ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO DE UN ACERO AISI-SAE 1020 TEMPLADO A UNA TEMPERATURA DE 800 °C Y REVENIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS

Fernando Cruz Segura, Robert Socha Hernández

Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad Tecnológica Transversal 70 b N. 73 a - 35 sur
Enero 2015 Bogotá, Colombia

fecruzs@correo.udistrital.edu.co
rsochah@correo.udistrital.edu.co

Resumen: El proyecto que se presenta, tiene como fin el análisis de la resistencia al desgaste abrasivo y comportamiento micro estructural, de un acero AISI-SAE 1020, este fue realizado tomando el material en estado de entrega. Ejecutándole procesos de temple a temperatura intercritica de 800°C y revenidos a diferentes temperaturas, pero en el mismo intervalo de tiempo.

Con esto se busca determinar el comportamiento del acero AISI-SAE 1020 frente al desgaste abrasivo, teniendo en cuenta los diferentes valores de dureza que se presentan durante los procesos anteriores. Se llevaron a cabo pruebas de porcentaje de pérdida de masa, microscopia óptica y de barrido electrónico (MEB), además, de ensayos de dureza. Se eligió este acero por su alto consumo en la industria y su bajo contenido de carbono.

Palabras clave: *Desgaste abrasivo, Acero de bajo carbono, Pérdida de masa, Microestructura, MEB*

Abstract: *The present Project has as purpose to analyze the resistance to the abrasive wear and the micro-structural comportment from a steel AISI-SAE 1020. These were considered taking the material in delivery estate, making temple process to an intercritical temperature of 800°C and shrink to different temperatures but in the same period of time.*

This process tries to figure out the steel reactions AISI-SAE 1020 against the abrasive erosion, having into account the different hardness values which appear during the previous process. Tests mass loss was conducted, optical microscopy and electronic (MEB) scanning, besides, hardness tests. This kind of steel was chosen because of its high consumption in the industry and its low carbon content.

Key words: *Abrasive wear, low carbon content steel, Mass loss, Microstructure, MEB*

Tabla de contenido

1 Introducción 4
2 Objetivo general 4
2.2 Objetivos específicos 4
3 Material 5
4 Diseño Experimental 6
4.1 Distribución aleatoria 7
4.2 Análisis de varianza 7
4.3 Aplicación de proceso experimental y repeticiones 8
5 Procedimiento experimental 9
5.1 Tratamientos térmicos 9
5.2 Desgate Abrasivo 9
5.3 Preparación metalográfica 11
5.3.1 Microscopia Óptica 11
5.4 Dureza 12
6 Discusión y resultados 12
6.1 Desgate Abrasivo 12
6.1.1 Resultados ensayo desgaste abrasivo 14
6.1.2 Análisis de las superficies desgastadas 16
6.2 Micrografías 18
6.3 Dureza 24
7 Conclusiones 25
8 Bibliografía 26

Lista de figuras

Figura 1;Máquina de desgaste abrasivo 10
Figura 2; Interior máquina de desgaste abrasivo 10
Figura 3; Pulidora metalográfica..... 11
Figura 4; arena sílice Ottawa tomada de la norma ASTM G-65..... 12
Figura 5; Arena sílice malla 70; tomada a 32X 12
Figura 6; caracterización ángulo de ataque arena sílice malla 70 tomada a 50X..... 13
Figura 7; caracterización longitud dela grano arena sílice malla 70 tomada a 50X..... 13
Figura 8; caracterización altura de grano arena sílice malla 70 tomada a 50X..... 13
Figura 9 ; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 en estado de entrega tomada a 1000x 16
Figura 10; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 en estado de entrega tomada a 2000x 16
Figura 11; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 templado a 800°C tomada a 1000x 16
Figura 12; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 templado a 800°C tomada a 2000x 16
Figura 13; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 revenido a 200°C tomada a 1000x 17
Figura 14; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 revenido a 200°C tomada a 2000x 17
Figura 15; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 revenido a 350°C tomada a 1000x 17
Figura 16; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 revenido a 350°C tomada a 2000x 17
Figura 17; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 revenido a 450°C tomada a 1000x 18
Figura 18; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 revenido a 450°C tomada a 2000x 18
Figura 19; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material en estado de entrega (500x)..... 18
Figura 20; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material en estado de entrega (1000x)..... 18
Figura 21; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material templado a 800°C (500x) 19
Figura 22; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material templado a 800°C (1000x) 19
Figura 23; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material revenido a 200°C (500x) 20
Figura 24; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material revenido a 200°C (1000x) 20
Figura 25; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material revenido a 350°C (500x) 20
Figura 26; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material revenido a 350°C (1000x) 20
Figura 27; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material revenido a 450°C (500x) 21
Figura 28; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material revenido a 450°C (1000x) 21
Figura 29; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material en estado de entrega, tomada a 1000x (MEB) 21
Figura 30; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material en estado de entrega, tomada a 2000x (MEB) 21
Figura 31; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material templado a 800°C, tomada a 1000x (MEB)..... 22
Figura 32; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material templado a 800°C, tomada a 2000x (MEB)..... 22
Figura 33; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material revenido a 200°C, tomada a 1000x (MEB)..... 22
Figura 34; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material revenido a 200°C, tomada a 2000x (MEB)..... 22
Figura 35; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material revenido a 350°C, tomada a 1000x (MEB)..... 23
Figura 36; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material revenido a 350°C, tomada a 2000x (MEB)..... 23
Figura 37; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material revenido a 450°C, tomada a 1000x (MEB)..... 23
Figura 38; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material revenido a 450°C, tomada a 2000x (MEB)..... 23

Lista de tablas

Tabla 1; Dimensiones de probetas norma internacional ASTM G-65 5
Tabla 2; Composición química acero AISI-SAE 1020 6
Tabla 3; Temperaturas intercriticas acero AISI-SAE 1020 6
Tabla 4; Unidades experimentales 7
Tabla 5; Variables de ingreso y salida 7
Tabla 6; Unidades experimentales en bloque para el proceso 8
Tabla 7; Proceso tratamientos térmicos 9
Tabla 8; Tipos de procedimiento 10
Tabla 9; Dimensiones de grano arena sílice malla 70 13
Tabla 10; Resultados ensayo de desgaste abrasivo material en estado de entrega 14
Tabla 11 ; Resultados ensayo de desgaste abrasivo material templado a 800°C 14
Tabla 12; Resultados desgaste abrasivo material revenido a 200°C 14
Tabla 13; Resultados desgaste abrasivo material revenido a 350°C 14
Tabla 14; Resultados desgaste abrasivo material revenido a 450°C 15
Tabla 15; Porcentaje de fase material templado 19
Tabla 16; Promedios de dureza 24

Lista de graficas

Grafica 1 Grafica 1; Pérdida de volumen por desgaste abrasivo 15
Grafica 2; Comparativo de resistencia al desgaste abrasivo 15
Grafica 3; Comparativo de dureza acero AISI-SAE 1020 sometido a diferentes tratamientos térmicos 24

1 Introducción

El desgaste vinculado a la interacción con partículas, rozamiento entre piezas, fibras y demás condiciones es abordado por diferentes estudios tribológicos, estos estudios son frecuentemente encontrados en aplicaciones industriales tales como fabricación de herramientas, maquinaria de minería, sistemas de freno, entre otros. Este desgate provoca pérdidas económicas y de tiempo disminuyendo la productividad y vida útil del producto que sufre este factor. Lo cual es planteado en el artículo publicado por la Universidad Tecnológica de Pereira que muestra la resistencia de las cuchillas de arados, donde son expuestos lo daños por desgaste de estas piezas de maquinaria, con lo cual se puede evidenciar la importancia de generar materiales que tengan un alto grado de resistencia a este fenómeno. Teniendo como resultado la reducción de los costos de operación dando así mayor rentabilidad.

Al tener en cuenta estos factores se seleccionó el acero AISI-SAE 1020 por su gran aceptación en la industria ya que posee características como su composición química que le permite entregar un mayor desempeño en sus propiedades mecánicas, soldabilidad y maquinabilidad a diferencia de aceros del mismo grupo. Por estas razones el objetivo de este documento es mostrar los resultados al someter este material a distintas pruebas que permitan diferenciar los cambios de microestructura y variaciones en la resistencia al desgaste, que se presentan al ser sometido a trabajos de alta fricción, para este fin se hicieron diferentes tratamientos térmicos, además de seguir el procedimiento de la norma internacional ASTM G65 el cual tiene como objetivo determinar la perdida de volumen de un cuerpo solido al ser sometido a una prueba de abrasión donde el agente abrasivo es arena de sílice malla 70. Estos procesos podrían presentar algunas inconsistencias en los resultados debido a factores implícitos en la realización de los tratamientos, o de fallas del material debidas al proveedor lo cual afectara directamente algunos resultados lo cual es aceptado es el desarrollo de estos análisis.

