



Caracterización del acero API 5L grado B

Characterization of API 5L grade B Steel

Caracterização de aço API 5L grau B

Lidia Castro-Cepeda ^I

lidia.castro@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0471-2879>

Mónica Moreno-Barriga ^{II}

monica.moreno@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9881-6360>

Andrés Noguera-Cundar ^{II}

andres.noguera@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6763-9288>

Correspondencia: lidia.castro@esPOCH.edu.ec

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de investigación

***Recibido:** 16 de marzo de 2021 ***Aceptado:** 29 de abril de 2021 * **Publicado:** 05 de mayo de 2021

- I. Master Universitario en Ingeniería Matemática y Computación, Master Universitario en Ingeniería de la Energía, Ingeniera Industrial, Docente de Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica Del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Magister en Sistemas Integrados de Gestión de la Calidad Ambiente y Seguridad, Ingeniera Industrial, Tecnóloga Química Especialidad Industrial, Docente de Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica Del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Master Universitario en Ingeniería Mecánica, Ingeniero Automotriz, Docente de Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica Del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

Esta investigación se presenta una caracterización de un acero de tubería de transporte de petróleo a través de un análisis de espectrometría para encontrar los elementos de los que consta y al compararlo con la búsqueda teórica se reveló que es un acero API grado B. Luego se realizaron varias probetas con varios tratamientos térmicos; normalizado, temple, recocido y bonificado. A través de las micrografías se realizó una comparación entre las tomadas por el centro carroceros y en el microscopio de la ESPOCH y se verificó las características principales que permitirán posteriores análisis.

Palabras claves: Materiales; aceros bajo carbono; metalografía; dureza; microestructura.

Abstract

Esta investigación se presenta una caracterización de un acero de tubería de transporte de petróleo a través de un análisis de espectrometría para encontrar los elementos de los que consta y al compararlo con la búsqueda teórica se reveló que es un acero API grado B. Luego se realizaron varias probetas con varios tratamientos térmicos; normalizado, temple, recocido y bonificado. A través de las micrografías se realizó una comparación entre las tomadas por el centro carroceros y en el microscopio de la ESPOCH y se verificó las características principales que permitirán posteriores análisis.

Palabras claves: Materiales; aceros bajo carbono; metalografía; dureza; microestructura.

Resumo

Esta pesquisa apresenta a caracterização de um aço para dutos de transporte de óleo através de uma análise espectrométrica para encontrar os elementos que o constituem e ao compará-la com a pesquisa teórica revelou que se trata de um aço API grau B. vários corpos de prova com diversos tratamentos térmicos; normalizado, temperado, recozido e temperado. Por meio das micrografias, foi feita uma comparação entre as tiradas pelo fisiculturista e no microscópio ESPOCH e verificadas as principais características que permitirão análises posteriores.

Palavras-chave: Materiais; aços de baixo carbono; metalografia; dureza; Microestrutura.

Introducción

Los aceros al carbono son aquellos que tienen elementos de aleación en proporciones muy pequeñas, y además ellos son producto del proceso de fabricación de ese acero.

Los aceros al carbono tienen principalmente una microestructura ferrito – perlítica y las propiedades mecánicas dependen del contenido de carbono, que normalmente varía desde 0,05% hasta el 1% y de manganeso desde 0,25% hasta el 1,7%. (Belzunce, 2001)

Uno de los grupos de aceros más utilizados en la práctica, en forma de chapas, vigas, angulares, para la construcción de edificios, puentes, barcos, recipientes, etc. Son los aceros al carbono con menos de 0,25% C, para otras tantas aplicaciones se usan aceros con porcentajes mayores o se utilizan elementos aleantes que permiten modificar las características y propiedades para las distintas aplicaciones.

Estos aceros son muy utilizados en la industria petrolera y se pueden clasificar según su funcionalidad.

