



Caracterización de acero API 5l grado A

Characterization of API 5L Grade A Steel

Caracterização do Aço API 5L Grau A

Mónica Moreno-Barriga ^I

monica.moreno@epoch.edu.ec

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

Andrés Noguera-Cundar ^{II}

andres.noguera@epoch.edu.ec

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

Lidia Castro-Cepeda ^{III}

lidia.castro@epoch.edu.ec

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

Correspondencia: monica.moreno@epoch.edu.ec

Ciencias técnica y aplicada

Artículo de investigación

***Recibido:** 15 de noviembre de 2020 ***Aceptado:** 21 de diciembre de 2020 * **Publicado:** 09 de enero de 2021

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

Resumen

El presente trabajo fue realizado con el fin de comparar el tipo de acero empleado en una tubería en la industria petrolera, comparando su microestructura, composición, así como los diferentes tratamientos a los que serán sometidas las probetas normalizadas. Según la norma UNE EN 10020:2001, se define al acero como aquel material en el que el hierro es el elemento predominante, el contenido en carbono es, generalmente inferior al 2% y contiene además a otros elementos.

El límite superior del 2% en el contenido de carbono (C) es el límite que separa al acero de la fundición. En general, un aumento del contenido de carbono en el acero eleva su resistencia a la tracción, pero como contrapartida incrementa su fragilidad en frío y hace que disminuya la tenacidad y la ductilidad. En la industria petrolera el Grado en API es una designación alfa o alfanumérica, nos ayuda a identificar el nivel de resistencia de un tubo, y está relacionada con la composición química del acero. La especificación API 5L para una tubería de conducción, va desde grados bajos como L175 o A25, o los más altos L830 o X120. La parte numérica de la designación representa la resistencia, además es el mínimo esfuerzo de fluencia soportado por el tubo en MPa y ksi. El esfuerzo de fluencia es aquel esfuerzo que soporta un material metálico, al someterse a una fuerza de tensión, justo antes de deformarse permanentemente. Por lo que es necesario la comparación con otros materiales.

Palabras claves: Api, API 5L; esfuerzo de fluencia; fuerza de tensión; deformación.

Abstract

The present work was carried out in order to compare the type of steel used in a pipe in the oil industry, buying its microstructure, composition, as well as the different treatments to which standardized specimens will be subjected. According to the UNE EN 10020: 2001 standard, steel is defined as that material in which iron is the predominant element, the carbon content is generally less than 2% and it also contains other elements.

The upper limit of 2% on carbon (C) content is the limit that separates the steel from the cast iron. In general, an increase in the carbon content in steel increases its tensile strength, but on the other hand, it increases its brittleness in cold conditions and reduces its toughness and ductility. In the oil industry, the API Grade is an alpha or alphanumeric designation; it helps us identify the resistance level of a pipe, and is related to the chemical composition of the steel. The API 5L

specification for a conduit pipe ranges from low grades like L175 or A25, to the highest L830 or X120.

The numerical part of the designation represents the resistance, it is also the minimum yield stress supported by the tube in MPa and ksi. The yield stress is that stress that a metallic material supports, when subjected to a tensile force, just before become permanently deformed. So a comparison with other materials is necessary.

Keywords: Api; API 5L; yield stress; tensile force; deformed.

Resumo

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de comparar o tipo de aço utilizado em um duto na indústria de petróleo, comparando sua microestrutura, composição, bem como os diferentes tratamentos a que serão submetidos os corpos de prova padronizados. De acordo com a norma UNE EN 10020: 2001, aço é definido como o material em que o ferro é o elemento predominante, o teor de carbono é geralmente inferior a 2% e também contém outros elementos.

O limite superior de 2% no teor de carbono (C) é o limite que separa o aço do ferro fundido. Em geral, um aumento no teor de carbono no aço aumenta sua resistência à tração, mas, por outro lado, aumenta sua fragilidade a frio e reduz sua tenacidade e ductilidade. Na indústria do petróleo, o API Grade é uma designação alfa ou alfanumérica, que nos ajuda a identificar o nível de resistência de um tubo e está relacionado à composição química do aço. A especificação API 5L para um tubo de conduíte varia de graus baixos, como L175 ou A25, até os mais altos L830 ou X120. A parte numérica da designação representa a resistência, é também a tensão de escoamento mínima suportada pelo tubo em MPa e ksi. A tensão de escoamento é aquela tensão que um material metálico suporta, quando submetido a uma força de tração, pouco antes ficar permanentemente deformado. Portanto, uma comparação com outros materiais é necessária.

Palavras-chave: API; API 5L; limite de elasticidade; força de tração; deformação.

Introducción

El acero básicamente es una aleación binaria hierro y carbono con una cantidad de carbono que puede estar entre 0,03% y 1,2% en peso de la composición total, sin descartar que contendrán cantidades menores de otros elementos, según la aplicación del material.

Es importante además diferenciar entre el hierro y el acero. El hierro es un elemento metálico relativamente duro, la diferencia principal entre el hierro y el acero se encuentra en el porcentaje de carbono, presente en la aleación. Esta presencia de carbono en la estructura hace que el material resultante conserve las características metálicas del hierro puro, y además mejorará sus propiedades físico-químicas, y el aspecto más importante y sobresaliente mejorará su resistencia.

Existen varios tipos de acero según los elementos aleantes que se utilicen. Cada uno de estos tipos de acero será adecuado para aplicarlos en diferentes usos, es decir que un acero es un material que se adapta a distintos requerimientos tecnológicos y además es un material de uso común y fácil de encontrar.

Los componentes del acero se encuentran en gran cantidad de forma natural. Esta característica hace que el acero sea un material con una producción bastante sencilla y relativamente económica, entonces sus aplicaciones se encuentran en diferentes ámbitos, como: en las industrias de la construcción, maquinaria, automotriz, petrolera, médica, entre otras, todos los elementos manufacturados en estas industrias requieren que los materiales posean excelente resistencia al impacto o fatiga, siendo el acero el más adecuado, por lo tanto su estudio y caracterización es importante para definir o mejorar las características de los mismos.

Es así que surge la necesidad tecnológica de buscar alternativas que permitan utilizar los aceros en condiciones de trabajo más específicas, más exigentes etc, estas alternativas son los tratamientos térmicos, que básicamente se definen como, procedimientos de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento a distintas temperaturas y bajo condiciones determinadas, a que se someten los aceros para lograr en ellos ciertos cambios en sus características, brindándoles particularidades más adecuadas para la aplicación específica a la que serán sometidos.

En el presente trabajo por lo tanto, se analiza un acero utilizado en el transporte de hidrocarburos, en su estado de suministro, y con diferentes tratamientos térmicos, realizando micrografías, ensayos de impacto, EDS para determinar la composición de las inclusiones presentes en el material, de tal forma que se pueda conocer el material más a profundidad logrando determinar que tratamiento térmico sería el mejor para aplicar a este material de tal forma que responda de mejor manera a los requerimientos propios del transporte de hidrocarburos.