2 Objetivo general

- Analizar resistencia al desgaste abrasivo de un acero AISI-SAE 1020 templado a una temperatura de 800°c y revenido a diferentes temperaturas

2.2 Objetivos específicos

- Realizar el temple a las probetas de acero AISI-SAE 1020 a una temperatura de 800°C
- Realizar revenido a las probetas a temperaturas de 200°C, 350°C y 450°C
- Someter a las probetas al ensayo de desgaste por abrasión según la norma ASTM G-65
- Observar el comportamiento en la microestructura de las probetas, por medio de la observación de metalográfica óptica
- Identificar por medio de prueba de micro-dureza el cambio de los valores en cada uno de los procesos

- Determinar el comportamiento al desgaste abrasivo del acero AISI-SAE 1020 en cada uno de los procesos

3 Material

El acero AISI-SAE 1020 es clasificado en el grupo de los aceros bajo carbono. Son aleaciones de Fe – C, con un porcentaje de carbono el cual se encuentra entre 0.18-0.23%, aunque todos los aceros al carbono contienen moderadas cantidades de Mn y Si no se considera aleado, porque la principal función del Si y Mn es actuar como agentes des-oxidantes. Este acero es muy utilizado en la industria gracias a sus propiedades, por lo cual es el material que se eligió para el desarrollo de este proyecto, la norma ASTM G-65 de desgaste abrasivo pide que las probetas para efectuar este ensayo deben tener las siguientes dimensiones las cuales son mostradas en la tabla-1.

Tabla 1; Dimensiones de probetas norma internacional ASTM G-65

	Dimensión (pul)	Dimensión (mm)
Largo	3	76.2
Ancho	1	25.4
Espesor	0.5	12.7

Se hace necesario conocer la composición química de este acero para un correcto desarrollo del proyecto, la cual es presentada en la tabla-2, los datos de composición se obtuvieron a través del procedimiento de espectrometría de masas mediante el método experimental. Realizado en equipo *shimadzu LCMS-IT-TOF* en cual se encuentra en la Universidad Nacional de Colombia.

Para determinar las temperaturas intercriticas del acero 1020, se utilizan las ecuaciones de KASATKIN, los datos necesarios son tomados de la composición química los cuales se encuentran en la tabla-2.

Ecuación #1

Ac_1 (°C) = 723 - 7.08 Mn + 37.7 Si + 18.1 Cr + 44.2Mo + 8.95 Ni + 50.1 V + 21.7 Al + 3.18 W + 297 S - 830 N - 11.5 C Si - 14.0 Mn Si - 3.10 Si Cr -57.9 C Mo - 15.5 MnMo - 5.28 CNi - 6.0 MnNi + 6.77 SiNi - 0.80 CrNi - 27.4 C V + 30.8 Mo V -0.84 Cr^2- 3.46 Mo^2- 0.46 Ni^2- 28 V^2

Ecuación#2

Ac_3 (°C) = 912 – 203 $C^{0.5}$ + 15.2 Ni + 44.7 Si + 104 V + 31.5 Mo + 13.1 W- 30 Mn - 11 Cr -20 Cu + 700 P + 400 Al + 120 As + 400 Ti

Al remplazar los valores presentados en la tabla-2 en las ecuaciones 1-2, se logra determinar las temperaturas intercriticas Ac1 y Ac3 para las condiciones del material al cual se está analizando. Los datos obtenidos se muestran en la tabla-3.

Tabla 2; Composición química acero AISI-SAE 1020

Elemento	% en masa
Fe	98.67
C	0.196
Mn	0.731
Si	0.168
P	0.001
Si	
Cr	0.053
Ni	0.048
Mo	0.011
Cu	0.045
Sn	
V	
Ti	0.032
Al	0.033
Pb	0.003
Nb	0.002
N	
As	
W	0.005
Co	0.004
B	0.0001

Tabla 3; Temperaturas intercriticas acero AISI-SAE 1020

	Temperatura °C
Austenización parcial Ac_1	730.19
Austenización total Ac_3	834.96

4 Diseño Experimental

Se llevó acabo el estudio con el fin de analizar el comportamiento al desgate abrasivo mediante la comparación de perdida de volumen, que sufrieron las probetas de acero AISI-SAE 1020 tomando como referencia el estado de entrega y 4 diferentes tratamientos térmicos, en total serán 5 diferentes estados que serán tomados en la investigación.

4.1 Distribución aleatoria

En la elaboración de las probetas descritas en el punto anterior (5 estados), se eligió una cantidad aleatoria y experimental de 15 probetas y 5 grupos muéstrales; esto para obtener 3 unidades experimentales. Considerando un valor mínimo de tres probetas por grupo con lo cual se pueden evidenciar errores de medición u observación. La distribución se llevó a cabo de la siguiente manera en la tabla-3.

Tabla 4; Unidades experimentales

Estado del material Tratamiento térmico	Unidades experimentales
Estado de entrega	3
Temple 800°c	3
Revenido 200°c	3
Revenido350°c	3
Revenido 450°c	3
Total de muestras	15

4.2 Análisis de varianza

Tabla 5; Variables de ingreso y salida

Factores de entrada	Variables de salida
Tratamientos térmicos variable independiente	Valores de dureza
Dimensiones de probetas	Imágenes metalográficas
Cantidad total experimental	Diferencias numéricas y graficas experimentales
Cantidad de muestras	Estado de la huella (desgaste abrasivo)
Valor de masa y volumen inicial	valor de masa y volumen final

La variable de entrada es el factor que ingresa al proceso experimental y la variable de salida son los resultados o repuestas al final de proceso. Los valores de ingreso y salida son independientes entre ellos, la variable independiente es la del estado del material, es decir, los factores de salida son dependientes de los diferentes tratamientos térmicos del acero AISI-SAE 1020.

4.3 Aplicación de proceso experimental y repeticiones

En este diseño experimental el proceso se da por la aplicación del ensayo de desgaste abrasivo según la norma internacional ASTM G 65, en los grupos de muestras definidos anteriormente, de igual forma para el estudio metalográfico de cada conjunto de muestras de tratamiento térmico se definen cantidades en boque como se muestre en la tabla 6.

Tabla 6; Unidades experimentales en bloque para el proceso

	Unidades experimentales para tipo de proceso:		
Tratamiento térmico (Variable independiente)	Desgate abrasivo ASTM G-65	Estudio metalográfico	Medición de dureza
Estado de entrega	3	1*	1*
Temple	3	1*	1*
Revenido 1 (200°C)	3	1*	1*
Revenido 2 (350°C)	3	1*	1*
Revenido 3 (450°C)	3	1*	1*
Total Probetas	15	5*	5*

** Las unidades experimentales para el estudio metalográfico y medición de dureza fueron tomadas del mismo grupo de muestras de las unidades para experimento del proceso de desgaste abrasivo, es decir, una unidad de cada tratamiento, a la cual se le realizaron los 3 procesos (desgate abrasivo, metalografía, medición de dureza).*

5 Procedimiento experimental

5.1 Tratamientos térmicos

Las temperaturas intercriticas encontradas mediante las ecuaciones de KASATKIN mostradas en la tabla-3. Con base a ellas se determinó elegir la temperatura de 800°C para realizar el tratamiento térmico de temple, esta se encuentra 34.96°C por debajo de la austenización total. Con el fin de obtener varios valores de dureza se realizaron revenidos a tres distintas temperaturas (tabla 7).

Estos procesos fueron realizados en la mufla eléctrica *LEF-205P* de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas ubicada en el laboratorio de "Tratamientos térmicos y preparación de probetas metalográficas" de la Facultad tecnológica.

Tabla 7; Proceso tratamientos térmicos

Tratamiento	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Medio de enfriamiento
Temple (T)	800°C	20	Sumergir en agua
Revenido 1 (R1)	200°C	30	Temperatura ambiente
Revenido 2 (R2)	350°C	30	Temperatura ambiente
Revenido 3 (R3)	450°C	30	Temperatura ambiente

5.2 Desgate Abrasivo

El desgate abrasivo incluye sistemas donde interactúan partículas de mayor dureza a la superficie de contacto, para efectos del ensayo realizado el tipo de abrasión se da por el método de abrasión a dos y tres cuerpos

Se realiza el ensayo según la norma internacional ASTM G 65, en cuanto al procedimiento este se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de "Tratamientos térmicos y preparación de probetas metalográficas" de la Facultad tecnológica, aclarando que el material abrasivo que fue usado no

corresponde al exigido por la norma, se utilizó arena sílice malla 70 la cual cumplió el rol de agente abrasivo.

En ejecución del ensayo se contó con el equipo de desgate abrasivo (figura 1 y 2), diseñado y fabricado por estudiantes de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad tecnológica, proyecto curricular de ingeniería Mecánica [4].

Para este ensayo se hace necesario efectuar una prueba inicial, realizando la medición de masa de cada probeta antes y después de la prueba la cual se hizo con una balanza de precisión *Scientetech ref. SA210D* con resolución de 0.001 g, para medir la pérdida de volumen del material y así mediante los procedimientos que plantea la norma para determinar cuál es el adecuado.