- Tuberías de revestimiento
- Tuberías de producción
- Tuberías de perforación
- Ductos (tubería de línea)
- Otros tubulares
- Tuberías flexibles
- Lastrabarreras (drill collars)
- Tubería pesada (heavy weight)

Para iniciar con la aplicación y explicación de cualquier método para diseño, es necesario y recomendable determinar la resistencia de los diferentes elementos tubulares.

Esto a la vez conduce a considerar las diferentes situaciones de falla que experimentan las tuberías.

La resistencia de un tubo se puede definir como una reacción natural que opone el material ante la imposición de una carga, a fin de evitar o alcanzar los niveles de una falla. La elección del material deberá ser en función de las necesidades de producción (petróleo, 2020)

Para este trabajo investigativo fue necesario elegir el material y se buscó en la industria petrolera ecuatoriana quienes cedieron dos tipos de materiales para transporte de petróleo, sin embargo, al

ser material de desperdicio se desconocía que tipo de acero es por lo que es necesario realizar análisis metalográfico para definir y caracterizar este material.

Metodología

Es necesario realizar ciertas actividades previas, para capturar las micrografías del material. Conociendo que un buen proceso metalográfico revele las microestructuras y sus características. Es importante realizar entonces:

Selección del material

Para ello se tomó en cuenta dos aspectos importantes:

Material usado en la industria petrolera.

El distribuidor de este material fue la industria petrolera ecuatoriana.

Corte de la muestra

Es un proceso en el que se produce calor, por fricción, y se raya el metal. Para el estudio se realizó cortes transversales ya que de esta manera podemos identificar sus micro-constituyentes. Este material se cortó de la tubería de transporte de petróleo donada por la industria petrolera ecuatoriana. (GUY, 2002).

Se cortaron varios tipos de probetas. Para el análisis de espectrometría se cortaron probetas en forma rectangular de 1x1,5 cm. Para realizar los tratamientos térmicos se realizaron probetas en forma de paralelepípedo de largo 5 cm, ancho 1 cm y espesor 1 cm. Finalmente se cortaron probetas circulares de 1 cm de diámetro a las que se le dieron los mismos tratamientos térmicos para realizar los análisis de corrosión.

Espectrometría

Se usa para el análisis de elementos metálicos en muestras sólidas. Para materiales no conductores, se usa polvo de grafito para hacer conductora la muestra.

En los métodos de espectroscopia de arco tradicionales se usa una muestra sólida, las fuentes de chispa con descargas controladas bajo una atmósfera de argón permiten que este método pueda ser

considerado eminentemente cuantitativo, y su uso está muy extendido en los laboratorios de control de producción de fundiciones y acerías. (Pérez, 2021)

Tratamientos térmicos

Suministro: sin ningún tratamiento térmico, el material se usa tal cual se lo ha enviado la industria petrolera.

Normalizado: el normalizado consiste en calentar rápidamente el material hasta una temperatura crítica, manteniéndose durante un tiempo en ella. El enfriamiento posterior se realiza al aire, dando lugar a la recristalización y afino de la perlita.

Recocido: tratamiento térmico que consiste en calentar la pieza hasta una temperatura dada. Posteriormente el acero es sometido a un proceso de enfriamiento lento en el interior del horno apagado. De esta forma se obtienen estructuras de equilibrio. Son generalmente tratamientos iniciales mediante los cuales se ablanda el acero.

Temple: tratamiento térmico al que se somete a piezas ya conformadas de acero para aumentar su dureza, resistencia a esfuerzos y tenacidad.

Bonificado: es un caso particular del temple y revenido, llamado así en la práctica cuando la pieza templada se reviene a una temperatura relativamente alta, rebajando su dureza a un valor intermedio para cumplir determinadas necesidades de tenacidad

Análisis metalográfico

Desbaste de probetas metalográficas.

Una vez cortadas y mecanizadas las probetas se desbastaron sobre una superficie plana de acuerdo a lo estipulado en la norma ASTM E7.

Pulido de probetas metalográficas

La etapa del pulimento es ejecutada con paños especiales, para las pulidoras disponibles en el laboratorio se debe utilizar los paños DP/OP que están equipados con un adhesivo que es adherido en al disco giratorio del equipo.