Metodología

Dentro del campo del análisis metalográfico cuyo principal objetivo es analizar a profundidad la micro estructura de los materiales y relacionarla con sus propiedades y características, para llegar a determinar la mejor aplicación, en el presente trabajo se ha utilizado en primer lugar la técnica denominada espectroscopia para determinar la composición del acero, el cual es un método instrumental que permite medir las concentraciones específicas de un material en una mezcla y determinar con precisión una gran variedad de elementos. Esta técnica se utiliza para determinar la concentración de diferentes elementos en un material de una muestra específica, esta operación se la realizo en tres probetas diferentes para verificar los resultados, los cuales indican que el material estudiado es un acero API 5L Grado A.

Después de esta primera etapa de reconocimiento del material, se somete a distintas probetas a diferentes tratamientos térmicos, como son normalizado, recocido, y temple, bajo condiciones definidas bajo norma. Estas probetas fueron tratadas y preparadas para ser observadas con microscopio óptico, con el objetivo de observar su microestructura verificando de esta forma que los tratamientos térmicos han logrado un cambio en las propiedades del material.

En la siguiente fase, se analiza cada probeta con microscopio electrónico SEM, realizando EDS, encontrando en primer lugar las inclusiones no metálicas presentes en las probetas, y examinando la composición química de las mencionadas inclusiones.

Para finalmente realizar ensayos de dureza Vickers y Brinell en las distintas probetas, a fin de encontrar cual tratamiento térmico resulta más beneficioso para el material, en términos de mejora de la resistencia del material a la deformación plástica localizada.

Este análisis se realiza con el fin de conocer a detalle las características y propiedades del material bajo estudio.

Resultados

Para la composición del acero se utilizó la espectroscopia de absorción atómica, de este proceso experimental se obtuvieron los resultados obtenidos en las siguientes tablas, la prueba se replicó tres ocasiones para obtener una fiabilidad de resultados.

Tabla 1: Espectrometría 1

Sample: 1				
Anlaysia time: 11-03-2019 16:35				
C%	Si%	Mn%	P%	S%
0.266	0.277	0.631	<0.0030	<0.0030
Cr%	Mo%	Ni%	Cu%	Al%
0.067	0.105	0.103	0.045	0.027
Co%	Nb%	Ti%	V%	W%
0.0060	<0.0050	0.0027	0.0068	<0.020
B%	Sn%	Fe%		
<0.0010	0.0063	98.46		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Espectrometría 2

Sample: 2				
Anlaysia time: 11-03-2019 16:35				
C%	Si%	Mn%	P%	S%
0.271	0.277	0.618	<0.0030	<0.0030
Cr%	Mo%	Ni%	Cu%	Al%
0.064	0.103	0.097	0.045	0.031
Co%	Nb%	Ti%	V%	W%
0.0045	<0.0050	0.0026	0.0068	<0.020
B%	Sn%	Fe%		
<0.0010	0.0057	98.47		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3: Espectrometría 3

Sample: 3				
Anlaysia time: 11-03-2019 16:35				
C%	Si%	Mn%	P%	S%
0.270	0.286	0.614	< 0.0030	<0.0030
Cr%	Mo%	Ni%	Cu%	Al%
0.064	0.108	0.099	0.046	0.034
Co%	Nb%	Ti%	V%	W%
0.004	<0.0050	0.0025	0.0062	0.030
B%	Sn%	Fe%		
<0.0010	0.011	98.43		

Fuente: Elaboración propia

Con las tres muestras se puede determinar los valores promedios de cada elemento constituyente del acero, esta composición de elementos mas representativos se detalla en la Tabla 1.

Tabla 4: Composición promedio de material utilizado.

Elemento	Composición (%)
C	0,269
Si	0,280
Mn	0,621
Cr	0,065
Mo	0,105
Ni	0,099

Fuente: Elaboración propia.

Estos datos de composición química obtenidos de las probetas de la tubería se comparan con la composición típica de un Acero API 5 L de diferentes grados indicados en la la Tabla 2, obteniéndose como resultado que el material en analisis un acero API 5 L grado A.

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

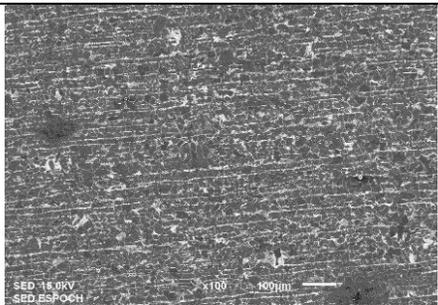
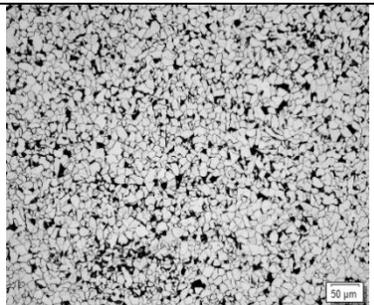
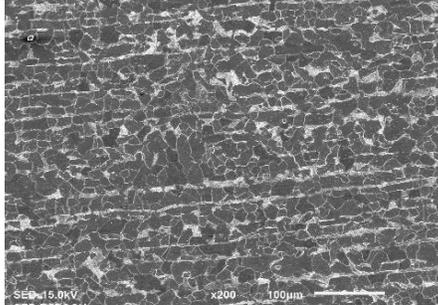
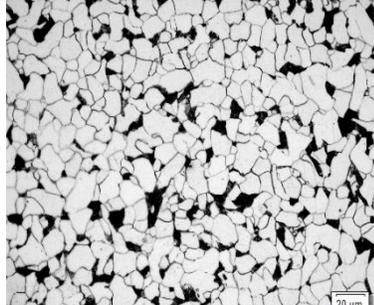
Chemical composition for API 5L PSL1 Pipe								
Wall Thickness ≤ 25.0 mm (0.984 in)								
Steel Grade (Steel Name)	Mass fraction, based upon heat and product analyses							
	%							
	C	Mn	P		S	V	Nb	Ti
max	max	min.	max	max	max	max	max	max
Seamless pipe								
L175 or A25	0.21	0.60	—	0.030	0.030	—	—	—
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

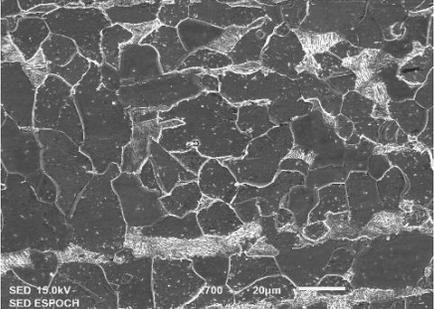
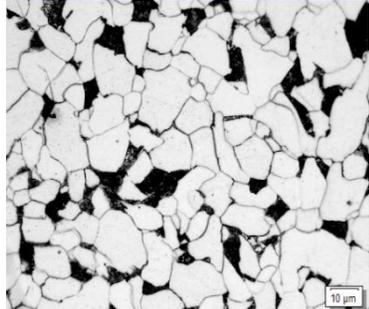
Fuente: <https://www.octalsteel.com/api-5l-pipe-specification>

La siguiente etapa, consiste en analizar y observar las diferentes probetas sometidas a tratamientos térmicos, para estas observaciones de microestructura, las probetas se someten a un proceso de corte para obtener probetas prismáticas según norma (ASTM). Las probetas se someten a un proceso de lijado con una granulometría #1200 y posterior pulido con paño, y finalmente ataque químico con NITAL 3%.