Figura 1;Máquina de desgaste abrasivo

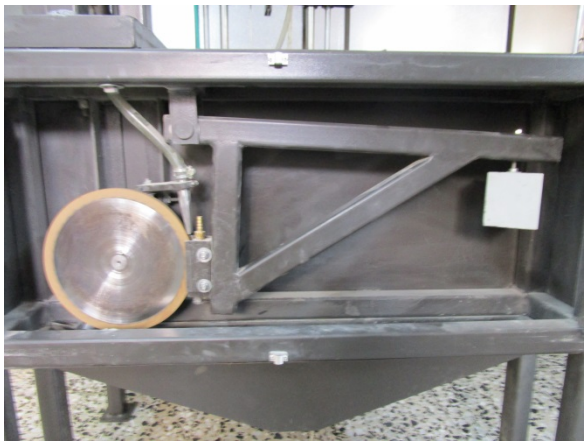


Figura 2; Interior máquina de desgaste abrasivo

Tabla 8; Tipos de procedimiento [1]

Procedimiento	Fuerza sobre la probeta (N)	Numero de ciclos (REV)	Abrasión lineal(m)
A	130	6000	4309
B	130	2000	1436
C	130	100	71.8
D	45	6000	4309
E	130	1000	718

De acuerdo a la perdida de volumen que, para la prueba inicial, superaba los 100 mm^3 se determinó que el procedimiento según la norma internacional ASTM G 65 recomienda que se desarrolle el procedimiento B, el indica que las probetas son sometidas a una carga de 130 Newton, 2000 ciclos y una abrasión línea de 14036 metros.

5.3 Preparación metalográfica

Se tomó una probeta por cada grupo experimental, mostrados en la tabla-6 con un total de cinco probetas a trabajar. Este procedimiento se llevó a cabo bajo la norma internacional ASTM E3-01; primero se desbasta la superficie pasándola sucesivamente por papeles con abrasivos de grano cada vez más finos finalizando con un papel abrasivo de grado 2000, se frota moviéndola en una dirección hasta que se observen en la superficie solo marcas de desbaste correspondientes al papel de que se trate, la dirección de desbaste se gira 90° al pasar de un papel al siguiente, cuando la probeta se encuentre con una superficie homogénea se procede a pulirla con la máquina de pulido metalográfico, sobre un disco, el cual posee un paño y con el aporte de alúmina aseguramos un acabado superficial de brillo espejo. Este procedimiento se realizó en el laboratorio de "Tratamientos térmicos y preparación de probetas metalográficas" con los equipos dispuestos en el los cuales son lijadora manual y la pulidora metalográfica *METKOM MODELO FORCIPOL 2V* (figura3).

Figura 3; Pulidora metalográfica

5.3.1 Microscopia Óptica

Luego de obtener el acabado superficial brillo espejo se procede a atacar las probetas con Nital al 2% (C_2H_5OH; HNO_3) según norma internacional ASTM E 03 [2].

Se procede a observar y tomar imágenes de la microestructura a dos aumentos diferentes (500X y 1000X) con el microscopio óptico *ZEIZS AX 10* de la Universidad distrital Francisco José de Caldas facultad tecnológica.

También se incluyó en la investigación toma de imágenes con la técnica de microscopia electrónica de barrido (MEB) ya que este método nos permite observar con más detalle la caracterización de la microestructura y la huella obtenida en el ensayo de desgaste abrasivo, esto se realizó en los laboratorios de la Universidad de los Andes, usando el equipo *JEOL JSM-6490LV* de alta resolución; se tomaron imágenes a diferentes aumentos.

5.4 Dureza

Se utilizaron las mismas probetas analizadas en el proceso de microscopia, ya que para ser realizado este ensayo deben tener las mismas caracterizas de acabado superficial, se utilizó el micro durómetro marca *SHIMADZU ref. HMV-2TL* con una carga de 9.8 N y duración de la indentación de 15 segundos según norma internacional ASTM E 384-99 [3] en modo de resultado automático.

6 Discusión y resultados

6.1 Desgate Abrasivo

Para efectos de esta prueba se utilizó arena sílice malla 70, la cual no tiene las mismas propiedades de la arena Ottawa, ya que la arena sílice presenta aristas pronunciadas por lo cual interfiere en los resultados; al presentar mayor porcentaje de abrasión, a continuación, se prestan imágenes en la cuales se pueden apreciar las diferencias morfológicas. En la figura-4 se puede observar el agente abrasivo recomendado por la norma ASTM G-65 arena Ottawa con características esferoidales

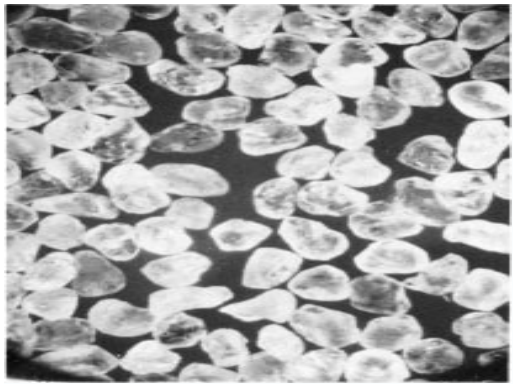


Figura 4; arena sílice Ottawa tomada de la norma ASTM G-65.

En la figura-5 observamos el material abrasivo utilizado en la investigación arena sílice malla70 la cual presenta aristas pronunciadas; tomadas con estereoscopio del laboratorio de metalografía de la universidad Distrital Francisco José de caldas Facultad Tecnológica

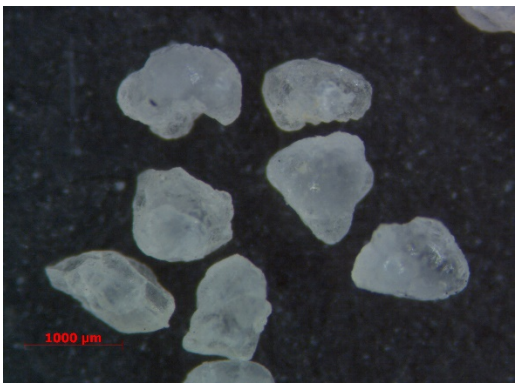


Figura 5; Arena sílice malla 70; tomada a 32X

En las figuras 6, 7 y 8 observamos las características morfológicas de la arena sílice utilizada en la investigación; dando como resultado las diferentes mediciones promedio de ángulos de ataque, longitud y altura de grano; los cuales arrojaron los siguientes datos.

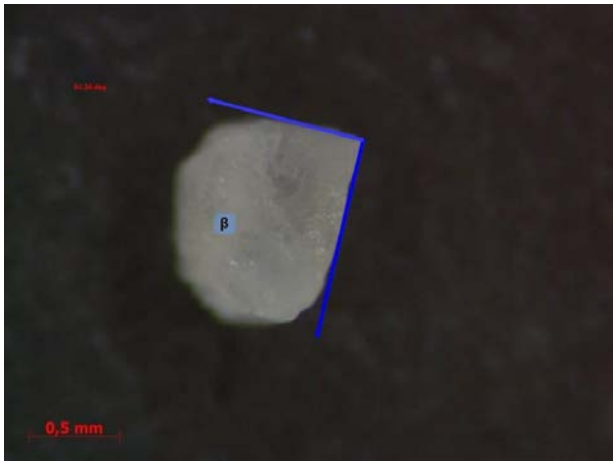


Figura 6; caracterización ángulo de ataque arena sílice malla 70 tomada a 50X

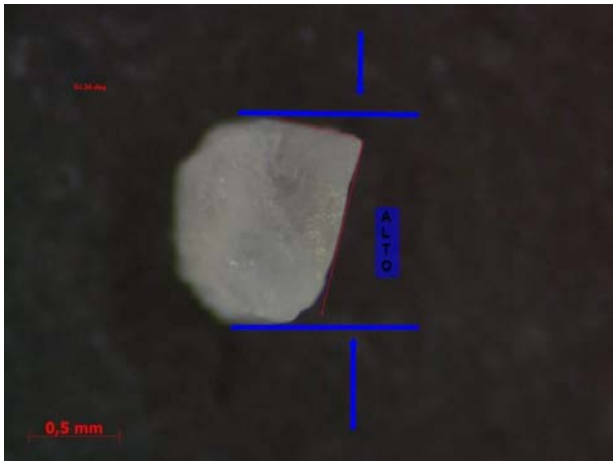


Figura 8; caracterización altura de grano arena sílice malla 70 tomada a 50X.

