

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE CARBURIZACIÓN DE ACEROS MEDIANTE EL PROCESO OAW

COMPONENTE B

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
INGENIERÍA MECÁNICA**

ANÁLISIS METALOGRAFICO PARA PROBETAS DE ACERO SAE 1018

EFRÉN JOSUÉ BARRIGA SIMBA

efren.barriga@epn.edu.ec

DIRECTOR: GALO HOMERO BARRAGAN CAMPOS

homero.barragan@epn.edu.ec

Quito. 01 de enero de 2022

CERTIFICACIONES

Yo, EFRÉN JOSUÉ BARRIGA SIMBA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



EFRÉN JOSUÉ BARRIGA SIMBA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por EFRÉN JOSUÉ BARRIGA SIMBA, bajo mi supervisión.

GALO HOMERO BARRAGAN CAMPOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

EFREN JOSUE BARRIGA SIMBA

ING. HOMERO BARRAGAN

LUIS DAVID MINA SALAZAR

DEDICATORIA

Este gran logro, me lo dedico primeramente a mi por no darme por vencido a pesar de cualquier recaída y volviendo a creer en mi sabiendo que solamente me llevará a una mejor vida personal y profesional. Y a todas las personas que estuvieron conmigo a lo largo de este proceso.

Efrén

AGRADECIMIENTO

A mis padres Milton y Lilia, quienes me proveyeron con mucho esfuerzo y trabajo los recursos necesarios para poder llevar a cabo toda mi vida estudiantil hasta mi profesión la cual gracias a su ayuda la llevaré por siempre. Así como el ejemplo de que con trabajo duro, constante y honesto se puede lograr cualquier meta que uno se proponga.

A mi hermano Milton por estar siempre a mi lado en cualquier adversidad, ha sido un apoyo muy importante en mi vida, y agradezco por su calidad de ser humano.

En general agradezco a toda mi familia la cual se ha preocupado porque la generación más joven, primeramente, seamos buenas personas y segundo logre obtener una profesión, para poder sobrellevar la vida de una manera digna y ayudar a las demás personas cuando estás las requieran. Agradezco infinitamente a mi abuelito Efrén el cual para mí es ejemplo de trabajo duro y digno gracias por su amistad y tener la oportunidad de vivir muchas experiencias juntos. Y a mis Abuelitos Teresa, Fidel y Rosa (QDEP), que deben estar orgullosos de mi desde el cielo, gracias por tener la oportunidad de conocerlos y convivir con ellos muchos años siendo ejemplos importantes en mi vida.

A los ingenieros Homero Barragán, Patricia Proaño y a Don Rene quienes nos han dado su tiempo y conocimiento en el proceso este proyecto.

A mi compañero de tesis, por ser una excelente persona dentro y fuera de la institución, gracias por su amistad y la paciencia para la realización de este trabajo final.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
DESCRIPCION DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1. Objetivo general.....	1
1.2. Objetivos específicos	1
1.3. Alcance	1
1.4. Marco teórico	2
1.4.1. Puesto de trabajo.....	2
1.4.1.2. Llama oxiacetilénica	3
1.4.1.3. Tipos de llamas.....	5
1.4.1.4. Aplicación de llamas oxiacetilénica.....	6
1.4.1.5. Acero SAE 1018 eje de transmisión	9
1.4.1.6. Seguridad industrial para aplicación del proceso OAW	10
1.4.2. Proceso de carburización de aceros	12
1.4.2.1. Descripción del proceso de carburización	12
1.4.2.2. Tipos de carburización	13
2. METODOLOGÍA.....	15
2.1. Proceso de carburización.....	15
2.1.1. Procedimientos experimentales	16
2.2. Ensayo de micrografía	19
2.3. Análisis de costos.....	25
2.3.1. Costo total.....	25
2.3.2. Costo de operación	26
2.3.2.1. Costo de precalentamiento.....	26
2.3.2.2. Costo de llama carburante.....	27
2.3.2.3. Costo de calentamiento por metro cuadrado	28

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	30
3.1. Resultados	30
3.1.1. Resultados de las micrografías del material base.....	30
3.1.2. Resultados de material endurecido.....	32
3.2. Conclusiones.....	34
3.3. Recomendaciones.....	34

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Esquema de elementos OAW (Fuente propia).....	2
Figura 2. Equipos utilizados para OAW (Fuente propia)	3
Figura 3. Esquema tipos de llama (Fuente propia).....	6
Figura 4 Partes del soplete [4]	7
Figura 5 Tipos de llamas en función de la regulación [5].....	8
Figura 6 Equipo de protección personal. [7].....	11
Figura 7 Esquema de cementación con material sólido (Fuente propia)	14
Figura 8 Esquema de cementación con material líquido (Fuente propia).....	14
Figura 9 Sierra de cinta (Fuente propia).....	16
Figura 10 Probeta para experimentación (Fuente propia)	16
Figura 11 Aplicación de llama carburante (Fuente propia)	18
Figura 12 Control de temperatura (Fuente propia)	19
Figura 13 Parte a ser extraída (Fuente propia)	20
Figura 14 Extracción de parte media del cilindro (Fuente propia)	20
Figura 15 Probetas iniciales (Fuente propia).....	21
Figura 16 Parte a enfocarse en micrografías (Fuente propia)	21
Figura 17 Muestras para pulir (Fuente propia)	22
Figura 18 Proceso de desbaste grueso (Fuente propia)	23
Figura 19 Muestras montadas en resina (Fuente propia).....	24
Figura 20 Proceso de desbaste en máquina. (Fuente propia).....	24
Figura 21 Probetas listas para ser observadas en el microscopio.....	25
Figura 22 Dimensiones de cilindro (Fuente propia).....	29