Los elementos resultantes se observador con microscopio óptico, resumiendo los análisis en las siguientes tablas comparativas.

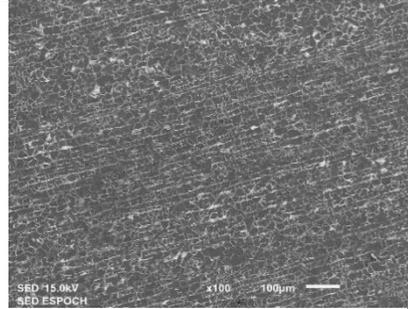
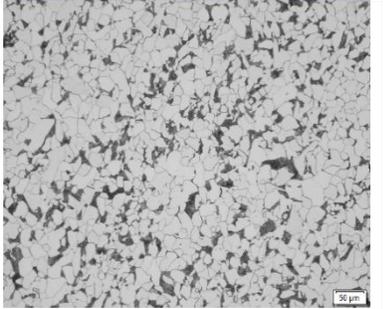
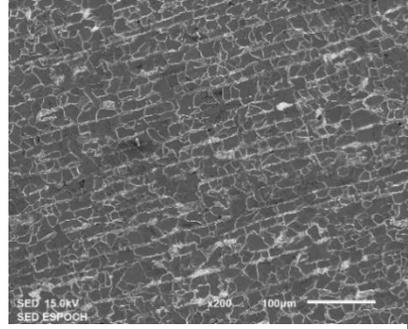
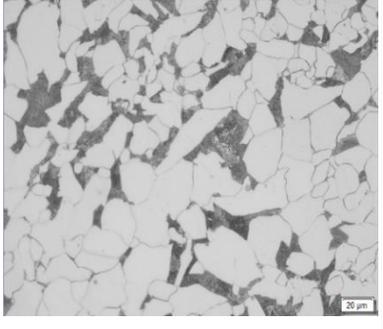
Tabla 6: Análisis micrográfico de probetas con tratamiento térmico de normalizado.

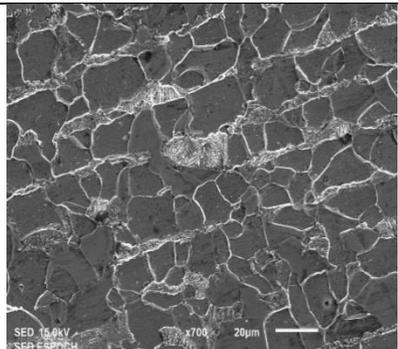
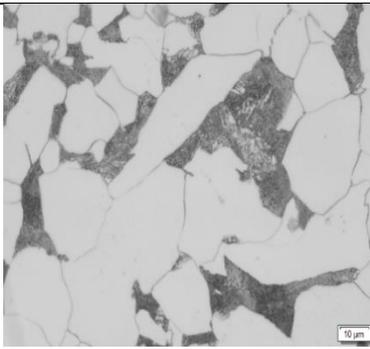
ANALISIS MICROGRAFIAS ESPOCH – CENTRO CARROCERO ACERO API 5L GRADO A			
LABORATORIO DE MATERIALES ESPOCH		CENTRO CARROCERO	
Normalizado a 100x		Normalizado a 20x	
	<p>Observamos que la distribución de la ferrita proeutectoide de un acero con 0.269 % de C , 0.621 % de Mn ,además el tamaño de grano austenitico será menor.</p>		<p>Observamos que gracias al normalizado se muestra un refinamiento de grano que mejorara las propiedades mecánicas del material , siendo la parte clara la ferrita proeutectoide nucleará en los bordes de grano de la austenita .</p>
Normalizado a 200x		Normalizado a 50x	
	<p>Observamos una mayor área en la distribución de la ferrita proeutectoide de un acero con 0.269 % de C , 0.621 % de Mn ,además el tamaño de grano austenitico será mayor .</p>		<p>Observamos una microestructura ferrita y perlita. La cementita de la perlita se contrae en forma de glóbulos, quedando inserta en una matriz de ferrita.</p>
Normalizado a 700x		Normalizado a 100x	

	<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>Observamos que el tamaño de grano austenítico es relativamente grande comparado con el tamaño de la ferrita proeutectoide que está creciendo, durante el enfriamiento el centro en los granos de la austenita se volverán sobresaturados con respecto a la ferrita.</p>
--	---	--	--

Fuente: Elaboración propia.

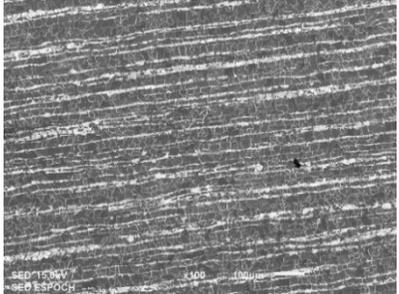
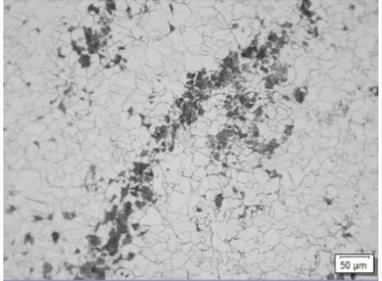
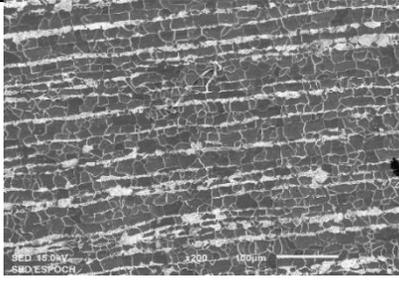
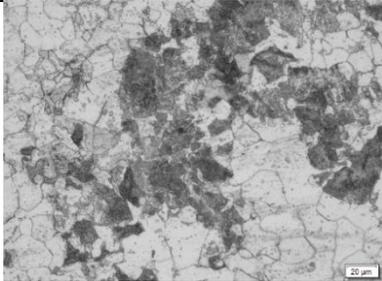
Tabla 7: Análisis micrográfico de probetas con tratamiento térmico de recocido.