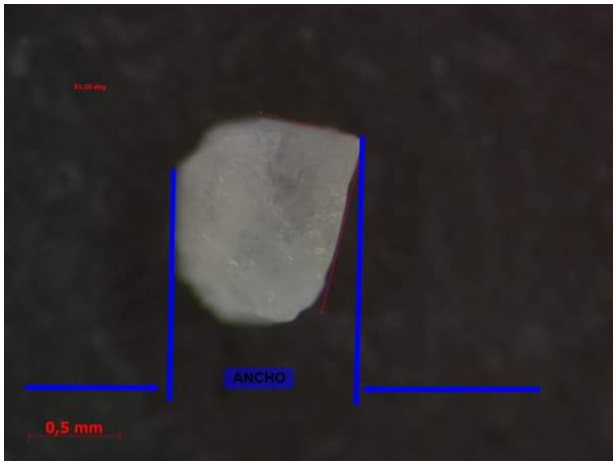


Figura 7; caracterización longitud dela grano arena sílice malla 70 tomada a 50X

Tabla 9; Dimensiones de grano arena sílice malla 70

Angulo de ataque (grados)	69-105
Longitud (µm)	1100
Altura (µm)	1400

Conociendo las dimensiones promedio de la arena Ottawa que son de 775 µm; se puede deducir que el desgaste abrasivo por el método experimenta realizado, varia ya que las dimensiones del grano utilizado son mayores y presenta aristas notorias esto influirá en los resultados presentados.

6.1.1 Resultados ensayo desgaste abrasivo

Para obtener el valor de la perdida de volumen se aplicó la norma descrita en la norma ASTM G-65.

$$volumen\ perdido(mm^3) = \frac{masa\ perdida\ (g)}{desidad\ (g/cm^3)} x\ 1000$$

Se tomó como valor referente la densidad de (7,87 g/cm^3) para el acero AISI-SAE 1020.

Tabla 10; Resultados ensayo de desgaste abrasivo material en estado de entrega

	PESO INICIAL (gramos)	PESO FINAL (gramos)	PERDIDA DE MASA (gramos)	PERDIDA DE VOLUMEN (mm^3)
PROBETA # 1	186.316	185.317	0.999	126.93774
PROBETA # 2	187.975	186.949	1.026	130.36849
PROBETA # 3	185.893	185.099	0.794	100.88945
Promedio			0.939667	119.39856

Tabla 11 ; Resultados ensayo de desgaste abrasivo material templado a 800°C

	PESO INICIAL (gramos)	PESO FINAL (gramos)	PERDIDA DE MASA (gramos)	PERDIDA DE VOLUMEN (mm^3)
PROBETA # 1	186.687	185.599	1.088	138.24651
PROBETA # 2	187.308	186.301	1.007	127.95426
PROBETA # 3	186.771	185.879	0.892	113.3418
Promedio			0.995667	126.51419

Tabla 12; Resultados desgaste abrasivo material revenido a 200°C

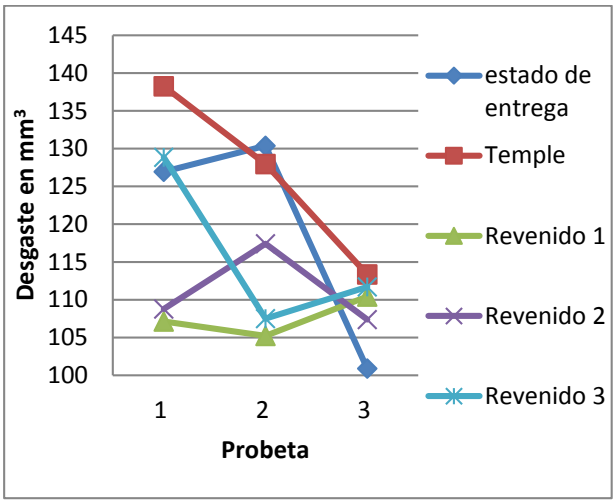
	PESO INICIAL (gramos)	PESO FINAL (gramos)	PERDIDA DE MASA (gramos)	PERDIDA DE VOLUMEN (mm^3)
PROBETA # 1	186.352	185.509	0.843	107.11563
PROBETA # 2	186.233	185.405	0.828	105.20966
PROBETA # 3	185.46	184.591	0.869	110.41931
Promedio			0.846667	107.58153

Tabla 13; Resultados desgaste abrasivo material revenido a 350°C

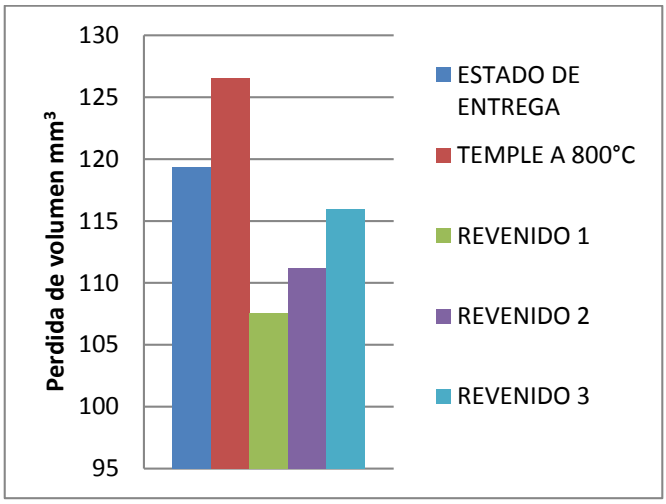
	PESO INICIAL (gramos)	PESO FINAL (gramos)	PERDIDA DE MASA (gramos)	PERDIDA DE VOLUMEN (mm^3)
PROBETA # 1	186.806	185.95	0.856	108.76747
PROBETA # 2	188.368	187.444	0.924	117.40788
PROBETA # 3	187.015	186.17	0.845	107.36976
Promedio			0.875	111.1817

Tabla 14 ; Resultados desgaste abrasivo material revenido a 450°C

	PESO INICIAL (gramos)	PESO FINAL (gramos)	PERDIDA DE MASA (gramos)	PERDIDA DE VOLUMEN (mm^3)
PROBETA # 1	185.467	184.453	1.014	128.84371
PROBETA # 2	185.108	184.262	0.846	107.49682
PROBETA # 3	184.123	183.244	0.879	111.68996
Promedio			0.913	116.01017



Grafica 1; Pérdida de volumen por desgaste abrasivo



Grafica 2; Comparativo de resistencia al desgaste abrasivo

6.1.2 Análisis de las superficies desgastadas

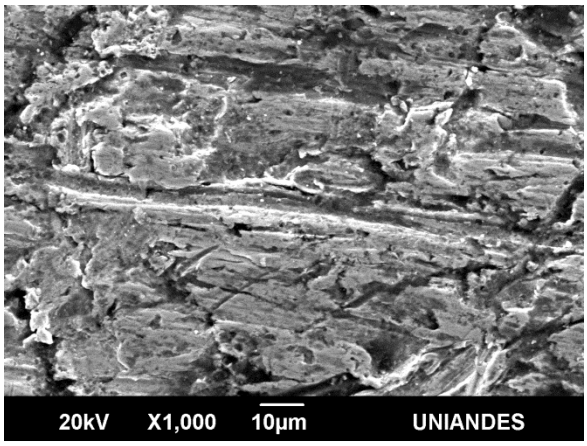


Figura 9 ; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 en estado de entrega tomada a 1000x

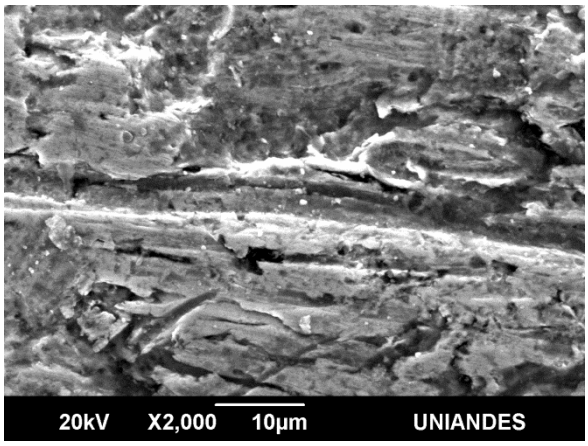


Figura 10; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 en estado de entrega tomada a 2000x

En la figura 9 y 10 podemos ver el comportamiento del material al ser sometido al ensayo de desgaste abrasivo, evidenciando una alta deformación plástica en la superficie ya que este presenta numerosos surcos profundos; además se puede observar varias microfatigas y desprendimiento del material siendo este tipo de desgaste más pronunciado en la muestra, además se muestra microcortes en la superficie.

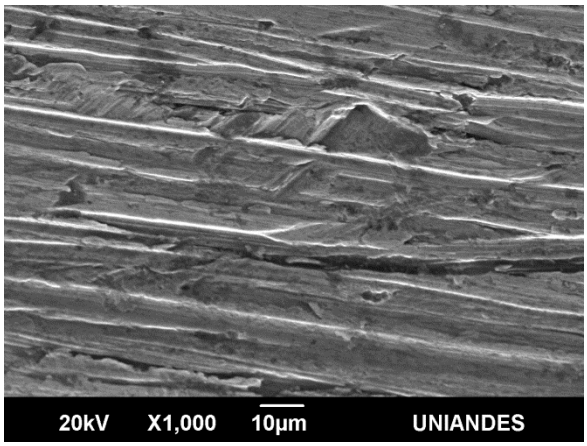


Figura 11; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 templado a 800°C tomada a 1000x

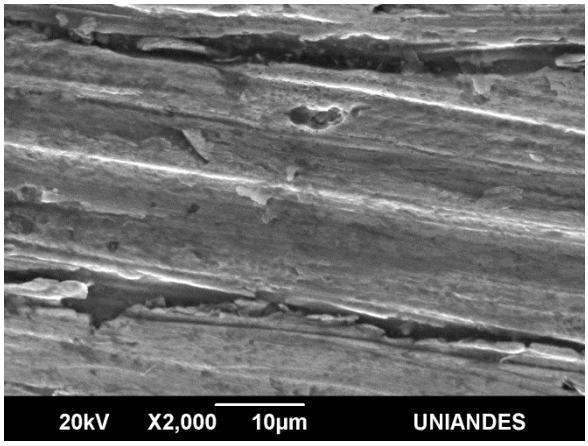


Figura 12; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 templado a 800°C tomada a 2000x

En las figuras 11 y 12 se evidencia un desgaste por scratching y algunas microgrietas ya que esta muestra posee una dureza superficial mayor al evidenciar mayor cantidad de surcos a menor profundidad.