Ataque metalográfico de las probetas

Se utilizó dos modos de ataque con los cuales se lograron los mismos resultados:

Sumergir la probeta en el reactivo con la cara que se observará hacia arriba,

Mojando un algodón con el reactivo y frotar la cara de la probeta.

El ataque químico tiene como objetivo revelar las fases y micro-constituyentes.

Observación metalográfica

Después de ser atacada químicamente, la muestra está lista para ser observada en el microscopio; principal instrumento en este proceso, su sistema de iluminación lo que representa una técnica avanzada y se basa en la amplificación de la superficie para observar las características estructurales microscópicas o microestructura (SHACKELFORD, 1988).

Análisis de los resultados

Los datos de la composición química se obtienen a través de los ensayos de espectrometría en el laboratorio de materiales de la ESPOCH, cuyos datos están resumidos en tabla 1.

Tabla 1: Composición química de la probeta

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	W [%]	B [%]	Su [%]	Fe [%]
0.27	0.264	0.379	<0,0030	0.0035	0.134	0.045	0.062	0.098	0.048	0.0083	<0,0050	0.004	0.007	<0,020	<0,0010	0.0110	98.66
0.26	0.272	0.398	<0,0030	0.0043	0.139	0.045	0.058	0.102	0.029	0.0093	<0,0050	0.004	0.007	<0,020	<0,0010	0.0097	98.64
0.27	0.281	0.406	<0,0030	0.0041	0.138	0.046	0.065	0.102	0.052	0.0079	<0,0050	0.004	0.007	<0,020	<0,0010	0.0100	98.59
0.27	0.27	0.4	<0,0030	0.0040	0.14	0.05	0.06	0.10	0.04	0.01	<0,0050	0.004	0.007	<0,020	<0,0010	0.010	98.63

Fuente: Laboratorio Materias de la ESPOCH

Estos datos se comparan con datos técnicos a través de búsqueda bibliográfica para verificar que tipo de material será estudiado. La composición química se observa en la tabla 2, de aceros API 5L de diferentes grados donde se ha subrayado el material al que más se asemeja con su composición que se obtuvo de la espectrometría, según el porcentaje la opción más adecuada es API grado B.

Tabla 2: Composición química Acero API 5L de diferentes grados.

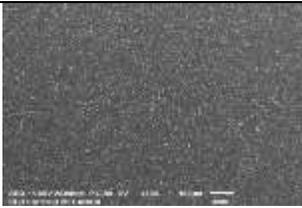
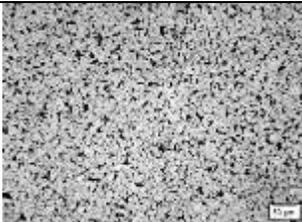
Chemical composition for API 5L PSL1 Pipe								
Steel Grade (Steel Name)	Wall Thickness ≤ 25.0 mm (0.984 in)							
	Mass fraction, based upon heat and product analyses							
	%							
	C	Mn	P		S	V	Nb	Ti
max	max	min.	max	max	max	max	max	max
Seamless pipe								
L175 or A25	0.21	0.60	—	0.030	0.030	—	—	—
L175P or A25P	0.21	0.60	0.045	0.080	0.030	—	—	—
L210 or A	0.22	0.90	—	0.030	0.030	—	—	—
L245 or B	0.28	1.20	—	0.030	0.030	c,d	c,d	d
L290 or X42	0.28	1.30	—	0.030	0.030	d	d	d
L320 or X46	0.28	1.40	—	0.030	0.030	d	d	d
L360 or X52	0.28	1.40	—	0.030	0.030	d	d	d
L390 or X56	0.28	1.40	—	0.030	0.030	d	d	d
L415 or X60	0.28	1.40	—	0.030	0.030	f	f	f
L450 or X65	0.28	1.40	—	0.030	0.030	f	f	f
L485 or X70	0.28	1.40	—	0.030	0.030	f	f	f

