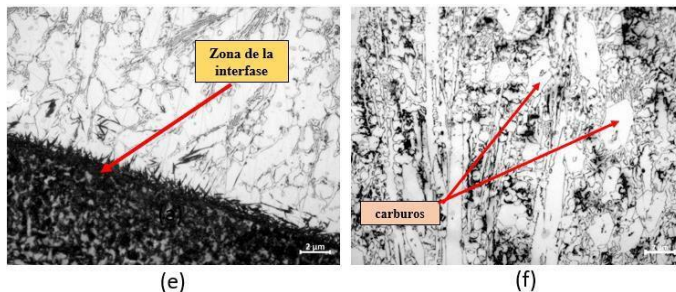


Fig. 5 (e) Microestructura de la interfaz del Recubrimiento Tipo 3 a 100X (d) Microestructura del Recubrimiento tipo 3 a 1000X

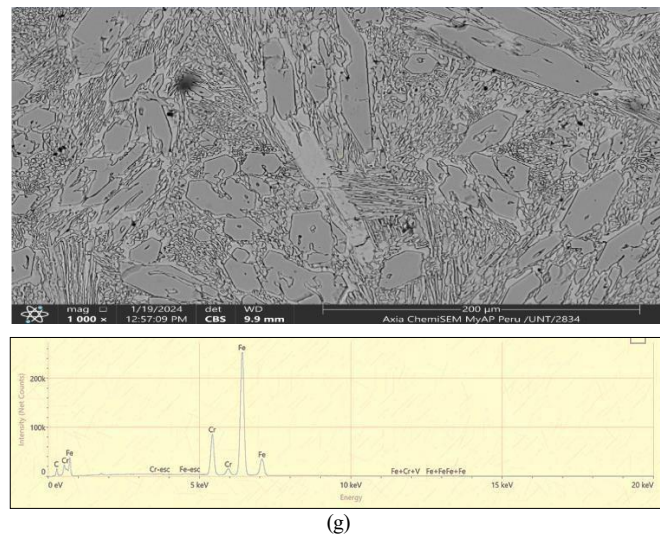


Fig. 6 (f) Imagen SEM Del Recubrimiento tipo 1, muestra la región de carburos  $M_3C$  (g) Imagen SEM Del Recubrimiento 1, muestra La fase cuya composición química demuestra que se trata de austenita primaria

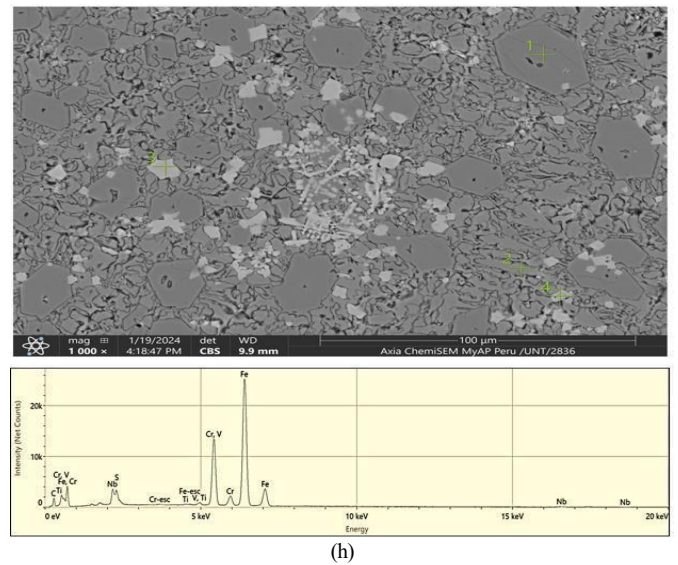


Fig. 7 (h) Imagen SEM del Recubrimiento 2, se observa regiones blancas distribuidas homogéneamente, la composición química demuestra que se trata de carburos primarios complejos formada por cromo, manganeso y vanadio.