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1 Productos de las proporciones de acetileno/oxígeno	5
Tabla 2 Clasificación de aceros al carbono.....	10
Tabla 3 Composición química del Acero SAE 1018 eje de transmisión	10
Tabla 4 Numero de filtro según su uso. (Fuente propia)	12
Tabla 5 Equipo para medición de dureza, especificaciones. (Fuente propia).....	17
Tabla 6 Equipo para desbaste grueso, especificaciones. (Fuente propia).....	22
Tabla 7 Pulidora automática para desbaste fino, especificaciones. (Fuente propia).	22
Tabla 8 Microscopio para metalografías, especificaciones. (Fuente propia).	23
Tabla 9 Costo de gases	26
Tabla 10 Flujo de gases para precalentamiento.....	26
Tabla 11 Flujo de gases para carburización.....	27
Tabla 12 Costo en dólares que costo el carburizar las distintas probetas (Fuente propia).	29
Tabla 13 Costos en función del área.....	30
Tabla 14 Resultados de micrografías de probeta material base MT.....	31
Tabla 15 Resultados de micrografías de probeta cementada 8	32
Tabla 16 Resultados de micrografías de probeta cementada 10	33

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó de manera experimental la aplicación de llamas carburantes (ricas en carbono) mediante el proceso OAW a un acero SAE 1018 de bajo contenido de carbono para con esto incrementar la dureza del mismo.

Mediante un ensayo de dureza se tomaron diferentes valores del material base para con esto obtener la dureza con la que el material se comercializa, está sería la referencia para posteriormente corroborar y verificar si el material en cuestión luego de la carburización aumenta su dureza, por lo que se prepararon correctamente varias probetas para la experimentación. Este proceso se realizó en el laboratorio de Soldadura de la Escuela Politécnica Nacional.

Una vez que se realizó el proceso de carburización con llamas oxiacetilénicas carburantes, seguidamente se realizó un temple a varias probetas, con el fin de endurecer aún más el material, con lo cual se puede prolongar la vida útil del material.

Finalmente, mediante un ensayo de metalografía se logró obtener diferentes micrografías tanto del material base como de las probetas las cuales se aplicó las llamas, con esto se desea visualizar el comportamiento de la microestructura del material para analizar en relación con el aumento de dureza.

Con toda la información obtenida en cuanto a las mediciones de durezas y las micrografías se presentan resultados los cuales respaldan que se cumplió el objetivo del presente trabajo el cual era aumentar la dureza del material mediante el proceso OAW.

PALABRAS CLAVE: Carburización, cementación, proceso OAW, dureza, microestructura.

ABSTRACT

In the present work, the application of fuel flames (rich in carbon) through the OAW process to a SAE 1018 low-carbon steel was carried out experimentally in order to increase its hardness.

Through a hardness test, different values of the base material were taken to obtain the hardness with which the material is marketed, this would be the reference to later corroborate and verify if the material in question after carburization increases its hardness, therefore that several specimens were correctly prepared for experimentation. This process was carried out in the Welding Laboratory of the National Polytechnic School.

Once the carburization process was carried out with oxyacetylene fuel flames, several specimens were subsequently quenched, in order to harden the material even more, with which the useful life of the material can be prolonged.

Finally, through a metallography test, it was possible to obtain different micrographs of both the base material and the specimens to which the flames were applied, with this it is desired to visualize the behavior of the microstructure of the material to be analyzed in relation to the increase in hardness.

With all the information obtained regarding the hardness measurements and the micrographs, results are presented which support that the objective of this work was fulfilled, which was to increase the hardness of the material through the OAW process.

KEYWORDS: Carburization, cementation, OAW process, hardness, microstructure.

DESCRIPCION DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En este estudio realizado se han determinado que existían dos componentes relacionados los cuales permiten obtener información precisa para la redacción del procedimiento en cuestión, estos componentes se dividen en, análisis de dureza superficial del material y la realización de metalografías que permitan justificar la variación de composición en la superficie del mismo gracias a la difusión de carbono durante el flameado.

Para el análisis metalográfico de las probetas de acero SAE 1018, se realizó micrografía de material base para obtener la microestructura inicial. Luego se efectuó el proceso de carburación con llamas oxiacetilénicas, experimentando con diferentes variables del proceso como tiempo de aplicación, método de aplicación, tipo de llama, entre otras, con el fin de incrementar la dureza superficial de probetas en un porcentaje considerable. Para finalmente obtener micrografías de las probetas a las cuales se les aplicó el proceso de carbonización y poder observar si hubo algún cambio en su microestructura. Así mismo se analizó el costo que resulta aplicar este método de endurecimiento.

1.1. Objetivo general

Establecer el proceso para realización de carburización de aceros mediante el proceso OAW.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar el tiempo de aplicación de las llamas carburantes con el fin de incrementar en al menos 10% la dureza superficial de los aceros.
- Establecer la altura de penetración del carbono en el acero mediante micrografía.
- Analizar el tipo de llama más adecuado para realizar la carburización teniendo en cuenta la potencia y la relación acetileno/oxígeno.
- Determinar el costo de la aplicación del proceso.