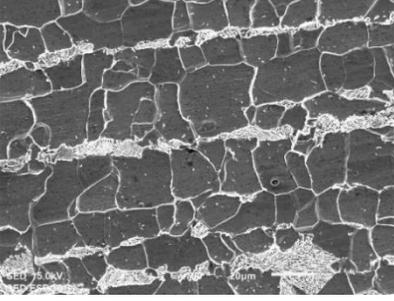
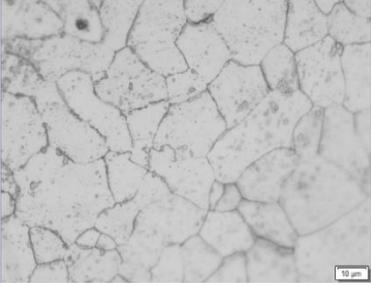
ANÁLISIS MICROGRAFIAS ESPOCH – CENTRO CARROCERO ACERO API 5L GRADO A			
LABORATORIO DE MATERIALES ESPOCH		CENTRO CARROCERO	
Recocido a 100x		Recocido a 20x	
	<p>Observamos un enfriamiento rápido que presenta la formación de perlita y cementita, donde la cementita es oscura y la perlita es clara.</p>		<p>Observamos con mayor claridad la formación del tamaño de grano así como la formación de perlita y cementita, donde la perlita es oscura y la cementita la parte clara.</p>
Recocido a 200x		Recocido a 50x	
	<p>Observamos con mayor claridad los tamaños de grano y también las fases presentes evidenciando las dos fases: cementita y perlita.</p>		<p>Observamos con mayor claridad la homogenización del tamaño de grano, así como la mayor área de perlita en comparación de la cementita.</p>

Recocido a 700x	Recocido a 100x
 <p>Observamos que la estructura presente es cementita y perlita, en la cual la perlita se observa como pequeñas laminas.</p>	 <p>Observamos que la microestructura tiene límites de grano definidos así como la gran cantidad de perlita en comparación con la cementita .</p>

Fuente: Elaboración propia

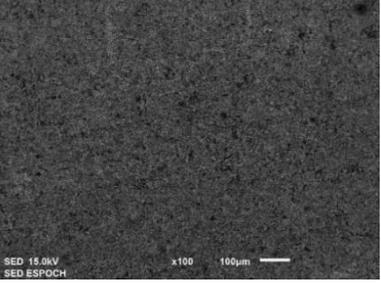
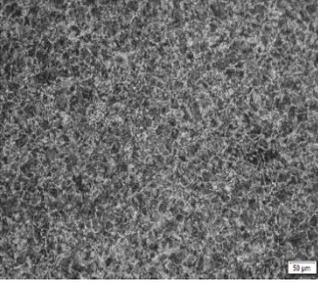
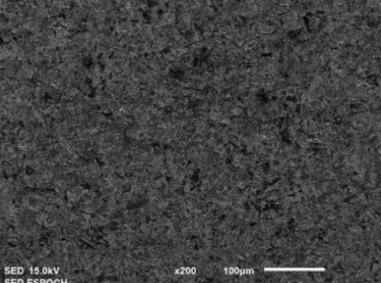
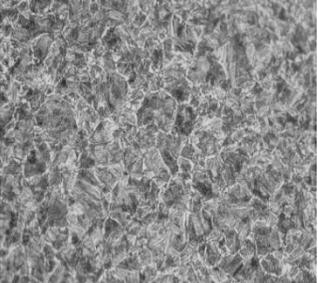
Tabla 8: Análisis micrográfico de probetas con tratamiento térmico de suministro.

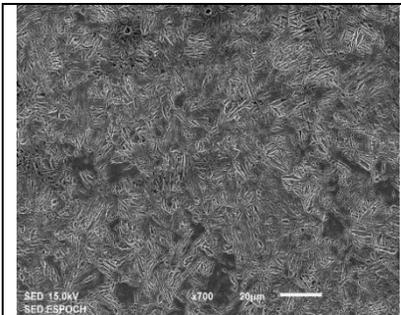
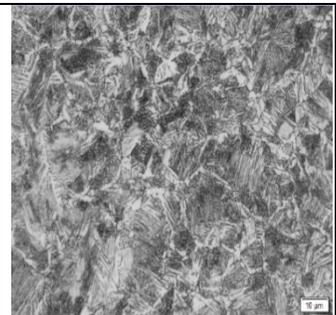
ANÁLISIS MICROGRAFIAS ESPOCH – CENTRO CARROCERO ACERO API 5L GRADO A			
LABORATORIO DE MATERIALES ESPOCH		CENTRO CARROCERO	
Suministro a 100x		Suministro a 20x	
	<p>Observamos la formación de perlita y ferrita, la sección oscura se trata de perlita y la parte clara se trata de ferrita. Los granos no se encuentran bien definidos .</p>		<p>Observamos los límites de grano, se distinguen las fases perlita y ferrita encontrados en este acero sin tratamiento térmico.</p>
Suministro a 200x		Suministro a 50x	
	<p>Observamos una mayor porcentaje de ferrita en comparación con la perlita, está delimitada por franjas de color oscuro , además el tamaño de grano es mayor.</p>		<p>Observamos un tamaño de grano mucho mayor , así como su dispersión además se distinguen porcentaje de ferrita es superior a la perlita</p>

Suministro a 700x		Suministro a 100x	
	Observamos una microestructura ferrítico-perlítico, en el cual la perlita está en los límites de grano como pequeñas laminas, se definen más los límites de grano .		Observamos perlita en una matriz ferrítica , así como granos homogéneos limitados

Fuente: Elaboración propia

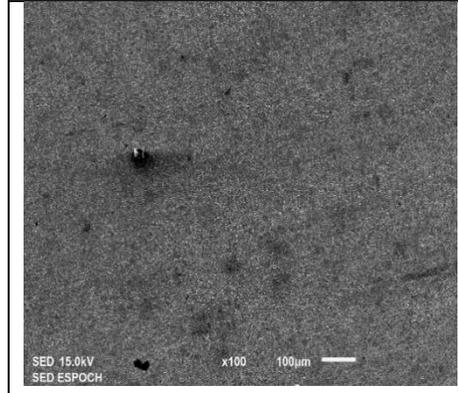
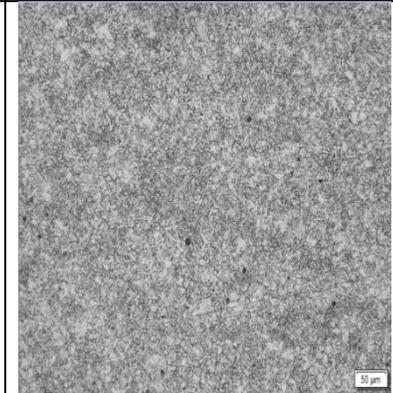
Tabla 9: Análisis micrográfico de probetas con tratamiento térmico de temple.