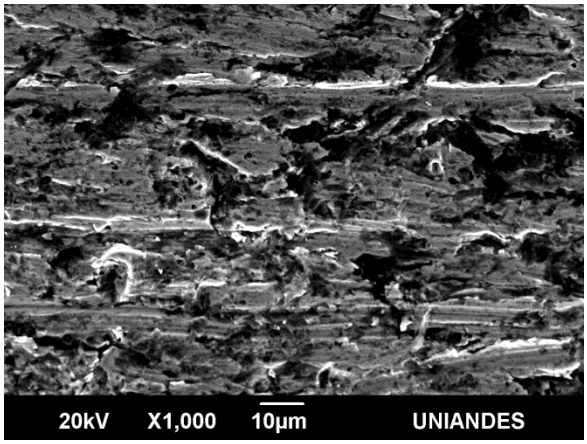


Figura 13; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 revenido a 200°C tomada a 1000x

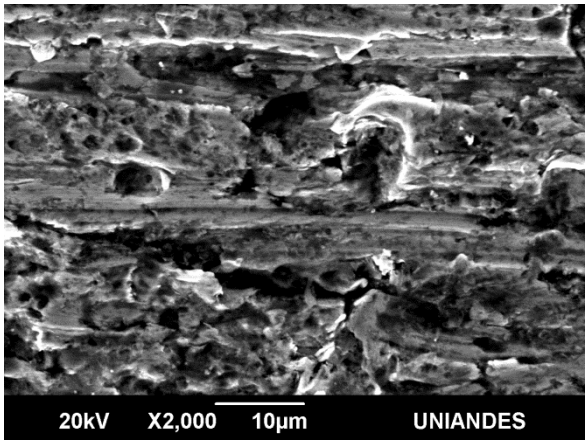


Figura 14; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 revenido a 200°C tomada a 2000x

En las figuras 13 y 14 observamos alta deformación plástica mostrando desprendimiento de material, acompañado de marcas características de microarado las cuales se aprecian en zonas intermedias en donde se presentó microfatiga en la superficie.

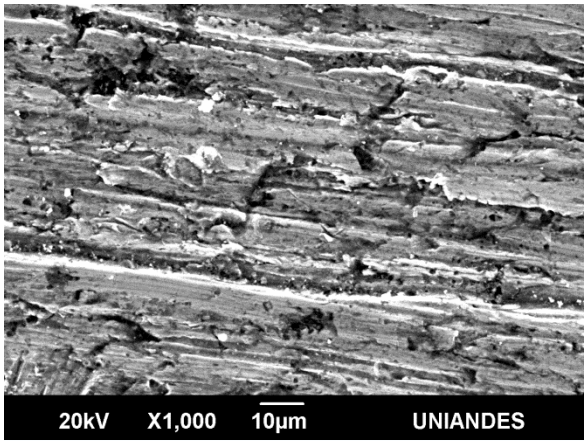


Figura 15; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 revenido a 350°C tomada a 1000x

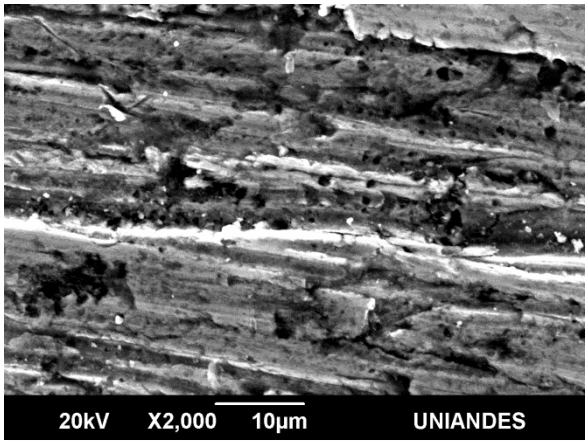


Figura 16; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 revenido a 350°C tomada a 2000x

En las figuras 15 y 16 se pude apreciar la combinación de bajo desprendimiento de material acompañado de mayor cantidad de microarado en la superficie, ya que la tensión del material es menor por el tratamiento térmico de revenido, se puede apreciar que en regiones de la huella se formar patrones más claros

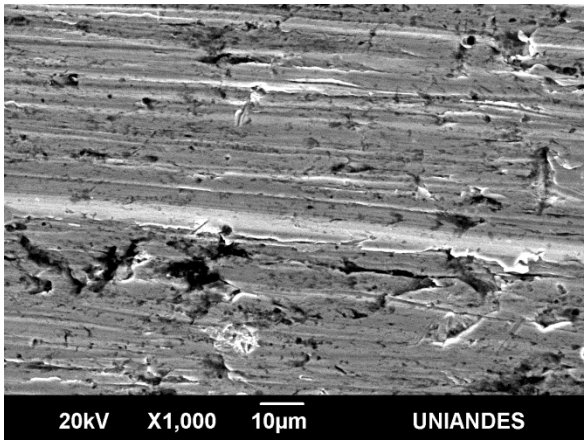


Figura 17; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 revenido a 450°C tomada a 1000x

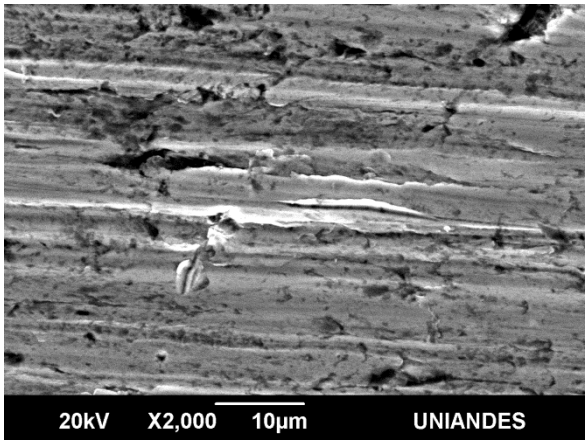


Figura 18; Huella de desgaste abrasivo acero AISI-SAE 1020 revenido a 450°C tomada a 2000x

En las figuras 17 y 18 se evidencia que el material alivio tensiones por lo cual permite que la huella presente una homogeneidad en su forma, se observa microcortes que pudieron ser generados por la incrustación de partículas abrasivos o el desprendimiento del material por la prueba.

6.2 Micrografías

Durante el estudio micrográfico de esta investigación, se procedió a caracterizar las microestructuras presentes en los distintos tratamientos evaluados, para lo cual se utilizó el microscopio óptico ZEIZS AX10 obteniendo micrografías a 500 y 1000 aumentos; adicional se realizó la prueba MEB (microscopia Electrónica de Barrido) en la universidad de Los Andes en el modo de alto vacío para muestras metalográficas, con el fin de complementar el análisis.

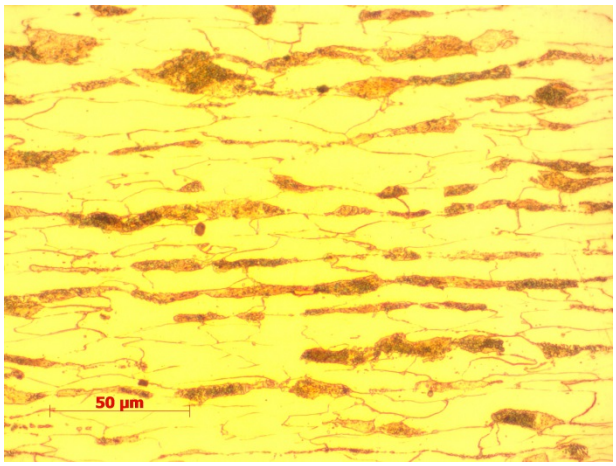


Figura 19; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material en estado de entrega (500x)

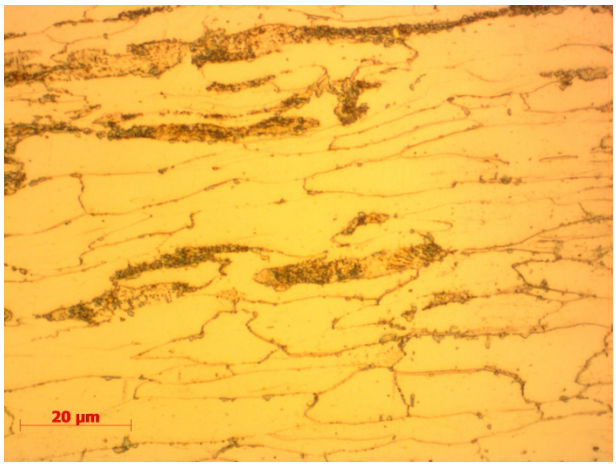


Figura 20; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material en estado de entrega (1000x)

En las figuras 19 y 20 se muestra una matriz ferritica, donde los granos claros son de hierro alfa ferrita y los oscuros son de perlita esferoidal, esto están compuesto de láminas de cementita dentro de la ferrita. Los granos alargados en una dirección se dan debido al proceso de laminación.