1.3. Alcance

Se utilizará llamas oxiacetilénicas tipo carburante (C_2H_2/O_2 mayores que 1) que se desplazarán sobre la superficie de placas metálicas o cilindros de aceros al carbono de tal forma que se aporte carbono remanente sobre las superficies.

Se medirá la dureza superficial antes y después de la operación para analizar el incremento de la dureza superficial.

Se analizará este efecto en diversas condiciones, por ejemplo: potencia de la llama, llama carburante de diferente relación, tiempos de aplicación, etc.

1.4. Marco teórico

1.4.1. Puesto de trabajo

1.4.1.1. Equipo para soldar con oxiacetileno

El puesto de trabajo para la soldadura oxiacetilénica consta de algunos elementos que, agrupados, permiten el paso de los gases dispuestos, oxígeno y acetileno, hasta un conjunto de boquillas, válvulas y reguladores que producen la mezcla en las proporciones deseadas, para su combustión.



Figura 1. Esquema de elementos OAW (Fuente propia)

El equipo utilizado suele estar conformado por:

- Cilindros de oxígeno y acetileno
- Válvulas de antirretorno
- Reguladores y manómetros para oxígeno y acetileno
- Mangueras
- Soplete
- Boquilla
- Carro de transporte

- Encendedor de fricción

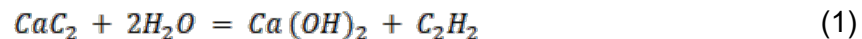


Figura 2. Equipos utilizados para OAW (Fuente propia)

1.4.1.2. Llama oxiacetilénica

La llama oxiacetilénica se define como la llama resultado de la combustión del acetileno y del oxígeno.

Entre los gases utilizados para esta llama, se encuentra como combustible al acetileno (C_2H_2), siendo uno de los gases más utilizados en aplicaciones de corte y soldadura, el cual se obtiene como resultado de la reacción química entre carburo de calcio (CaC_2) y agua (H_2O), como se observa en la ecuación 1. [1]



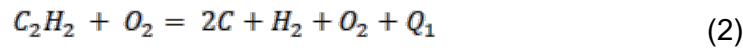
Ya que la mezcla entre estos dos gases es altamente explosiva, se debe tener especial cuidado en cuanto a la instrumentación utilizada, y las proporciones de la mezcla a utilizar.

El acetileno en la actualidad se expende en acumuladores, color rojo, que son cilindros de presión en donde viene el acetileno disuelto en acetona y a presiones de 250 Psi. Se debe indicar que la presión de trabajo de este gas está entre los 7 y 14 psi, sin embargo, al estar disuelto en acetona las moléculas no entran en contacto y por tanto no existe riesgo de explosión.

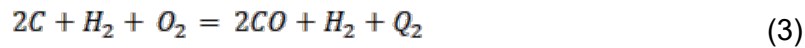
El oxígeno que es el gas comburente también se encuentra en cilindros a presiones de 2200 psi, su color de identificación es verde y las presiones de trabajo están entre 20 y 40 psi dependiendo de las actividades a realizar.

La llama real se presenta por etapas lo que contribuye a un ahorro del oxígeno que requiere la llama.

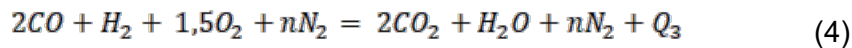
En el extremo de la boquilla de la antorcha sucede la descomposición del acetileno, el cual ocurre a una temperatura superior a 400 °C formando el cono luminoso de llama, como se indica.



La segunda reacción ocurre en la zona denominada reductora y se produce la combustión parcial del carbono, como se indica y como productos de la reacción se tiene el monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H₂), tal como se ve en la ecuación 2.

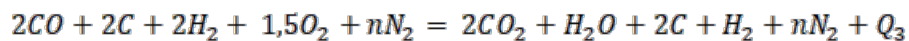


En el siguiente tramo y utilizando el oxígeno del aire se completa la reacción, donde el monóxido de carbono da como resultado bióxido de carbono (CO₂) y el hidrógeno da como resultado vapor de agua. Como se puede observar en la ecuación 4. [2]

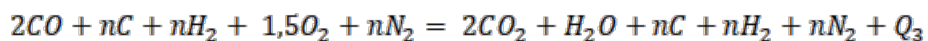
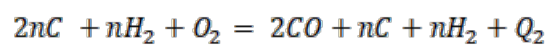
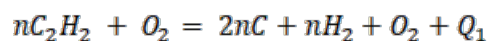


La ecuación anterior describe las reacciones para el caso de la llama neutra, en donde la proporción acetileno/oxígeno es igual a 1. Sin embargo, para poder realizar la cementación o carburización se utiliza la llama carburante que es aquella que tiene una proporción de acetileno/oxígeno mayor que 1 y sin límite, como se indica en las siguientes reacciones:

Si la proporción fuera 2, tenemos:



Para obtener un proceso general se tiene:



Tipo de llama	C ₂ H ₂ /O ₂	Productos	Utilización
Neutra	1	2CO ₂ +H ₂ O+nN ₂	Pre calentamiento
Carburante	1.5	2CO ₂ +H ₂ O+C+0,5H ₂ +nN ₂	Endurecimiento
	2	2CO ₂ +H ₂ O+2C+H ₂ +nN ₂	
	2.5	2CO ₂ +H ₂ O+3C+1,5H ₂ +nN ₂	
	3	2CO ₂ +H ₂ O+4C+2H ₂ +nN ₂	

Tabla 1 Productos de las proporciones de acetileno/oxígeno

En la anterior tabla se describe los productos que se obtendría si utiliza mayor proporción de acetileno/oxígeno como para los valores 1,5; 2; 2,5 y 3 moléculas de acetileno que se combinan con 1 molécula de oxígeno.