ANALISIS MICROGRAFIAS ESPOCH – CENTRO CARROCERO ACERO API 5L GRADO A			
LABORATORIO DE MATERIALES ESPOCH		CENTRO CARROCERO	
Temple a 100x		Temple a 20x	
	Observamos una microestructura ferrítico perlítico, no se puede distinguir los granos ni delimitar los mismos .		Observamos dos fases presentes ferrita y perlita , las cuales se diferencian por el color de cada una de ellas .
Temple a 200x		Temple a 50x	
	Observamos una microestructura martensítica y los puntos negros son carburos presentes en las probetas .		Observamos un matriz tipo de láminas debido al tipo de tratamiento al que ha sido expuesto. Así como no se distinguen los granos ni sus límites presentes
Temple a 700x		Temple a 100x	

	<p>Observamos una menor cantidad de martensita dispersa sobre la matriz de ferrita de forma acicular, la estructura no muestra límites de grano debido a que su enfriamiento es rápido.</p>		<p>Observar una microestructura acicular es decir en forma de agujas, la cual nuclea en los límites de grano y crece en forma de agujas hacia el interior de los granos de austenita.</p>
--	---	--	---

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Análisis micrográfico de probetas con tratamiento térmico de bonificado.

ANÁLISIS MICROGRAFIAS ESPOCH – CENTRO CARROCERO ACERO API 5L GRADO A			
LABORATORIO DE MATERIALES ESPOCH		CENTRO CARROCERO	
Bonificado a 100x		Bonificado a 20x	
	<p>Observamos inclusiones presentes en la microestructura, no se aprecia con claridad la forma con la que se presenta las fases.</p>		<p>Observamos tamaños de grano no homogéneos, no homogéneos, además no se distinguen las fases presentes</p>
Bonificado a 200x		Bonificado a 50x	

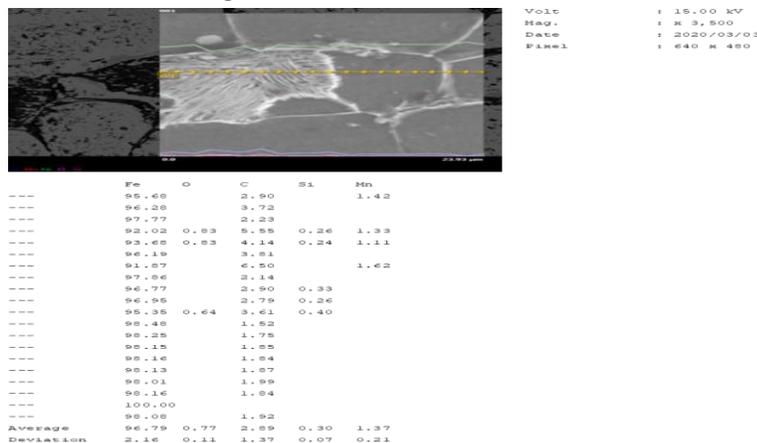
	<p>Observamos que la microestructura a no diferencia bien las fases presentes, así como los tamaños de grano presentes.</p>		<p>Observamos que no existen límites de granos presentes, esto sucede al aplicar este tratamiento, y finos granos equiaxiales de cementita.</p>
<p>Bonificado a 700x</p>		<p>Bonificado a 100x</p>	
	<p>Observamos que se trata de perlita en una matriz de cementita, no se distinguen los granos presentes ni sus límites de grano.</p>		<p>Observamos perlita con matriz cementita, y no se puede delimitar los granos presentes.</p>

Fuente: Elaboración propia

- **EDS lineal**

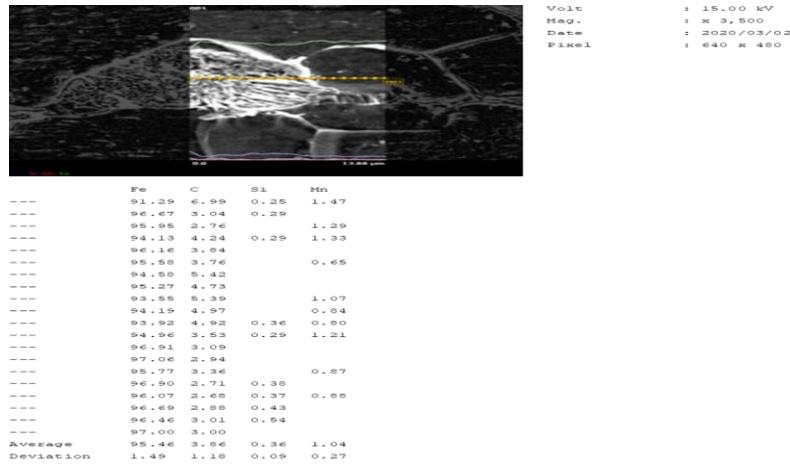
En la siguiente etapa se utiliza la espectrometría de dispersión de energía de rayos X, disponible en el microscopio electrónico de barrido. Los EDS se realizaron a inclusiones no metálicas presentes en cada probeta, para determinar la composición química de las mismas.

Figura 4: EDS Lineal Probeta de Normalizado



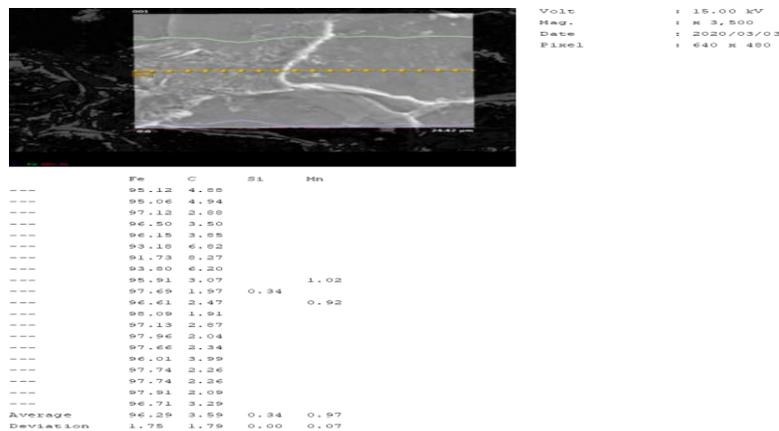
Observamos en la micrografía las láminas de perlita, en una matriz perlítica –ferrítica, el análisis de barrido EDS nos ayuda con la composición en 20 puntos, dándonos como resultado la composición química del acero en puntos diferentes, la variación se representa por el tratamiento aplicado, así como por el ambiente al cual se ha sometido la probeta (corrosión), muchas de los elementos encontrados dependerán de las condiciones a las que el material se sometió.