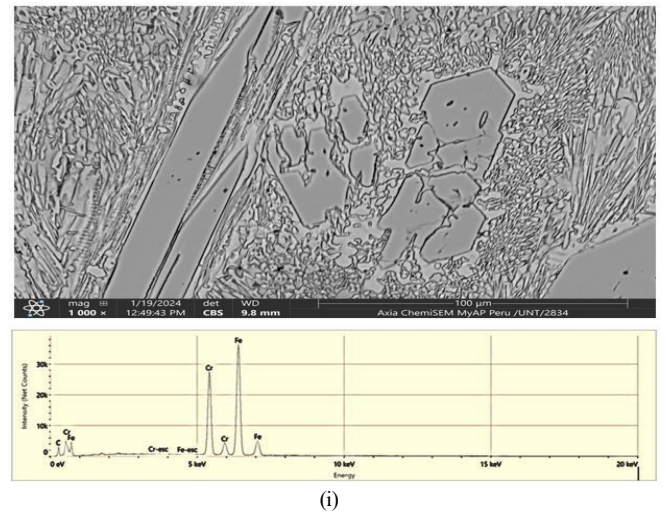


Fig. 8 (i) Imagen SEM Del Recubrimiento tipo 3, muestra nucleación aislada de carburos primarios de Cromo, muestra la composición química formada en su mayor proporción por hierro, que demuestra que se trata de austenita, con solución sólida sustitucional de cromo

Respecto a la resistencia térmica y la relación al desgaste, con menores valores de aporte térmico, se logra una mayor velocidad de enfriamiento en el proceso de soldadura. Para el Recubrimiento 1, donde se consideró el amperaje recomendado por el fabricante, se obtuvieron resultados de ensayos de desgaste que muestran altas tasas de desgaste. La microestructura observada en la figura 3(b) revela una configuración con austenita primaria y carburos del tipo  $M_3C$ , lo cual se vio influenciado por las bajas velocidades de enfriamiento. El análisis SEM figuras 6(g) de este Recubrimiento indica la ausencia total de carburos primarios  $M_7C_3$ , mientras que el cromo se encuentra disperso en toda la célula cristalina de la austenita sin formar una solución sólida con el carbono, lo que sugiere un fuerte efecto del alto valor del aporte térmico en su microestructura.

En el caso del Recubrimiento Tipo 2, con un aporte térmico muy bajo, se observa una microestructura con una

distribución homogénea de carburos primarios hexagonales del tipo  $M_7C_3$  en una matriz eutéctica y austenita primaria figura 4(d) Los excelentes resultados de resistencia al desgaste se ven respaldados por el análisis SEM (figuras 7(h)), donde se aprecian carburos complejos de V, Ti, W, Mn y Cr, formando parte de la red de carburos precipitados.

Para el Recubrimiento Tipo 3, se muestra una microestructura con grandes regiones de austenita primaria y carburos del tipo  $M_3C$ . La ligera superioridad en resistencia al desgaste del 3 en comparación con el Recubrimiento 1 se confirma mediante el análisis SEM (figura 8 (i)), donde se observan carburos complejos de Cr, Ti, W distribuidos de manera dispersa y alejada en el depósito. El retardo de la precipitación de estos carburos en la matriz se vio influenciado por las bajas velocidades de enfriamiento debido al alto calor de aporte. Estos hallazgos sugieren que la selección adecuada del aporte térmico durante el proceso de soldadura influye significativamente en la formación de la microestructura y la distribución de carburos, lo cual tiene un impacto directo en la resistencia al desgaste de los Recubrimientos duros. El análisis SEM proporciona una comprensión más detallada de los microconstituyentes y los carburos presentes en cada Recubrimiento, lo que contribuye al desarrollo de Recubrimientos duros con propiedades mecánicas óptimas para aplicaciones de alta resistencia al desgaste. Estos resultados son relevantes para la mejora de materiales y técnicas de Recubrimientos utilizados en diversas industrias, como la minería y la manufactura.

En la relación al desgaste y los elementos aleantes, mediante el análisis de la composición química de los depósitos investigados, se abordará la segunda categoría, la cual involucra formadores de carburos aleados que pueden transformarse en cementita, pero también pueden dar lugar a carburos aleados más estables desde una perspectiva termodinámica. Entre los elementos relevantes se encuentran Mn, Cr, Mo, V, Ti, W y Nb. Las posibles composiciones de los carburos son diversas, incluyendo  $Fe_3C$ , que representa un carburo libre de aleante,  $(Fe-S)_x C_y$ , que corresponde a un carburo con aleante sustitucional,  $Fe(S)_x C_y$ , un carburo con aleante en cantidad definida, y  $S_x C_y$ , un carburo exento de hierro. El coeficiente de partición  $K$  desvela si un elemento actúa como un buen o mal estabilizador de carburos. En el caso del Recubrimiento 2, la presencia significativa de Vanadio y Wolframio en su composición química resultó esencial en la formación de carburos complejos, con una posible composición de  $Fe(S)_x C_y$  según el análisis mediante microscopía electrónica de barrido. Se destaca que el cromo es un estabilizador fuerte de carburos, aunque para los Recubrimientos 1 y 3, su efecto no fue tan evidente en la microestructura final, dando lugar a una microestructura con composición  $(Fe-S)_x C_y$ . En cuanto a la relación entre la resistencia al desgaste y la dilución De acuerdo con el diagrama de fases ternario Fe- Cr-C, se ha establecido claramente que las variaciones en la composición química de los Recubrimientos duros, debido a los altos niveles de dilución, provocan cambios en los microconstituyentes finales esperados. Este fenómeno se intensifica con el aumento de los altos calores de aporte, es decir, aleación AISI5130, comúnmente utilizado en maquinaria de la industria minera. A medida que las velocidades de enfriamiento disminuyen, el porcentaje de dilución aumenta.