Otro aspecto considerado en la selección del acetileno como gas de combustión para este proceso, es el potencial calórico del mismo, el cual se suele calcular con la ecuación 5, y es que este potencial, suele considerarse para propiedades de pre calentamiento del acero a soldar o cortar, junto con el tiempo de aplicación y velocidad de corte. [3]

$$q = C_c \times V3600 \text{ Cals} \quad (5)$$

Donde:

C_c: Calor de combustión del gas combustible [Cal/lt]

V: Caudal o gasto de combustible [lt/h]

Para el acetileno este potencial sería:

$$q = 12600 \times V_{\text{acetileno}} 3600 \text{ Cals}$$

$$q = 3,5 V_{\text{acetileno}} \text{ Cals}$$

1.4.1.3. Tipos de llamas

En los sopletes para las llamas oxiacetilénicas es posible obtener tres tipos de flama, dependiendo de las proporciones de los gases implicados.

La llama neutra es la de mayor aplicación. Esta balancea correctamente las cantidades de oxígeno y acetileno, llegando a temperaturas de 3500 °C en su cono luminoso, y 1275 °C en la punta extrema. Los productos de la llama neutra no afectan a los materiales base y por lo tanto es la llama ideal para calentamiento y procesos de soldadura.

La llama oxidante utiliza una proporción de oxígeno/acetileno mayor que el de la llama neutra y hasta una proporción de 3.5 en donde se extingue la llama. Su cono es luminoso, es más corto, cónico y la llama de alta sonoridad tiene mayor temperatura que la llama neutra. El envolvente es más colorido y esta llama suele ser utilizada para soldar latón, bronce por fusión y para procesos de oxicorte.

Esta llama no es recomendable para procesos de carburización por cuanto el oxígeno remanente oxida la superficie.

Estas llamas en mención se indican en la figura 3.

La llama reductora o carburante logra un color blanco entre el cono luminoso y el envolvente, cuya longitud aumenta en función del exceso de acetileno en la combustión. Esta la llama ideal para los procesos de carburización, por cuanto se obtiene un mayor depósito de átomos de carbono en la superficie del metal a tratar, factor importante para el caso de estudio de la presente investigación. [4]

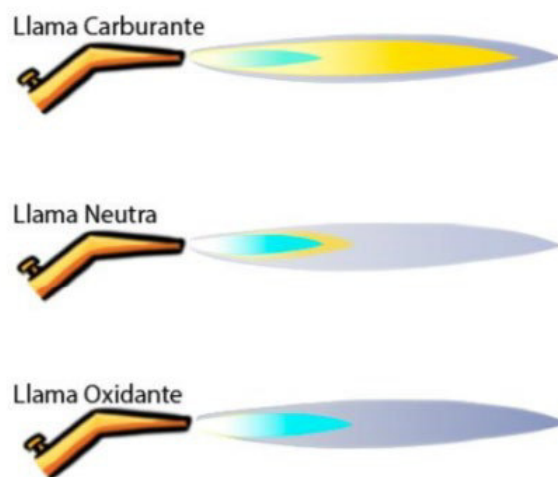


Figura 3. Esquema tipos de llama (Fuente propia)

1.4.1.4. Aplicación de llamas oxiacetilénica

La llama oxiacetilénica utiliza el gas acetileno como combustible y el oxígeno como comburente de los cuales se indica las siguientes características.

Acetileno

- Importante hidrocarburo gaseoso.
- Composición química de carbono e hidrógeno, se pueden descomponer bajo acción de calor o presión.
- Se puede generar mediante la reacción de agua con carburo de calcio o a la vez se puede en acumuladores.

Oxígeno

- Este gas se encuentra en la naturaleza mezclado con varios elementos.
- Elemento principal en cualquier tipo de combustión.
- Para la obtención de oxígeno se lo puede realizar por un proceso electrolítico.

Para la obtención de la llama se toma muy en cuenta la presión de trabajo, esta regula la salida de una determinada cantidad de volumen de gas, a la velocidad adecuada y para que la combustión ocurra fuera de la boquilla.

Ajuste de llama

- Regular la presión de trabajo en relación con el calibre de boquilla a utilizar.
- Abrir el paso de acetileno, seguidamente encenderlo.
- Regular la llama acetilénica dando paso al oxígeno del soplete hasta obtener el tipo de llama con el que se desea trabajar (carburante, neutra u oxidante).

En este fenómeno el calor producido es el resultado de la combustión del gas mezclado anteriormente en el soplete. [3]

En la siguiente figura se indican los componentes de una antorcha para los procesos de oxigas.