Figura 5: Eds Lineal Probeta de Recocido



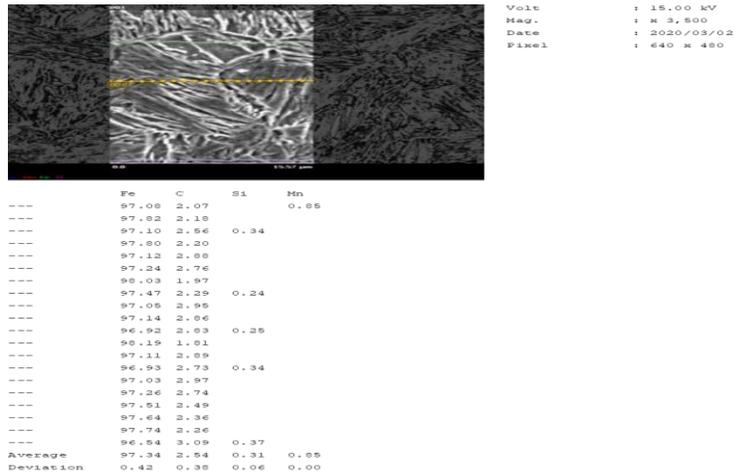
Observamos en la micrografía láminas de perlita, en una matriz de cementita y perlita, en su composición se presenta Mn que en este caso es un elemento disperso que actúa como agente de desoxidación y desulfuración, ayudando a que el acero sea más duro y resistente, además encontramos Si que también actúa como desoxidante además se contribuye con el endurecimiento del acero.

Figura 6: Eds Lineal Probeta de Suministro



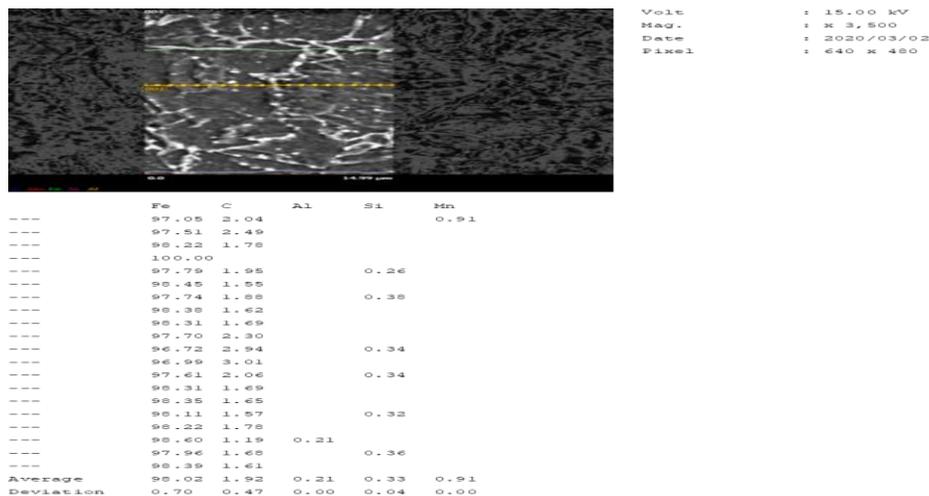
Observamos una microestructura ferrítico-perlítico, en el cual la perlita está en los límites de grano como pequeñas laminas, el Si y Mn son añadidos al acero para estabilizar los carburos presentes en el acero.

Figura 7: Eds Lineal Probeta de Temple



Observamos una microestructura ferrítico perlítico, en los cuales la composición del Si es del 0.31% variando la estabilidad de los carburos con el Mn, así como su composición de Mn ayuda a la penetración de temple y contribuye a su resistencia y dureza, debido al tratamiento térmico aplicado su dureza será mayor.

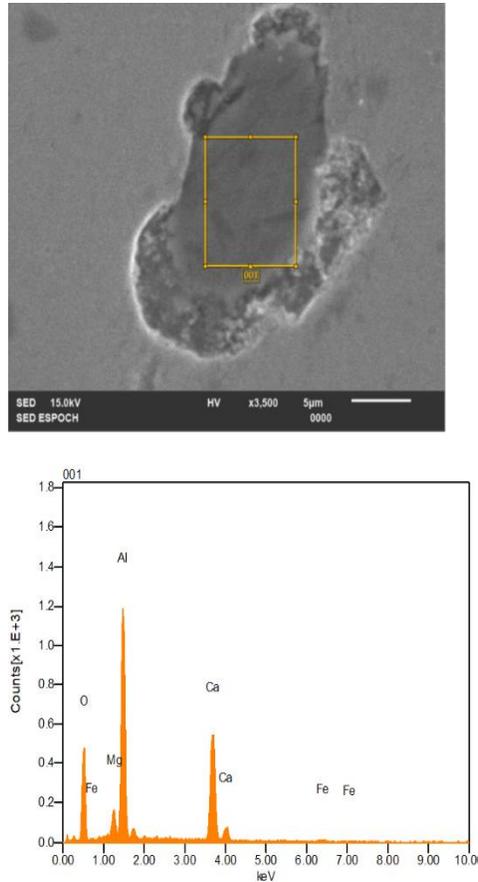
Figura 8: EDS Lineal Probeta de Bonificado



Se observa presencia de Mn y Si, dando como resultado que el tipo y morfología de las inclusiones encontradas en el acero fueron similares, donde el constituyente principal de las inclusiones son el Mn y Si, siendo estas inclusiones consistentes entre todas las probetas observadas.

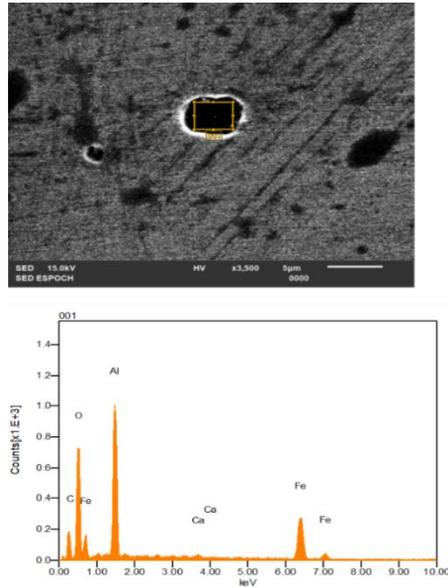
- **EDS Específicos**

Figura 9: EDS Específico Probeta de Normalizado



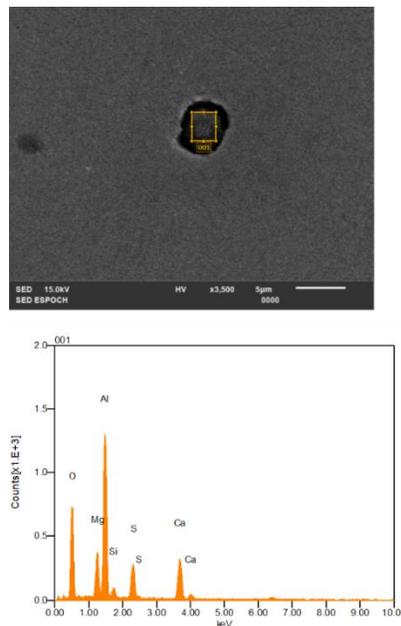
Se aprecia un EDS específico de la probeta de normalizado, de forma redondeada, se observa que en su composición se encuentra Al ,Ca y Mg, , las grietas están asociadas con Al enriquecido el cual produce un acero de grano Fino y Si, en el caso de los aceros con Mn, su tamaño variaría entre 1,5-4,6 µm valores mínimos y máximos, y correspondería a la clasificación de D-globular oxide-sulfides, clasificación según la norma ASTM INTERNATIONAL E45–13, 2013.