En el caso específico del Recubrimiento 1, la calidad del depósito se vio afectada por algún cambio en su composición química, lo que ocasionó la precipitación de fases distintas a las proyectadas en el diagrama para su composición original.

El análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) (figura 6(f)) revela claramente los bajos porcentajes de cromo asociados en el elemento intersticial para la formación de los carburos de cromo, lo cual demuestra su baja resistencia al desgaste, tal como se evidenció durante el ensayo. En contraste, el Recubrimiento 2, caracterizado por una baja dilución y bajos calores de aporte, resultó beneficioso al ofrecer una disposición metalúrgica más propicia para la formación de fases altamente resistentes al desgaste. El análisis SEM (figuras 7(h)) muestra claramente la composición química de los carburos complejos formados durante la solidificación, lo cual concuerda con lo proyectado en el diagrama de fases.

Este análisis detallado de los efectos de la composición química y los altos niveles de dilución en los Recubrimientos duros resulta de gran importancia para comprender cómo estos factores influyen en la formación de microconstituyentes y su posterior resistencia al desgaste. El entendimiento de estas relaciones permitirá optimizar el diseño y fabricación de Recubrimientos duros, enfocándose en obtener microestructuras más adecuadas para aplicaciones de alta resistencia al desgaste en diversas industrias. La aplicación de técnicas analíticas avanzadas, como la microscopía electrónica de barrido, es esencial para proporcionar información detallada sobre la experimentales obtenidos a partir de las muestras que miden 25.476.2x76,2x12.7 mm composición y morfología de las fases formadas, lo que a su vez guiará el desarrollo de materiales más eficientes y duraderos.

TABLA V  
DATOS DE ENSAYO DE DESGASTE

PROBETAS	1	2	3	4	5
Metal base	2.67	2.38	2.57	2.50	2.07
Recubrimiento 1	0.64	0.74	1.28	1.03	0.69
Recubrimiento 2	0.62	0.67	0.63	0.64	0.65
Recubrimiento 3	0.61	0.60	0.32	0.32	0.55

TABLA VI  
DATOS DE ENSAYO DE DUREZA

PROBETAS	Promedios de Dureza (Rc)
Metal base	50.38
Recubrimiento tipo 1	59.84
Recubrimiento tipo 2	64.79
Recubrimiento tipo 3	59.51