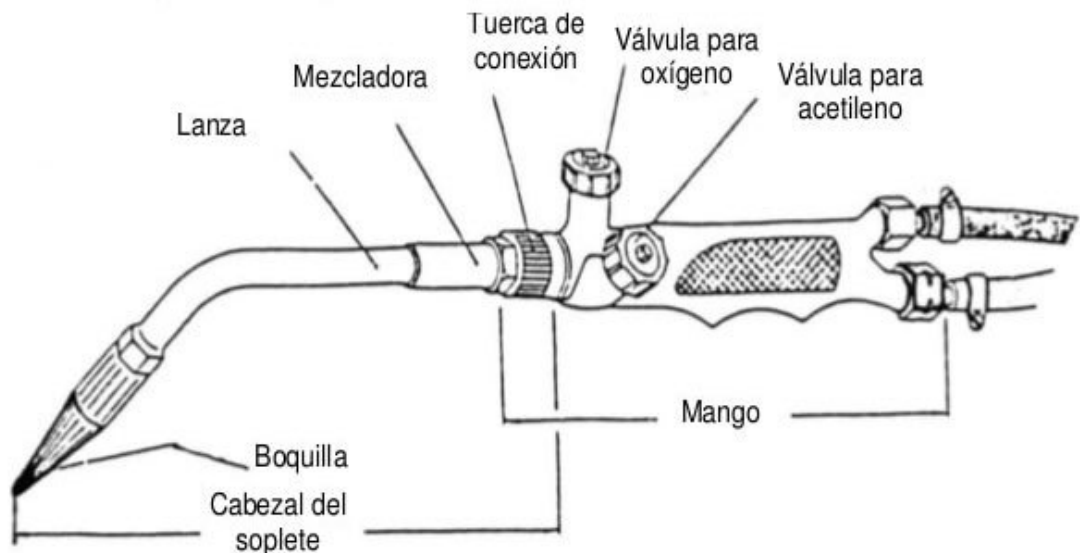


Figura 4 Partes del soplete [4]

Aplicaciones

- Proceso de calentamiento

- Proceso de soldadura OAW
- Procesos de corte
- Proceso de soldadura indirecta con llama
- Limpieza térmica
- Recubrimientos superficiales (HVOF)
- Trabajos especiales

Valores de presiones de trabajo

Los reguladores de presión son los encargados de dar paso al gas a ciertos valores de presión estos constan de dos manómetros: uno llamado de alta presión que es el que está pegado a la válvula del tanque que indica la presión del gas contenido y el otro llamado de baja presión que permitirá regular la presión de trabajo.

- La presión de llenado de los tanques para el acetileno es de 250 PSI, y la presión de trabajo 7-14 PSI.
- La presión de llenado de los tanques para el oxígeno debe ser superiores a 2200 PSI y la presión de trabajo de 20 a 40 PSI.

La llama oxiacetilénica para trabajar utiliza diversas proporciones de volumen de oxígeno con respecto a volumen de acetileno. Los tres tipos de llamas conocidos dependen de la relación entre estos volúmenes como se muestra en la siguiente figura.

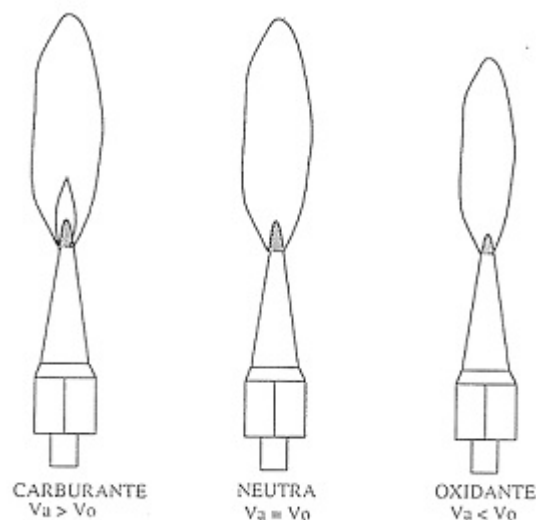


Figura 5 Tipos de llamas en función de la regulación [5]

La característica destacada del acetileno, es flamable y explosivo por lo que su uso a una presión mayor a 14,22 PSI representaría un riesgo de explosión. Por lo que es recomendable trabajar a presiones de hasta 7,11 PSI.

Y para el oxígeno se recomienda valores de entre 20 a 40 PSI.

1.4.1.5. Acero SAE 1018 eje de transmisión

La norma SAE Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotrices), clasifica los aceros en distintos grupos, que son:

- Aceros al carbono
- Aceros de media aleación
- Aceros aleados
- Aceros inoxidables
- Aceros de alta resistencia
- Aceros de herramienta

Para este estudio en específico se tratará con un acero al carbono, y para lo cual la denominación que se tiene de la normativa SAE para estos aceros es la siguiente representación;

SAE YZXX, lo cual, Y indica el porcentaje de aleación simple, la cantidad aproximada del elemento predominante de aleación. Z indica el tipo de acero o aleación, el cual puede optar los valores de:

- Z=1: si se trata de aceros al Carbono
- Z=2: si se trata de aceros al Níquel;
- Z=3: para aceros al Níquel-Cromo;
- Z=4: para aceros al Molibdeno, Cr-Mo, Ni-Mo, Ni-Cr-Mo;
- Z=5: para aceros al Cromo;
- Z=6: si se trata de aceros al Cromo-Vanadio;
- Z=7: si se trata de aceros Al Tungsteno-Cromo;
- Z=8: para aceros al Ni-Cr-Mo;

Y por último XX indican la fracción el contenido de carbono (C) [6]

Por lo tanto, el acero SAE 1018 es un acero al carbono simple con 0,18 %C.