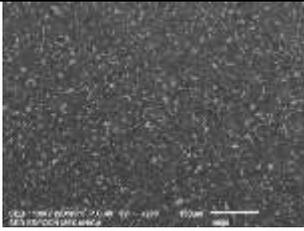
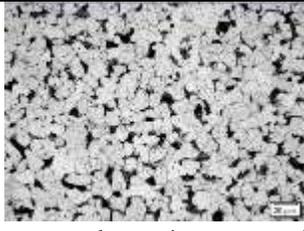
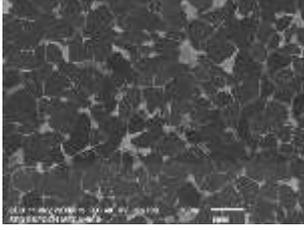
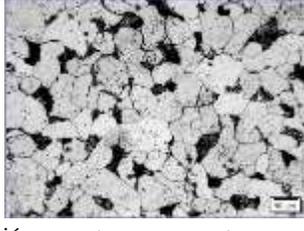
- a. Cu ≤ 0,50 %; Ni ≤ 0,50 %; Cr ≤ 0,50 % and Mo ≤ 0.15%
- b. For each reduce of 0.01% Carbon Max, an increase of 0.05% of maximum Mn is permitted, up to a maximum of 1.65 for grade ≥ B or L245, but ≤ X52 or L360; Up to max 1.75% for grades above L360 or X52, but below L485 or X70; And up to 2.00% max for grade X70 or L485.
- c. Unless otherwise agreed, Nb + V ≤ 0.06%.
- d. Nb + V + Ti ≤ 0.15%.
- e. Unless otherwise agreed.
- f. Unless otherwise agreed, Nb + V + Ti ≤ 0.15%.
- g. B shall be not added in on purpose, and maximum B is 0.001%.

Fuente: <https://www.octalsteel.com/api-5l-pipe-specification>

Análisis de micrografías, para ello se realizaron con la ayuda de dos microscopios, Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero y del Laboratorio de Materiales de la ESPOCH; se comparó y analizó las microestructuras que se detallan en las siguientes tablas:

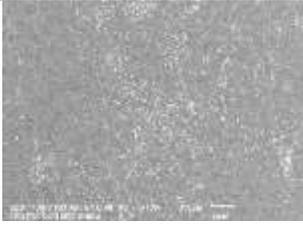
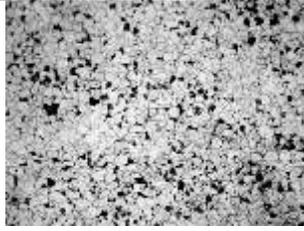
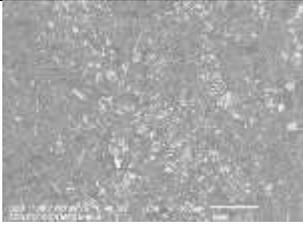
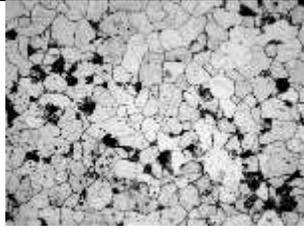
Tabla 3: Comparación micrográfica después de aplicar tratamiento térmico de normalizado

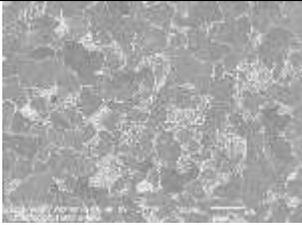
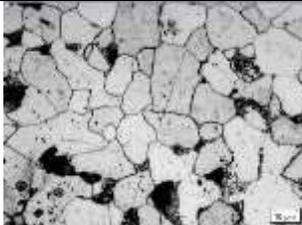
COMPARACIÓN MICROGRAFÍAS ESPOCH – CENTRO CARROCERO ACERO API 5L GRADO B	
ESPOCH	CENTRO CARROCERO
Normalizado a 100x	Normalizado a 20x
 <p>Parte oscura se trata de perlita mientras que la parte clara se trata de ferrita. Se trata de una estructura de perlita + ferrita</p>	 <p>Se trata de una estructura de perlita + ferrita. Es una fotografía con mejor definición.</p>