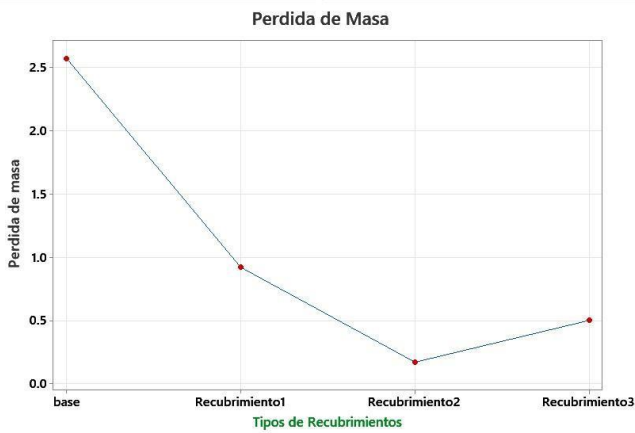


Fig. 9 Grafico de ensayo de desgaste: pérdida de masa

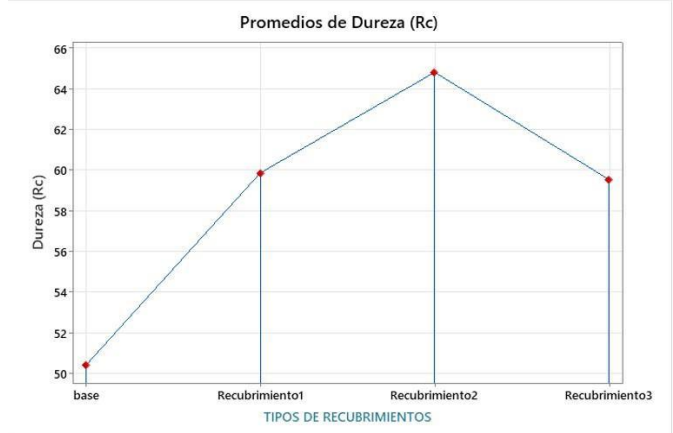


Fig. 10 Grafico de ensayo de dureza

La figura 9 muestra los resultados del ensayo de desgaste abrasivo, es decir, la relación entre la pérdida de masa (medida en gramos) y los recubrimientos duros. La presencia de carburos primarios en la matriz eutéctica del revestimiento tipo 2 es responsable de su excepcional resistencia al desgaste, fácilmente apreciable. En contraste, el Recubrimiento 1 exhibe un mayor desgaste en comparación con los otros dos Recubrimientos, debido a la presencia de carburos  $M_3C$  en su microestructura. Respecto al Recubrimiento Tipo3, se evidenció un desgaste 1.8 veces mayor que el Recubrimiento 1, el cual se atribuye a la presencia de carburos complejos en su microestructura.

Estos hallazgos son significativos porque demuestran cómo la presencia de varios carburos en la microestructura de los recubrimientos duros afecta significativamente su resistencia al desgaste abrasivo. Los carburos primarios, que aumentan la dureza y la resistencia al desgaste, se encuentran en el recubrimiento 2. Por otro lado, los revestimientos tipo 1 y tipo 3 están hechos de carburos  $M_3C$  y complejos, y ambos tienen una menor resistencia al desgaste. Este análisis contribuye al entendimiento de cómo la composición y microestructura de los Recubrimientos influyen en sus propiedades mecánicas y su rendimiento en aplicaciones sujetas a desgaste abrasivo. Estos hallazgos son fundamentales para la selección adecuada de Recubrimientos duros en diversas industrias, como la minería, construcción y manufactura, donde la resistencia al desgaste es un factor crítico para la alargar el la puesta en servicio y rendimiento de los componentes y equipos

Finalmente, se obtuvieron los siguientes resultados respecto a la dureza En la tabla 8 y la figura 10, el revestimiento tipo 2 presenta una mayor dureza, lo que indica un menor nivel de desgaste abrasivo. Esto se debe a la presencia de los carburos primarios  $M_7C_3$  en su microestructura, que tienen una dureza elevada y están distribuidos uniformemente dentro de una matriz eutéctica. Por otro lado, el recubrimiento tipo 3 tiene una dureza inferior a pesar de la presencia de carburos complejos. Sin embargo, estos carburos están dispersos y distribuidos de forma distante, lo que afecta a su eficacia global. Por otra parte, el revestimiento tipo 1 tiene una dureza similar a la del revestimiento de tipo 2.

#### IV. CONCLUSIONES

En el contexto del análisis de revestimientos duros aplicados mediante soldadura por proceso FCAW en el sobre el acero AISI5130, se ha identificado el Recubrimiento tipo 2 es el más óptimo, caracterizado por una microestructura que exhibe una distribución homogénea de carburos hexagonales primarios del tipo  $M_7C_3$  en una matriz eutéctica y austenita primaria. Esta combinación estructural confiere una mayor resistencia al desgaste, lo que resulta en un rendimiento destacado en condiciones abrasivas.

El Recubrimiento 2 ha demostrado ser el más adecuado para resistir el desgaste abrasivo, seguido de cerca por el recubrimiento tipo 3 y Recubrimiento tipo 1. Es importante destacar que estos dos últimos Recubrimientos presentan igual o incluso mayor dureza superficial, lo que los convierte en opciones valiosas desde una perspectiva de resistencia al desgaste.

La selección adecuada de Recubrimientos duros puede mejorar significativamente la vida útil y el rendimiento del AISI5130 en entornos mineros abrasivos. La presencia de carburos hexagonales y una matriz eutéctica bien distribuida juegan un papel crucial en la resistencia al desgaste y, por lo tanto, en la eficiencia operativa de los equipos de carguío en la industria minera.