A continuación, se presentan los diferentes grupos dentro de los aceros al carbono:

ACEROS SEGÚN SU % DE CARBONO	SAE
De muy bajo % de carbono	1005 a 1015
De bajo % de carbono	1016 a 1030
De medio % de carbono	1035 a 1053
De alto % de carbono	1055 a 1095

Tabla 2 Clasificación de aceros al carbono

Dicho esto, se puede establecer que el acero SAE 1018 eje de transmisión es una barra de acero no aleado, este es usado para la fabricación de piezas pequeñas, que están expuestas a resistencia mecánica al desgaste también son de buena maquinabilidad por su bajo contenido de carbono.

Este material es empleado en la fabricación de pernos, tuercas, piezas de maquinarias, ejes, levas, pines cilindros entre otros.

A la continuación se muestra su composición química de este material en cuestión.

COMPOSICION QUIMICA				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0-0,20	0-0,25	0-0,0	0,04	0-0.5

Tabla 3 Composición química del Acero SAE 1018 eje de transmisión

1.4.1.6. Seguridad industrial para aplicación del proceso OAW

Las emisiones producidas en este proceso de soldadura son elevadas a comparación de la soldadura con electrodo revestido SMAW por lo que es importante cumplir las medidas de seguridad que se establece para este proceso.

Para garantizar la seguridad, el soldador debe protegerse de la radiación a las altas temperaturas y las quemaduras. Es importante optar de un filtro apropiado para la

protección tanto de nariz, ojos y piel debido a que la luminosidad de las llamas las absorbe de manera directa el soldador.

Es necesario el uso de:

- Gafas
- Bata u overol
- Guantes de cuero
- Calzado de seguridad
- Capucha para soldar
- Filtros o respiradores

En la siguiente figura se indica el equipo de seguridad personal para este proceso.



Figura 6 Equipo de protección personal. [7]

Gafas

Los cristales que se ocupan para la protección de la vista tienen distintos tonos (número de filtro), el escoger el ideal dependerá de la cantidad de acetileno que se use durante el proceso de carburización.

N. Filtro	Proceso	Gas	Consumo [lt/h]
4	Soldadura con flama-para corte oxiacetileno	Acetileno + oxígeno	70 - 900
5	Soldadura con flama-para corte oxiacetileno	Acetileno + oxígeno	900 - 2000
6	Soldadura con flama-para corte oxiacetileno	Acetileno + oxígeno	2000 - 4000
8	Soldadura con flama-para corte oxiacetileno	Acetileno + oxígeno	4000 - 8000

Tabla 4 Numero de filtro según su uso. (Fuente propia)

Para este trabajo, con la ayuda de nuestro tutor y la experticia del soldador se eligió el filtro numero 6 el cual se utilizó para el proceso de endurecimiento del material.

En el lugar de trabajo se debe tener un extintor al alcance del operador en caso de algún incidente con el proceso de soldadura.

En caso de trabajar con otras personas cerca, asegurar que hayan sido puestas en conocimiento y cuenten con protección contra destellos luminosos, humos u otros riesgos relacionados con el proceso de soldadura y la utilización de las llamas oxigas. [8]

1.4.2. Proceso de carburización de aceros

1.4.2.1. Descripción del proceso de carburización

Se suele describir a la carburización o cementado como el resultado del calentamiento de hierro o de acero a una temperatura por debajo de su punto de fusión en presencia de un sólido, líquido, o material gaseoso rico en carbono, que se descompone de manera que se liberan átomos de carbono cuando se calienta a la temperatura utilizada. De esta manera, es posible obtener por la penetración gradual, difusión, o la absorción del carbono por el acero, una "zona" o "caso" de mayor contenido de carbono en las superficies exteriores a la del objeto original. Cuando un objeto cementado se enfría rápidamente en agua, aceite, salmuera, etc., desde la

temperatura adecuada, esta zona se vuelve dura, dejando el interior de la pieza suave, pero de gran dureza.

Dos factores hay en juego: La reacción de carbón - absorción en la superficie y la difusión del carbón dentro del metal.

1.4.2.2. Tipos de carburización

La carburización o cementación se puede aplicar en todo elemento que requiera una mayor resistencia a esfuerzos superficiales, tenacidad y resistencia al desgaste, como se suele observar en piñones, ejes, levas, entre otros. Es un proceso que ha requerido cierta versatilidad por ello, se puede diferenciar entre tres tipos de carburización en cuanto al material cementante:

- Material sólido
- Material líquido
- Material gaseoso

Material sólido:

La carburización en un medio sólido suele requerir de un recipiente en el que se deposite una cierta cantidad de material rico en carbono, variando el tiempo de permanencia para el porcentaje o tamaño de la capa de difusión deseada, dentro del material cementante se debe ubicar al elemento que se quiere “endurar”, por ello este método se puede ver limitado en cuanto al tamaño de la pieza.