<p>Normalizado a 200x</p>  <p>Se observa menor área al pasar de 100x a 200x la ferrita de color blanca mientras que la zona oscura se trata de la perlita.</p>	<p>Normalizado a 50x</p>  <p>El tamaño de grano no es tan homogéneo, pero se observa con claridad que el porcentaje de ferrita le supera al porcentaje de perlita.</p>
<p>Normalizado a 700x</p>  <p>Se observa menor área al pasar de 200x a 700x mostrando una microestructura perlítico ferrítico, es decir ferrita en una matriz perlítica</p>	<p>Normalizado a 100x</p>  <p>A mayor ampliación muestra unos puntos pequeños que podrían tratarse de carburos.</p>

Fuente: Elaboración propia.

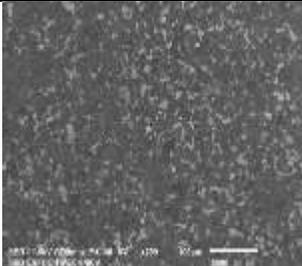
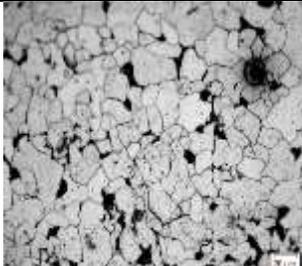
Tabla 4: Comparación micrográfica después de aplicar tratamiento térmico de recocido

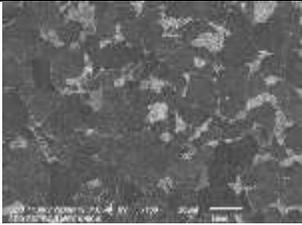
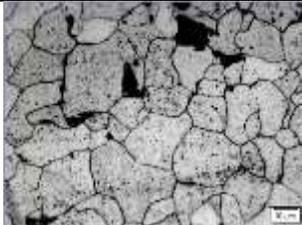
COMPARACIÓN MICROGRAFÍAS ESPOCH – CENTRO CARROCERO ACERO API 5L GRADO B	
ESPOCH	CENTRO CARROCERO
<p>Recocido a 100x</p>  <p>Su microestructura es ferrita más perlita es decir perlita en matriz ferrítica. Homogeneidad de los granos presentes en la microestructura.</p>	<p>Recocido a 20x</p>  <p>Se aprecia con claridad la homogeneidad de los granos gracias a que se puede observar los límites de grano, evidenciando así dos fases: ferrita y perlita.</p>
<p>Recocido a 200x</p>  <p>Se observa menor área al pasar de 100x a 200x con mayor claridad los tamaños de grano y también las</p>	<p>Recocido a 50x</p>  <p>La ferrita se presenta de mayor cantidad en comparación que la perlita.</p>

fases presentes evidenciando las dos fases: ferrita y perlita	
Recocido a 700x	Recocido a 100x
 <p>Los granos que se encuentran en su interior limpios se los considera como ferrita mientras que los granos que se encuentra en su interior una estructura de perlita.</p>	 <p>A mayor ampliación podemos decir que se trata de una microestructura de perlita en una matriz ferrítica.</p>

Fuente: Elaboración propia

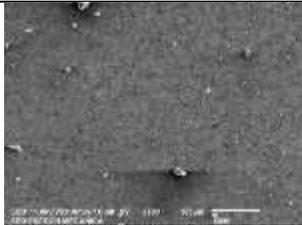
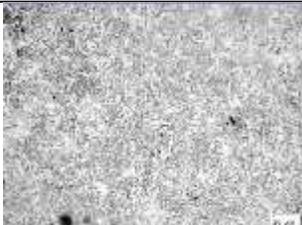
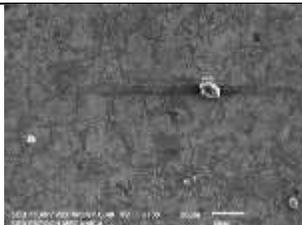
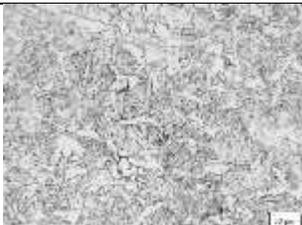
Tabla 5: Comparación micrográfica después de aplicar tratamiento térmico de suministro