#### AGRADECIMIENTO

Agradecimiento, a la escuela de posgrado de la Universidad Nacional de Trujillo, a la empresa Postalloy Perú SAC

#### REFERENCIAS

- [1] Nilay Çomez, Melis Yurddaskal, Canser Gül, Hülya Durmuş, Sevda Albayrak, Fe-Cr-C-V hardfacing coatings with molybdenum addition: Wear, corrosion, and cavitation performances, Surface and Coatings Technology, Volume 482,2024,130715,ISSN0257-8972, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.130715>
- [2] Gao, L., Lei, Y., Wang, H., Zhai, Y., & Zhang, Y. (2019). Effect of Pulse Frequency on Microstructure and Properties of Fe-Based Alloy Hardfacing Coatings by PTA Cladding. Metals, 9(9), 1005. <https://doi.org/10.3390/met9091005>
- [3] Guo, Y., Zhang, Z., Liu, X., Wang, C., & Wang, D. (2020). Investigation of the Microstructure and Wear Resistance of In Situ TiC Reinforced Ni-Based Hardfacing Alloys Deposited by Laser Cladding. Journal of Materials Engineering and Performance, 29(2), 708-717. <https://doi.org/10.1007/s11665-019-04222-x>
- [4] Liu, Z., Wang, J., Li, Y., Li, X., Li, J., Li, C., & Wang, X. (2020).

Research on the Microstructure and Properties of WC/Ni60 Composite Hardfacing Coating by Laser Cladding. *Coatings*, 10(10), 946. <https://doi.org/10.3390/coatings10100946>

- [5] Qiao, J., Li, Y., & Yan, W. (2018). Effect of Shielding Gas on Microstructure and Properties of WC/NiCoCrFe Hardfacing Coatings Fabricated by Laser Cladding. *Coatings*, 8(12), 437. <https://doi.org/10.3390/coatings8120437>
- [6] Ramamoorthy, B., Balasubramanian, V., & Elango, A. (2016). Preparation and characterization of Ni-based coatings on AISI 1020 steel by electrospray deposition process. *Surface and Coatings Technology*, 307, 306-315. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.08.058>
- [7] Wu, H., Han, Z., Ren, Y., Huang, L., & Guo, L. (2018). Microstructure and mechanical properties of a nickel-based alloy hardfacing coating on Q345 steel with different welding positions. *Materials Science and Engineering: A*, 718, 20-26. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.01.035>
- [8] Xu, X., Chen, J., Li, W., Gu, S., & Li, X. (2019). Microstructure, wear resistance and high-temperature oxidation resistance of in situ TiC reinforced Co-based hardfacing alloys produced by laser cladding. *Journal of Alloys and Compounds*, 784, 686-698. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.01.377>
- [9] Zhang, J., Yu, Y., Zhang, L., & Lu, J. (2018). Influence of Plasma Spraying and Laser Cladding on Microstructure and Properties of Ni-Based Coatings. *Coatings*, 8(10), 369
- [10] Manuscript Templates for Conference Proceedings, IEEE. [http://www.ieee.org/conferences\\_events/conferences/publishing/templates.html](http://www.ieee.org/conferences_events/conferences/publishing/templates.html)
- [11] M. King, B. Zhu, and S. Tang, "Optimal path planning," *Mobile Robots*, vol. 8, no. 2, pp. 520-531, March 2001.
- [12] H. Simpson, *Dumb Robots*, 3<sup>rd</sup> ed., Springfield: UOS Press, 2004, pp.6-9.
- [13] M. King and B. Zhu, "Gaming strategies," in *Path Planning to the West*, vol. II, S. Tang and M. King, Eds. Xian: Jiaoda Press, 1998, pp. 158-176.
- [14] B. Simpson, et al, "Title of paper goes here if known," unpublished.
- [15] J.-G. Lu, "Title of paper with only the first word capitalized," *J. Name Stand. Abbrev.*, in press.
- [16] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface," *IEEE Translated J. Magn. Japan*, vol. 2, pp. 740-741, August 1987 [*Digest 9<sup>th</sup> Annual Conf. Magnetism Japan*, p. 301, 1982].
- [17] M. Young, *The Technical Writer's Handbook*, Mill Valley, CA: University Science, 1989.