El procedimiento requiere que dichas cajas sean resistentes a altas temperaturas durante tiempos prolongados, ya que la pieza deberá estar sumergida en el material cementante durante horas y a una temperatura entre 900 y 950 °C, como mezcla cementante se puede utilizar la de 70 % a 80 % de carbón vegetal pulverizado, con un 20 % a 30 % de un carbonato como por ejemplo el Carbonato de bario (BaCO_3), el cual puede actuar como catalizador, además de contribuir al desprendimiento del carbón en estado elemental, necesario para la carburización, como se indica en la figura 1

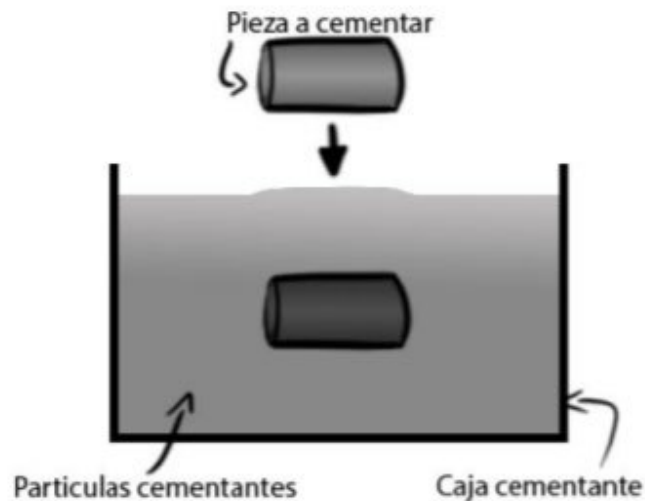


Figura 7 Esquema de cementación con material sólido (Fuente propia)

Material líquido:

Para la carburización en un medio líquido se debe fundir sales de baño a 950 °C aproximadamente, donde se sumergirá a los elementos por cementar, dichas sales suelen estar constituidas por una sal base como cloruro o carbonato de sodio, junto con una sal que aporte carbono, como el cianuro de sodio o de potasio, y una sal activante como el cloruro de bario, y respetando porcentajes en base a los resultados esperados. Figura 2.

Gracias a la presencia de cianuros, es posible obtener una capa muy fina exterior por la formación de nitruros, capa que tendría una muy elevada dureza, lo que sería una ventaja de este procedimiento, aunque se ve en desventaja por el tamaño de la pieza y por cuestiones de costos.

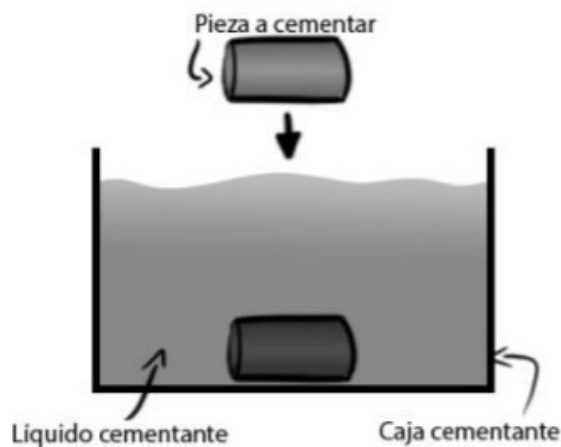


Figura 8 Esquema de cementación con material líquido (Fuente propia)

Material gaseoso:

Para la carburización gaseosa se necesita instrumentación más compleja ya que esta permite la cementación en masa de elementos o piezas, sin duda una ventaja significativa frente a los demás tipos, además que este procedimiento puede llegar a ser dos o tres veces más rápido, presenta menos complicaciones a la salud del usuario, y gracias a que el crecimiento de grano es más limitado, las propiedades del núcleo sin cementar son mejores.

Usualmente se lo realiza en hornos donde se inyecta un gas cementante como hidrocarburos saturados, tales como el butano, propano, metano, acetileno entre otros, y al calentarlo entre 900 a 1000°C se desprende el carbono elemental necesario para la cementación de los aceros. Para el presente proyecto esto se realizó utilizando llamas oxiacetilénicas carburantes por lo que la aplicación es más directa.

1.4.3. Ensayo de micrografía

Para poder analizar cualquier elemento al que se haya hecho alguna alteración, se puede realizar este ensayo, el cual consiste en observar la microestructura a través de un microscopio para metalografías este permite obtener imágenes en un rango de 50X hasta 500X.

Para poder obtener una correcta visión por medio del microscopio, primeramente, se debe realizar una exhaustiva preparación del material para poder visualizar correctamente la microestructura de cualquier material. Dicho esto, se puede observar si en la microestructura hubo alguna alteración comparando con el material base.

2. METODOLOGÍA

2.1. Proceso de carburización

Posteriormente a la revisión de la información teórica importante para este trabajo, en este capítulo da conocer el proceso de carburización una vez obtenidas las probetas, así mismo se describirá los equipos y el proceso para el ensayo de las mismas.

En las micrografías a realizarse de las diferentes probetas se pretende observar alguna alteración en su microestructura, algo en particular que diferencie a las probetas que fueron cementadas de la probeta de original.

2.1.1. Procedimientos experimentales

2.1.1.1. Elaboración de probetas para carburizar

Se obtuvo el material base, un acero SAE 1018 eje de transmisión 1m de largo y diámetro 36.75mm y se procedió a extraer probetas de dimensiones de 50mm, varias para el análisis. Las probetas fueron cortadas en sentido transversal mediante sierra de cinta para acero, como se muestra en la figura 9.



Figura 9 Sierra de cinta (Fuente propia)

Con la ayuda de esta máquina se obtuvieron veinte probetas necesarias para el análisis de este trabajo como se muestra en la figura 10 probetas las cuales desarrolladas. Estas probetas se llevaron al Laboratorio de Soldadura de la Escuela Politécnica Nacional, donde se encuentra el equipo para soldadura OAW, además que en el mismo laboratorio se encuentra un torno el cual fue de mucha ayuda para realizar el procedimiento de carburización.



Figura 10 Probeta para experimentación (Fuente propia)

2.1.1.2. Carburización

Previo al método experimental de carburización, se procede a tomar la dureza inicial de la probeta como se muestra en la figura 11 para después de hacer la cementación, poder analizar si la dureza incrementó lo esperado y comparar con los valores que se obtendría finalmente.