COMPARACIÓN MICROGRAFÍAS ESPOCH – CENTRO CARROCERO ACERO API 5L GRADO B	
ESPOCH	CENTRO CARROCERO
Suministro a 100x	Suministro a 20x
 <p>Parte oscura se trata de perlita mientras que la parte clara se trata de ferrita. Se trata de una estructura de perlita + ferrita.</p>	 <p>Se puede apreciar claramente los límites de grano, aunque no son homogéneos, pero se puede apreciar las fases de perlita y ferrita.</p>
Suministro a 200x	Suministro a 50x
 <p>Se observa menor área al pasar de 100x a 200x, presenta un mayor porcentaje de ferrita en comparación con la perlita.</p>	 <p>Los tamaños de granos son diferentes entre sí y también el porcentaje de ferrita es superior a la perlita.</p>

<p>Suministro a 700x</p>  <p>Se observa menor área al pasar de 200x a 700x, presenta una microestructura ferrítico perlítico.</p>	<p>Suministro a 100x</p>  <p>Se puede constatar de perlita en una matriz ferrítica.</p>
--	---

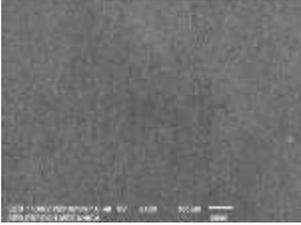
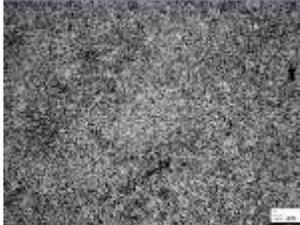
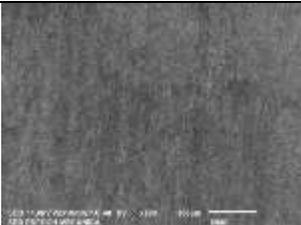
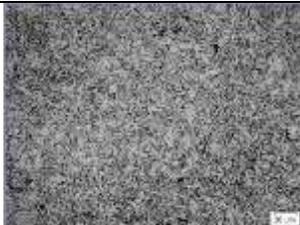
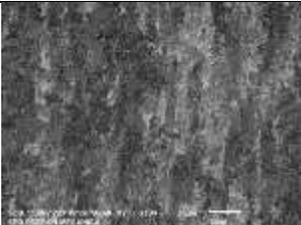
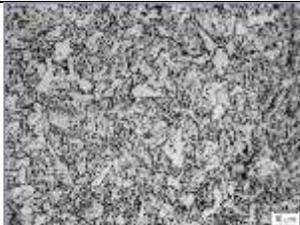
Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Comparación micrográfica después de aplicar tratamiento térmico de temple

COMPARACIÓN MICROGRAFÍAS ESPOCH – CENTRO CARROCERO ACERO API 5L GRADO B	
ESPOCH	CENTRO CARROCERO
<p>Temple a 100x</p>  <p>Se observa menor área al pasar de 200x a 700x, presenta una microestructura ferrítico perlítico.</p>	<p>Temple a 20x</p>  <p>A 20x se puede observar puntos negros que se tratarían de inclusiones.</p>
<p>Temple a 200x</p>  <p>Se observa menor área al pasar de 100x a 200x, presenta una microestructura martensítica porque los puntos negros se tratarían de carbono saturado.</p>	<p>Temple a 50x</p>  <p>A 50x se puede observar de mejor forma la matriz tipo acicular debido al tipo de tratamiento al que ha sido expuesto.</p>
<p>Temple a 700x</p>  <p>Se puede apreciar una microestructura de forma acicular porque la estructura no muestra límites de grano ya que este tratamiento se lo realiza con enfriamiento rápido. Además, los puntos de color blanco se podrían tratar de inclusiones para observar de mejor manera se recomendaría la tomar la imagen a color.</p>	<p>Temple a 100x</p>  <p>A mayor ampliación se observar una microestructura acicular es decir en forma de agujas</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Comparación micrográfica después de aplicar tratamiento térmico de bonificado