Figura 10: EDS Específico Probeta de Recocido



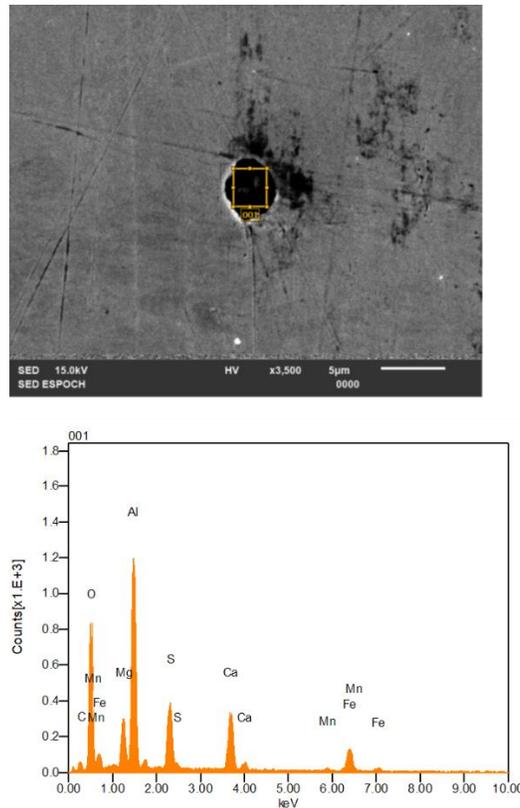
Se observa un EDS específico de la probeta de recocido, de forma redondeada, se observa que en su composición se encuentra Al, O y Ca, al aumentar el contenido de oxígeno, de aluminio, y sulfuros en el material, disminuyen las propiedades mecánicas del acero y el control de las inclusiones no-metálicas, formando sulfuros y óxidos, su tamaño promedio variaría entre 1,5-4,6 μm valores mínimos y máximos, y correspondería a la clasificación de D-globular oxide-sulfides, clasificación según la norma ASTM INTERNATIONAL E45-13, 2013.

Figura 11: EDS Específico Probeta de Suministro



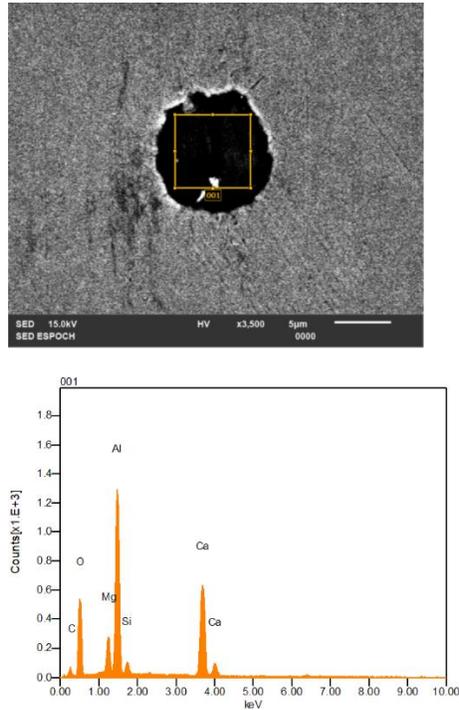
Se presenta un EDS específico de la probeta de suministro, con una forma redondeada, los elementos presentes son principalmente Al ,O,S y Ca , al aumentar el contenido de oxígeno y de aluminio, existe un incremento en el tamaño promedio de las inclusiones, su tamaño variaría entre 1,5-4,6 μm valores mínimos y máximos, y correspondería a la clasificación de D-globular oxide-sulfides, clasificación según la norma ASTM INTERNATIONAL E45–13, 2013.

Figura 12: EDS Específico Probeta de Temple



Se estudia un EDS específico de la probeta de temple , de forma redondeada, se observa que en su composición se encuentra Al ,O,S , Ca,Mg y Mn, al aumentar el contenido de oxígeno y de aluminio, existe un incremento en el tamaño promedio de las inclusiones, además el silicio, magnesio y manganeso produce varios tipos inclusiones de óxidos que reducen la ductilidad del material, con respecto a sus dimensiones, estas varían entre 1,5-4,6 μm valores mínimos y máximos, y correspondería a la clasificación de D-globular oxide-sulfides, clasificación según la norma ASTM INTERNATIONAL E45–13, 2013.

Figura 13: EDS Específico Probeta de Bonificado



Con la realización de estas pruebas se observa que la superficie pulida de las probetas de API 5L Grado A, presenta inclusiones distribuidas uniformemente dentro de la matriz y en la región bajo análisis, en las inclusiones están presente principalmente elementos como: Ca, Al, Mg y Mn. Tomando en cuenta la forma de las inclusiones redondeadas y que existe una variación de tamaños entre 1,5-4,6 µm valores mínimos y máximos, correspondería a la clasificación de D-globular oxide-sulfides, clasificación según la norma ASTM INTERNATIONAL E45-13, 2013.

Dureza del Acero API 5L Grado A

Se llevan a cabo dos tipos de ensayos: dureza Vickers y dureza Brinell en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero para cada tratamiento térmico a una misma temperatura y humedad, tomándose una cantidad de cinco mediciones. Los datos obtenidos durante el ensayo Brinell se muestran a continuación:

Tabla 11: Dureza Brinell (Normalizado).

	TRATAMIENTO	NORMALIZADO	
	Temperatura °C	Humedad %	Dureza Brinell
MEDICIÓN 1	21	54,2	126
MEDICIÓN 2			134
MEDICIÓN 3			130
MEDICIÓN 4			127
MEDICIÓN 5			133

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Dureza Brinell (Suministro)

	TRATAMIENTO	SUMINISTRO	
	Temperatura °C	Humedad %	Dureza Brinell
MEDICIÓN 1	20,9	54,6	135
MEDICIÓN 2			137
MEDICIÓN 3			133
MEDICIÓN 4			135
MEDICIÓN 5			136

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1: Dureza Brinell (Bonificado)

	TRATAMIENTO	BONIFICADO	
	Temperatura °C	Humedad %	Dureza Brinell
MEDICIÓN 1	21	54,1	150
MEDICIÓN 2			147
MEDICIÓN 3			155
MEDICIÓN 4			153
MEDICIÓN 5			149

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Dureza Brinell (Recocido).

	TRATAMIENTO	RECOCIDO	
	Temperatura °C	Humedad %	Dureza Brinell
MEDICIÓN 1	20,9	54,2	102
MEDICIÓN 2			103

MEDICIÓN 3			100
MEDICIÓN 4			96
MEDICIÓN 5			98

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Dureza Brinell (Temple).