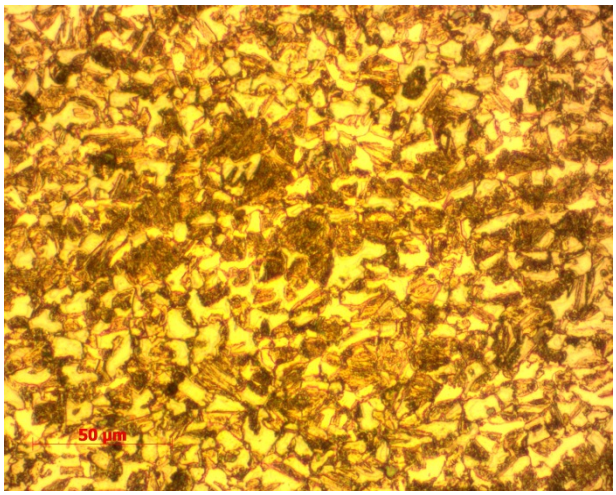


Figura 21; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material templado a 800°C (500x)

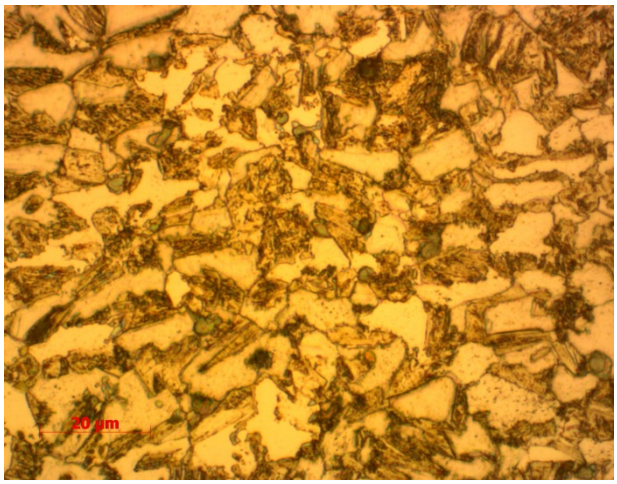


Figura 22; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material templado a 800°C (1000x)

En las figuras 21 y 22 correspondientes al temple a 800°C se puede observar un acercamiento a una estructura austenítica gracias a una velocidad de enfriamiento alta, por esto se puede apreciar la formación en diferentes sectores la presencia de martensita, para asegurar que hubo acercamiento al temple del material se realizó la prueba de porcentaje de fase la cual arrojo los siguientes resultados:

Tabla 15; Porcentaje de fase material templado

Fase	Porcentaje de área (%)
Fase Oscura	70.36
Fase clara	28.58

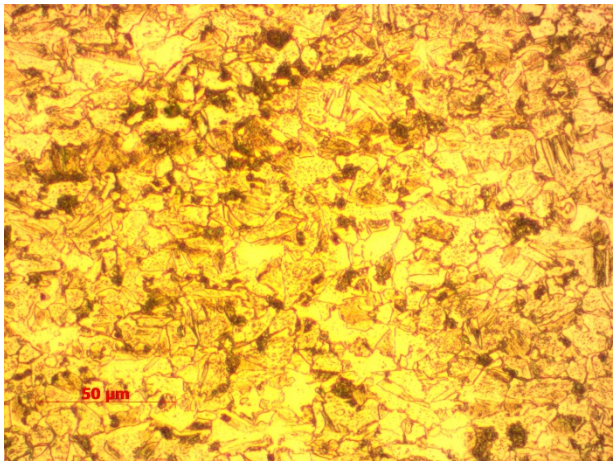


Figura 23; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material revenido a 200°C (500x)

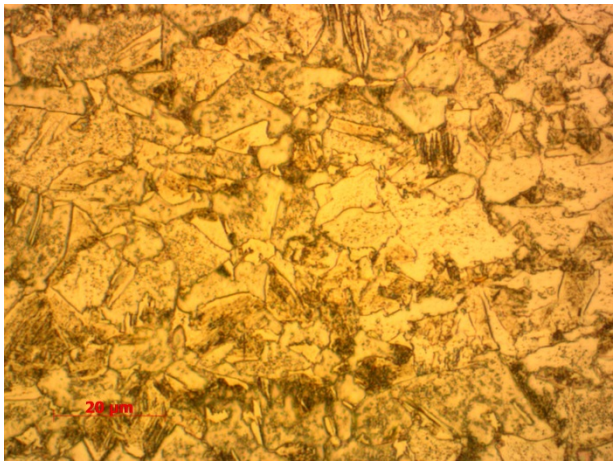


Figura 24; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material revenido a 200°C (1000x)

En las figuras 23 y 24 se ilustra el proceso de revenido a 200°C donde se observa granos de perlita acicular, las cuales se caracterizan por tener punta y ángulos los cuales son causados por el tratamiento de temple y revenido, se observa una gran cantidad de martensita acompañada de granos de ferrita y cementita que no han madurado hasta llegar a su forma granular, este tratamiento proporciona baja tenacidad y alta dureza.

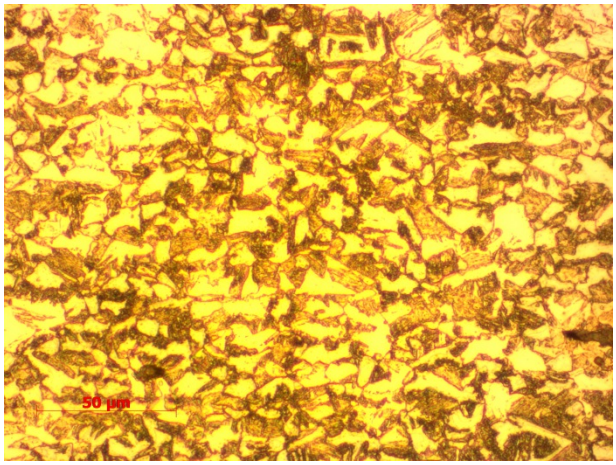


Figura 25; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material revenido a 350°C (500x)

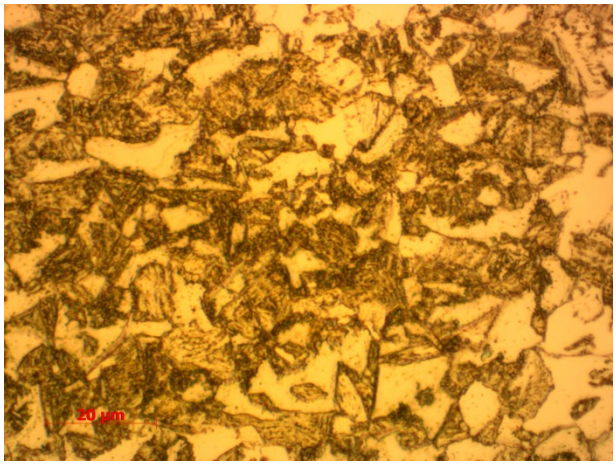


Figura 26; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material revenido a 350°C (1000x)

En las figuras 25 y 26 se puede observar la estructura del proceso de revenido a 350°C se ven facciones de ferrita y ausentita retenida, las corresponden a los granos blancos, los granos más oscuros son de perlita poseen una estructura más esferoidal que la que se presenta en el anterior tratamiento.