COMPARACIÓN MICROGRAFÍAS ESPOCH – CENTRO CARROCERO ACERO API 5L GRADO B	
ESPOCH	CENTRO CARROCERO
Bonificado a 100x  La microestructura a 100x no es apreciable con claridad la forma con la que se presenta las fases.	Bonificado a 20x  A 20x se observa una microestructura con tamaños de granos no homogéneos.
Bonificado a 200x  Se observa menor área al pasar de 100x a 200x, la microestructura rayada se da porque se trata de una estructura con dos fases: perlita y cementita	Bonificado a 50x  A 50x se observa con mayor claridad que en algunos lugares no posee límite de grano esto es particular cuando se realiza este tipo de tratamiento.
Bonificado a 700x  Se observa menor área al pasar de 200x a 700x, presenta una microestructura más clara pudiendo decir con seguridad que se trata perlita en una matriz de cementita.	Bonificado a 100x  Se puede apreciar con claridad de perlita con matriz cementita.

Fuente: Elaboración propia

Luego también se realizó el análisis de dureza del acero API 5L Grado B. Se realizaron dos tipos de ensayo de dureza, dureza Vickers y dureza Brinell en el Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero para cada tratamiento térmico a una misma temperatura y humedad fueron tomadas cinco mediciones. Los datos obtenidos durante el ensayo Brinell se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 8: Dureza Brinell (Normalizado)

TRATAMIENTO	NORMALIZADO		
MEDICIÓN	Temperatura °C	Humedad %	Dureza Brinell
1	21.2	54.2	139
2			140
3			143
4			135
5			139
Promedio			139.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Dureza Brinell (Suministro)

TRATAMIENTO	SUMINISTRO		
MEDICIÓN	Temperatura °C	Humedad %	Dureza Brinell
1	21	54.4	164
2			162
3			165
4			162
5			163
Promedio			163.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Dureza Brinell (Bonificado)

TRATAMIENTO	BONIFICADO		
MEDICIÓN	Temperatura °C	Humedad %	Dureza Brinell
1	21.2	54.1	139
2			142
3			141
4			143
5			146
Promedio			142.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Dureza Brinell (Recocido)

TRATAMIENTO	RECOCIDO		
MEDICIÓN	Temperatura °C	Humedad %	Dureza Brinell
1	21.1	54.2	119
2			120
3			117
4			120
5			121
Promedio			119.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Dureza Brinell (Temple)

TRATAMIENTO	TEMPLE		
MEDICIÓN	Temperatura °C	Humedad %	Dureza Brinell
1	21.1	53.9	163
2			174
3			182
4			175
5			177
Promedio			174.2

Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos del ensayo de dureza Vickers se muestra a continuación:

Tabla 13: Dureza Vickers (Normalizado)

TRATAMIENTO	NORMALIZADO				
MEDICIÓN	Temperatura °C	Humedad %	Diagonal 1 (µm)	Diagonal 2 (µm)	Dureza Vickers
1	21.7	49.9	116.19	116.7	136.8
2			114.91	115.05	140.3
3			115.57	115.62	138.8
4			114.4	115.14	140.8
5			116.73	115.97	137
Promedio					138.74

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Dureza Vickers (Suministro)

TRATAMIENTO	SUMINISTRO				
MEDICIÓN	Temperatura °C	Humedad %	Diagonal 1 (µm)	Diagonal 2 (µm)	Dureza Vickers
1	21.7	49.9	104.86	105.57	167.5
2			106	105.16	166.4
3			107.84	106.61	161.3
4			107.74	105.87	162.6
5			106.6	106.6	163.2
Promedio					164.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Dureza Vickers (Bonificado)