	TRATAMIENTO		TEMPLE	
	Temperatura °C		Humedad %	Dureza Brinell
MEDICIÓN 1	21,3		52,5	347
MEDICIÓN 2				358
MEDICIÓN 3				343
MEDICIÓN 4				356
MEDICIÓN 5				356

Fuente: Elaboración propia

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

Tabla 4: Dureza Vickers (Normalizado)

	TRATAMIENTO			NORMALIZADO	
	Temperatura °C	Humedad %	Diagonal 1 (µm)	Diagonal 2 (µm)	Dureza Vickers
MEDICIÓN 1	19,1	58,8	103,75	102,9	173,7
MEDICIÓN 2			107,26	103,27	164,2
MEDICIÓN 3			103,3	102,82	174,6
MEDICIÓN 4			103,9	104,56	170,7
MEDICIÓN 5			104,53	105,12	168,8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Dureza Vickers (Suministro).

	Temperatura a °C	TRATAMIENTO		SUMINISTRO	
		Humedad %	Diagonal 1 (µm)	Diagonal 2 (µm)	Dureza Brinell
MEDICIÓN 1	21,1	56,5	121,53	120,29	126,8
MEDICIÓN 2			115,55	116,23	138,1
MEDICIÓN 3			115,8	114,54	139,8
MEDICIÓN 4			112,13	112,23	147,9
MEDICIÓN 5			113,78	112,81	144,5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Dureza Vickers (Bonificado).

	Temperatura °C	TRATAMIENTO		BONIFICADO	
		Humedad %	Diagonal 1 (µm)	Diagonal 2 (µm)	Dureza Brinell
MEDICIÓN 1	19,6	57,1	100,09	100,49	184,4
MEDICIÓN 2			100,98	99,59	184,4
MEDICIÓN 3			101,58	100,83	181,1
MEDICIÓN 4			99,74	100,92	184,2
MEDICIÓN 5			102,02	102,5	177,3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 : Dureza Vickers (Recocido).

	Temperatura °C	TRATAMIENTO		RECOCIDO	
		Humedad %	Diagonal 1 (µm)	Diagonal 2 (µm)	Dureza Brinell
MEDICIÓN 1	21,6	54,7	125,13	124,09	119,4
MEDICIÓN 2			124,82	124,79	119,1
MEDICIÓN 3			124,58	125,24	118,9
MEDICIÓN 4			123,34	122,8	122,4
MEDICIÓN 5			122,34	123,26	123

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20 :Dureza Vickers (Temple).

	TRATAMIENTO		TEMPLE		
	Temperatura °C	Humedad %	Diagonal 1 (µm)	Diagonal 2 (µm)	Dureza Brinell
MEDICIÓN 1	21,3	55,3	68,27	68,36	397,3
MEDICIÓN 2			67,32	67,24	409,7
MEDICIÓN 3			67,86	66,92	408,3
MEDICIÓN 4			67,94	68,81	396,7
MEDICIÓN 5			67,83	68,07	401,6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Ensayo de Impacto (Normalizado)

	TRATAMIENTO	NORMALIZADO	
	Temperatura °C	Humedad %	Energía absorv. (J)
PROBETA 1	23,8	48,8	57,83
PROBETA 2			54,51
PROBETA 3			60,47

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22: Ensayo de Impacto (Suministro)

	TRATAMIENTO	SUMINISTRO	
	Temperatura °C	Humedad %	Energía absorv. (J)
PROBETA 1	23,8	47,9	55,97
PROBETA 2			53,31
PROBETA 3			51,13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Ensayo de Impacto (Bonificado)

	TRATAMIENTO	BONIFICADO	
	Temperatura °C	Humedad %	Energía absorv. (J)
PROBETA 1	23,9	47,8	93,72
PROBETA 2			95,31
PROBETA 3			96,03

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Ensayo de Impacto (Recocido)

	TRATAMIENTO	RECOCIDO	
	Temperatura °C	Humedad %	Energía absorv. (J)
PROBETA 1	24,2	47,3	67,83
PROBETA 2			67,62
PROBETA 3			71,75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Ensayo de Impacto (Temple)

	TRATAMIENTO	TEMPLE	
	Temperatura °C	Humedad %	Energía absorv. (J)
PROBETA 1	24,2	47,5	42,53
PROBETA 2			46,91
PROBETA 3			45,73

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

- Las probetas analizadas corresponden a tubería Api 5l Grado A , basándonos en un análisis de espectrometría así como en la comparación de los datos con el Data Sheet , lo cual ayuda a tener una composición de datos que varíaran dentro de rango máximos y mínimos.

- Se determina que las probetas de Api 5L Grado A con diferentes tratamientos térmicos logran mejorar las propiedades mecánicas lo cual se evidencia en los ensayos realizados obteniéndose valores altos de dureza Brinell en la probeta de temple, debido a la formación de agujas en el interior de la martensita.
- Las probetas que absorbieron mayor impacto son las de bonificado con valores de hasta 96 J, esto es debido a la cementita presente.
- La mayoría de probetas presentan inclusiones metálicas en la probeta de bonificado, es posible acumulación de oxígeno en el material.

Referencias

1. Avilés, J. M. (2017). APLICACIÓN DE LA TECNICA DE IMPEDANCIA ELECTROQUIMICA PARA EL ESTUDIO Y LA EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN EN ACEROS.
2. Callister. (2018). Introducción a la Ciencia e Ingeniería de Materiales.
3. Gutiérrez, D. E. (2018). Caracterización microestructural y mecánica de aceros de fase dual (ferrita-martensita), obtenidos mediante procesos térmicos y termomecánicos. Scielo.
4. Ingeniería-UNLP, F. d. (2016). Estructura y Propiedades de las Aleaciones.
5. Institute, A. P. (2005). Obtenido de <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/api.5l.2004.pdf>
6. L., S. (1992). Optical Microscopy of Carbon Steels. ASM International.
7. Larre, V. (2017). ESTRUCTURAS DEL ACERO. En ESTRUCTURAS DEL ACERO.
8. León, J. B. (2011). Scielo. Obtenido de Scielo.
9. Materia, T. (s.f.). Obtenido de <http://search.totalmateria.com/MaterialDetails/MaterialDetail?vkKey=1354803&keyNum=6155&type=2&hs=0>
10. Metalográfico, P. d. (2020). Universidad Complutense.
11. Octal. (2020). API 5L. Obtenido de <https://www.octalsteel.com/api-5l-pipe-specification>.

12. UPV. (2018). Experiencia sobre el proceso de recocido contra acritud. Obtenido de Experiencia sobre el proceso de recocido contra acritud: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm04/pfcm4_4_1.html
13. W.F, S. (1993). Structure and Properties of Engineering Alloy. McGraw-Hill, Inc.

©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/>).