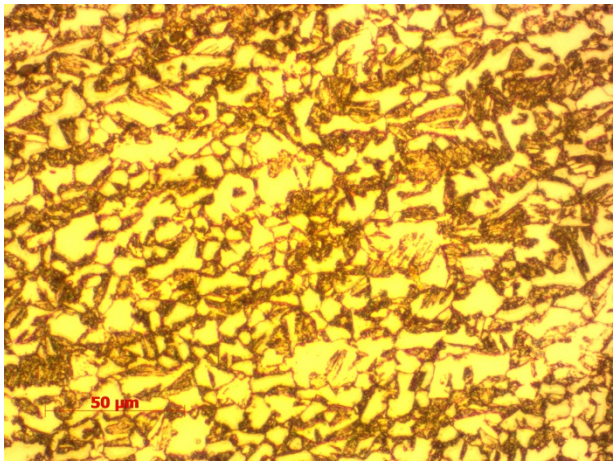


Figura 27; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material revenido a 450°C (500x)

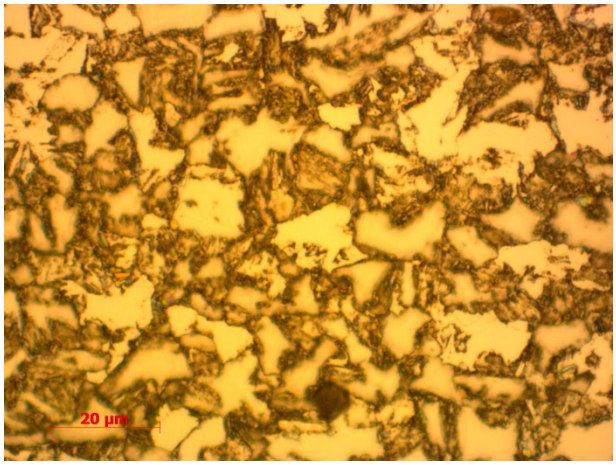


Figura 28; Micrografía acero AISI-SAE 1020 material revenido a 450°C (1000x)

En las figuras 27 y 28 correspondientes al revenido a 450°C se observan granos oscuros que corresponden a perlita y los claros son de ferrita acompañado de asutenita retenida (es decir que no alcanzaron la trasformación de perlita); además de estos se evidencia la restauración de un porcentaje de ferrita.

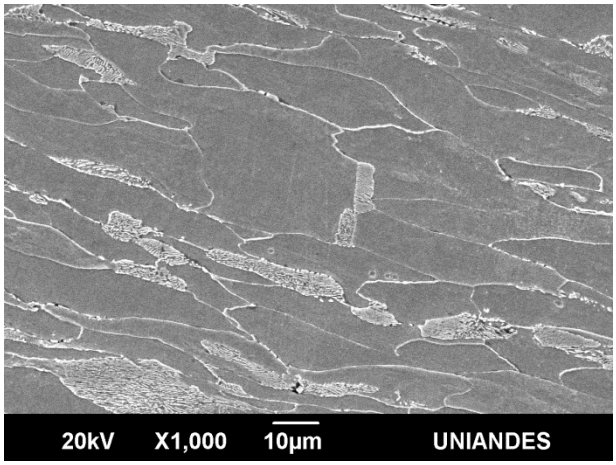


Figura 29; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material en estado de entrega, tomada a 1000x (MEB)

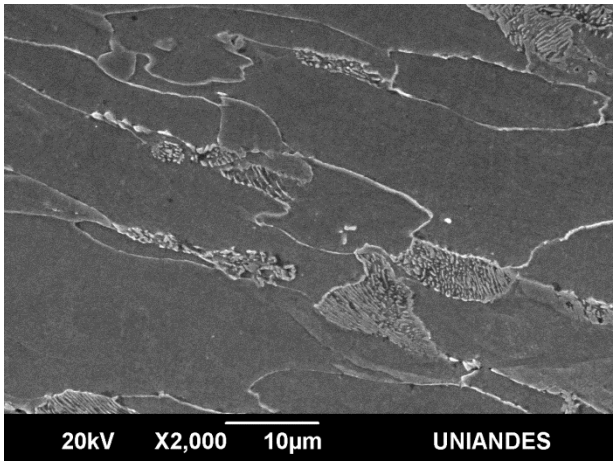


Figura 30; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material en estado de entrega, tomada a 2000x (MEB)

En las figuras 29 y 30 correspondientes al material en estado de entrega obtenidas con el método de MEB se evidencia con mayor claridad las láminas de cementita dentro de la ferrita confirmando que los granos oscuros corresponden a perlita esferoidal

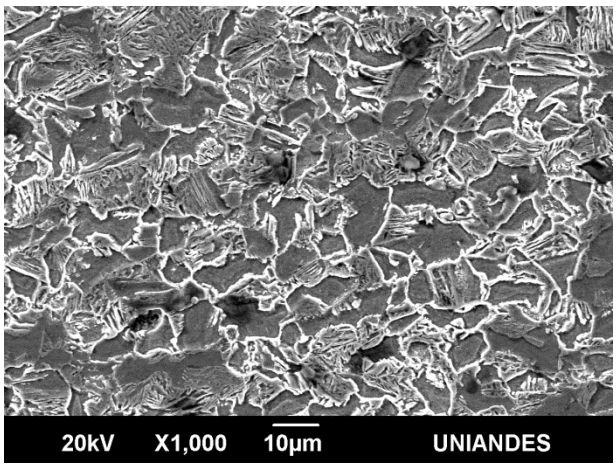


Figura 31; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material templado a 800°C, tomada a 1000x (MEB)

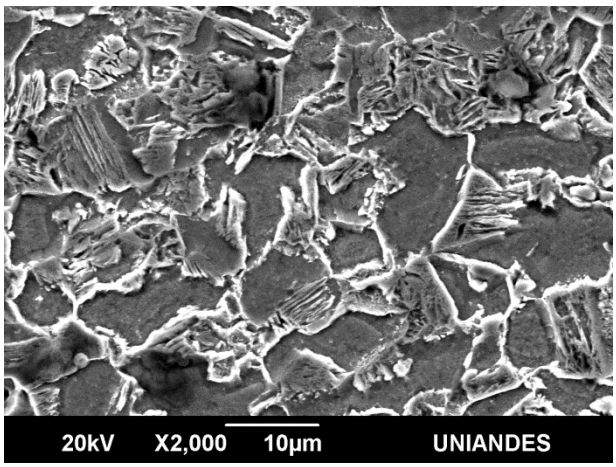


Figura 32; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material templado a 800°C, tomada a 2000x (MEB)

En las figuras 31 y 32 vemos la microestructura del material sometido a temple, se evidencia la presencia de martensita, las cuales son granos no muy bien definidos con una matriz de ferrita acompañada de agujas de cementita.

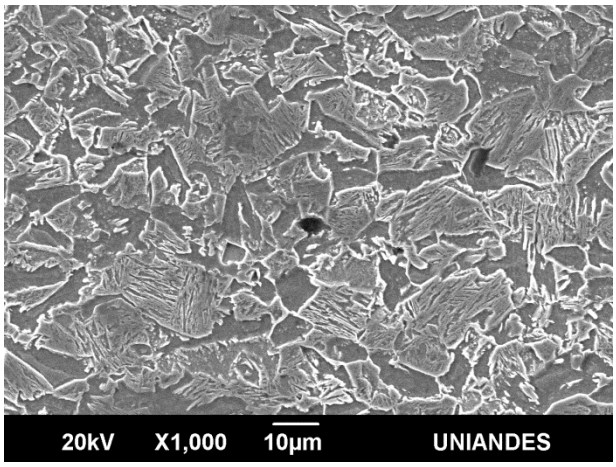


Figura 33; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material revenido a 200°C, tomada a 1000x (MEB)

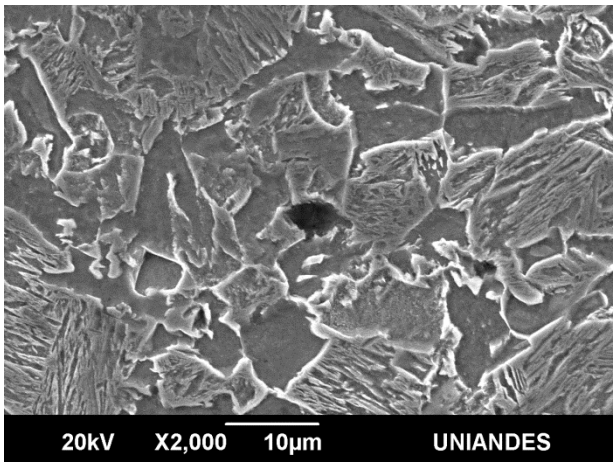


Figura 34; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material revenido a 200°C, tomada a 2000x (MEB)

En las figuras 33 y 34 se ilustra el proceso de revenido a 200°C se observa con mayor definición los límites de grano de perlita acicular además de la estructura más homogénea.