TRATAMIENTO	BONIFICADO				
MEDICIÓN	Temperatura °C	Humedad %	Diagonal 1 (µm)	Diagonal 2 (µm)	Dureza Vickers
1	21.8	49.9	109.97	109.25	154.3
2			109.41	110.58	153.3
3			108.96	109.23	155.8
4			112.72	111.97	148.2
5			112.67	111.28	147.9
Promedio					151.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Dureza Vickers (Recocido)

TRATAMIENTO	RECOCIDO				
MEDICIÓN	Temperatura °C	Humedad %	Diagonal 1 (µm)	Diagonal 2 (µm)	Dureza Vickers
1	21.8	49.7	126.55	125.19	117
2			125.59	126.06	117.1
3			126.92	125.9	116
4			126.07	126.41	116.4
5			126.71	125.75	116.4
Promedio					116.58

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Dureza Vickers (Temple)

TRATAMIENTO	TEMPLE				
MEDICIÓN	Temperatura °C	Humedad %	Diagonal 1 (µm)	Diagonal 2 (µm)	Dureza Vickers
1	23.2	46.6	96.11	96.38	200.2
2			97.3	97.34	195.8
3			97	98.06	195
4			96.29	97.45	197.6
5			95.89	96.11	201.2
Promedio					197.96

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

A través de esta investigación se evidencia el tipo de acero con el que se está trabajando a lo largo del proyecto de investigación, puesto que al ser un material excedente de la industria petrolera no se contaba con la ficha técnica que precisa sus características.

A través del análisis metalográfico se pudo describir todas las microestructuras de las que consta este acero que tiene un 0,27% de carbono, siendo las más importante perlita y ferrita en la probeta de suministro y así mismo las características en cada tratamiento térmico.

Los estudios se hicieron a través del uso de diferentes microscopios metalográficos y con ello se pudo comparar la calidad de las micrografías y utilizar las que mejores ventajas presentan para el desarrollo de la investigación.

De acuerdo a la exhaustiva búsqueda bibliográfica se concluye que el acero motivo de estudio es un acero API 5L grado B, por lo que se recomienda seguir con la experimentación usando las características de este material.

El tratamiento térmico con el que se obtuvo mayor dureza es el temple con un valor de 174.2 de dureza Brinell y 197.96 de dureza Vickers.

A partir de la información recopilada se recomienda ampliar el estudio de nuevos materiales que no fueron utilizados en el presente análisis metalográfico, con la finalidad de abarcar mayor información de los materiales útiles en la industria petrolera.

Referencias

1. Belzunce, F. J. (2001). ACEROS Y FUNDICIONES: ESTRUCTURAS, TRANSFORMACIONES, TRATAMIENTOS TERMICOS Y APLICACIONES. Oviedo: Universidad de Oviedo.
2. GUY, J. (2002). Fundamentos de Ciencias de Materiales. Barcelona: SILVER.
3. Pérez, G. (13 de 01 de 2021). ESPECTROMETRIA .COM. Obtenido de ESPECTROMETRIA .COM: https://www.espectrometria.com/tipos_de_espectrometria
4. Petróleo, T. (11 de 01 de 2020). El petróleo, tuberías. Obtenido de
5. SHACKELFORD, J. (1988). Ciencia de Materiales para Ingenieros. California: Planet.
6. Stoecker, W. F. (1998). Industrial Refrigeration Handbook. New York: McGraw-Hill.
7. TROJAN, F. (1990). Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones. Alemania: ANELE.
8. Wexler, P. (2014). Encyclopedia Of Toxicology. London: Elsevier.
9. Octal. (2020). API 5L Pipe Specification (46th Edition Updated on 2020) Recuperado de: <https://www.octalsteel.com/api-5l-pipe-specification>.
10. Rey, O & Peña, D. (2010). Evaluación del Efecto Sinérgico Entre la Concentración de Cloruros y el Contenido de CO₂ en un Acero API 5L Grado B, Mediante la Técnica de Ruido Electroquímico. Universidad industrial de Santander. Colombia.

© 2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)