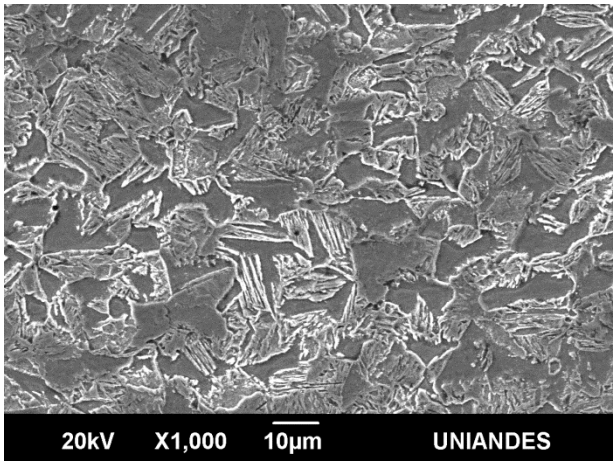


Figura 35; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material revenido a 350°C, tomada a 1000x (MEB)

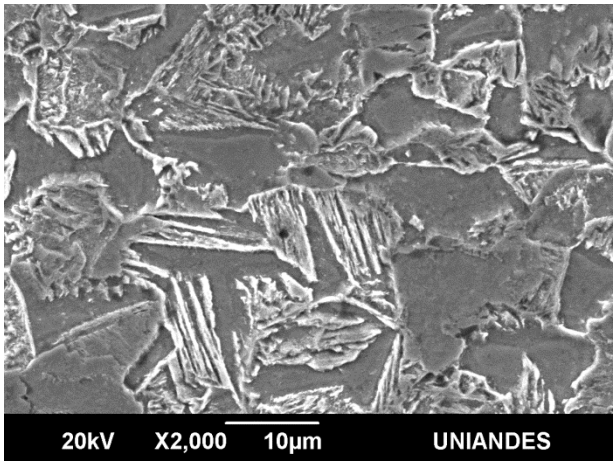


Figura 36; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material revenido a 350°C, tomada a 2000x (MEB)

En las figuras 25 y 26 se puede observar la estructura del proceso de revenido a 350°C se ven facciones de ferrita y ausentita retenida, las corresponden a los granos blancos, los granos más oscuros son de perlita poseen una estructura más esferoidal que la que se presenta en el anterior tratamiento.

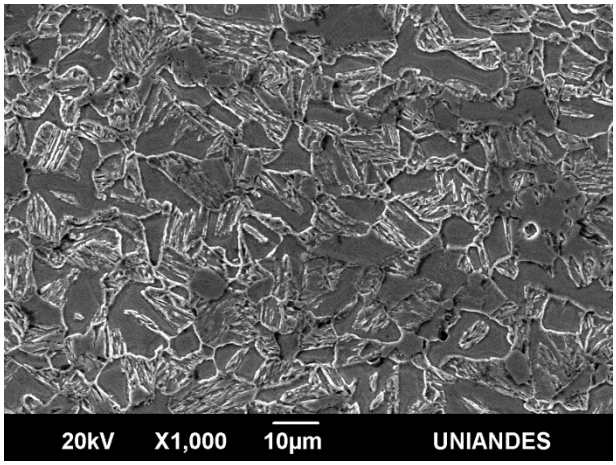


Figura 37; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material revenido a 450°C, tomada a 1000x (MEB)

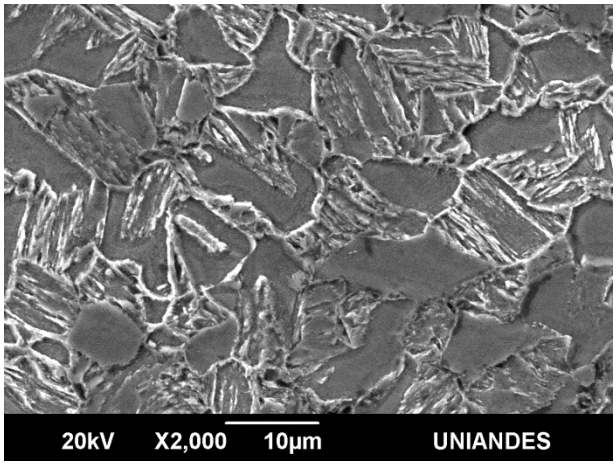


Figura 38; Microestructura acero AISI-SAE 1020 material revenido a 450°C, tomada a 2000x (MEB)

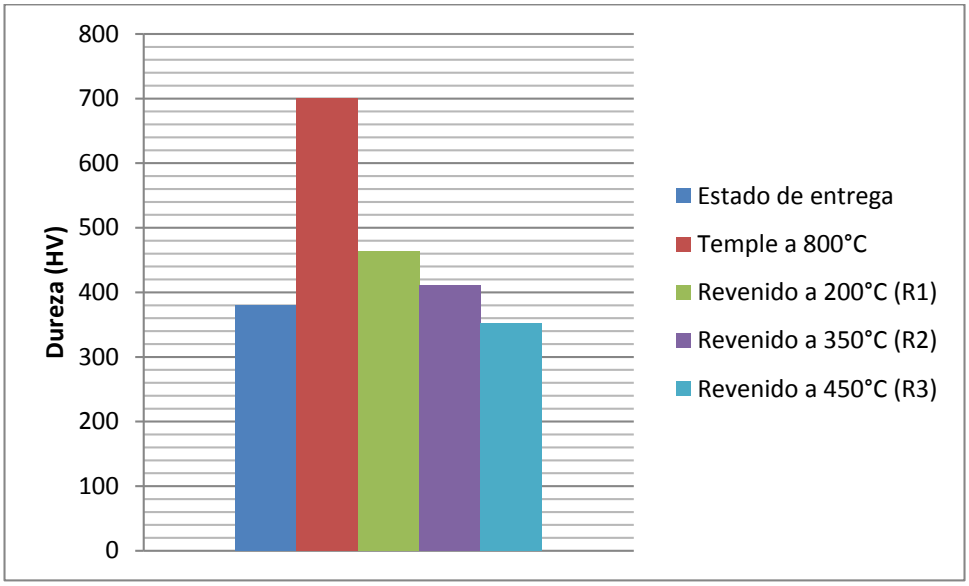
Las figuras 37 y 38 corresponden al material sometido al tratamiento térmico de revenido a una temperatura de 450°C, donde se observa en detalle los granos de perlita además de mayor cantidad de ferrita, lo cual indica una reducción de las tensiones de carga del material.

6.3 Dureza

Para realización de las pruebas de dureza se sometieron las probetas a varias repeticiones las cuales se obtuvo un promedio por cada tratamiento térmico arrojando los resultados descritos en la tabla 16 y en la gráfica 3, las cuales indican que el estado del material con mayor dureza es el de temple y el revenido a 200°C y a los datos indican que el estado con menor dureza es el de estado de entrega y revenido a 450°C.

Tabla 16; Promedios de dureza (vikers)

Tratamiento térmico	Promedio de dureza (HV)
Estado de entrega	380.4
Temple a 800°C	701
Revenido a 200°C (R1)	464.2
Revenido a 350°C (R2)	411.4
Revenido a 450°C (R3)	351.8



Grafica 3; Comparativo de dureza acero AISI-SAE 1020 sometido a diferentes tratamientos térmicos

7 Conclusiones

El objetivo principal de esta investigación es conocer el comportamiento del acero AISI-SAE 1020 al ser sometido a un desgaste abrasivo, basándose bajo la norma internación ASTM G-65, la cual no se pudo cumplir con todos los parámetros ya que el agente abrasivo exigido por la norma no es de fácil acceso, por tanto al sustituirlo el comportamiento del desgaste es diferente al esperado; teniendo en cuenta este factor podemos inducir que los aceros de bajo y medio contenido de carbono tiene un buen comportamiento frente al desgaste abrasivo al ser tratado térmicamente de la manera que se ajuste a la aplicación en la industria.

Los resultados indican que al realizar los diferentes tratamientos térmicos el comportamiento frente a la resistencia al desgaste abrasivo se puede mejorar luego de llevar un proceso de temple acompañado de un revenido a baja temperatura como se observa en la gráfica 1 donde el comportamiento del material es gradual, a medida que se aumentan las temperaturas de revenido el valor de perdida de volumen aumenta. En cuanto a la gráfica 2 observamos una conducta inestable, lo cual puede ser debido a una falta de calibración del equipo de desgaste abrasivo y a la irregularidad del agente abrasivo.

Los valores de dureza obtenidos tras los diferentes tratamientos térmicos demuestran un comportamiento al esperado como se observa en la gráfica 3, donde luego de someter el material al temple, sus valores de dureza se incrementaron, además, los resultados muestran una reducción gradual de la dureza a medida que se aumenta la temperatura de revenido.

En la micrografía se encontró con que el temple se logró una austenización parcial del material, donde se observaron durante los diferentes revenidos presencia de austenita retenida, además se evidencio que en el proceso de revenido a 200°C se presenció el cambio de la microestructura ya que la martensita predomino en esta.

8 Bibliografía

[1] ASTM G-65. *Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus.* ASTM International, 1998.

[2] ASTM E3-01. *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. ASTM International, 2001.

[3] ASTM E 384 – 99. *Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials.* ASTM International, 2002.

[4] Eduar A. Cruz, Francisco A. González (2012). *Estudio comparativo del comportamiento antidesgaste del acero templado AISI/SAE 4140 y el acero MAXDUR 450.*Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad Tecnológica, Bogotá D.C.

[5] ASM HANDBOOK Vol 9. (1998). Metallography *and Microstructures. United States of America*. 9 ed. ASM International

[6] Pérez C. Jaime (2001). *Influencia de la microestructura en el comportamiento a desgaste abrasivo evaluado bajo norma ASTM G-65 de depósitos de soldadura antidesgaste aplicados sobre sustratos de acero de baja aleación y bajo carbono***.** Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería, Bogotá D.C.

[7] Yu M. Lajtin. "*Metalografía y Tratamientos Térmicos de los Metales"*. Ed MIR. 1977

[8] Felipe A. Calvo "*Metalografía Practica"*. Ed ALHAMBRA, S.A. 1972