Marca	HARDROCKER
Modelo	HR-150 ^a
Capacidad de carga	60,400,150 kgf
Indentadores	Punta de acero de 1/6 pulg/ Cono de diamante

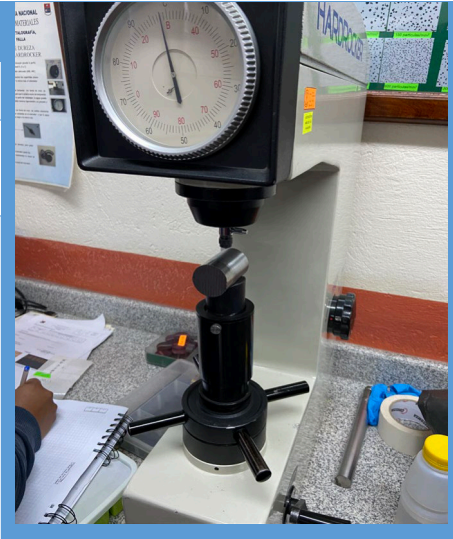


Tabla 5 Equipo para medición de dureza, especificaciones. (Fuente propia).

Para este proceso en donde se aplicarán llamas directamente en la superficie del cilindro, se procede a hacer una limpieza básica en donde se retira toda la impureza que pudiera haber en las probetas y así los átomos de carbono se puedan adherir correctamente.

Al escoger un material cilíndrico el objetivo es agilizar el proceso de carburización, mediante la utilización de un torno. Para lo cual se procede sujetar las probetas en las mordazas del cabezal del torno, fijar correctamente y dar movimiento al mismo con una velocidad constante, seguidamente aplicar las llamas directamente sobre la probeta mientras esta gira, como se muestra en la figura. 12

Como se describió en el marco teórico los tipos de llamas, en este trabajo se emplea la llama carburante la cual por su exceso de acetileno genera átomos de carbono libres.



Figura 11 Aplicación de llama carburante (Fuente propia)

Para este proceso de cementación, las probetas son calentadas primeramente hasta una temperatura cercana a $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ que se controlada con un pirómetro como se observa en la figura 12, este proceso se realiza con una llama neutra las cuales, al no tener productos, estas solamente calientan al objeto y no se presente ninguna alteración química, metalúrgica ni mecánica. La temperatura adecuada se lo define de 900°C para que, en un ambiente rico en carbono, exista un nivel apropiado de difusión de carbono. Inmediatamente y una vez que alcanza esta temperatura, se debe implementar una llama carburante la cual depositará átomos de carbono en la superficie, proceso que estará controlada por un determinado tiempo.



Figura 12 Control de temperatura (Fuente propia)

El proceso de carburización se complementa necesariamente con un tratamiento térmico que es el temple, que también se aplica en los procesos de cementado con material sólido y consiste en enfriar bruscamente en agua la probeta aplicada.

2.2. Ensayo de micrografía

El análisis de la microestructura de cualquier material es importante para conocer las características que tiene cada uno, así como su comportamiento luego de alguna alteración, de este modo de establecer conclusiones a través de información en general o normas. Este ensayo es una herramienta para examinar más a detalle las modificaciones internas de piezas y para inspeccionar procesos industriales. Con el correcto análisis de la microestructura del material se puede obtener averiguación de ciertas propiedades mecánicas y de forma consecuente se podrá hacer un acercamiento a las aplicaciones más adecuadas del mismo.

2.2.1.1. Elaboración de probetas para metalografías

Una vez realizado el proceso experimental se continúa con la preparación de las probetas para observar su microestructura. Por lo que de los cilindros cementados se extraerá la parte central del mismo aproximadamente un centímetro como se muestra en la figura 9, para poder montar con facilidad en los moldes.

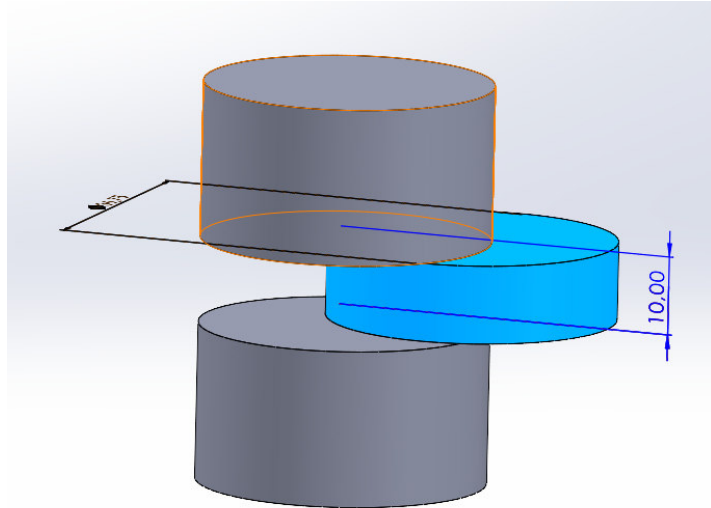


Figura 13 Parte a ser extraída (Fuente propia)

Esta muestra se la realizó igualmente con ayuda un torno y con una sierra se cortó como se muestra en la figura 14, se realizó el corte de esta manera para agilizar el proceso ya que el acero en cuestión tiene cierta dureza, además que con este proceso no se eleva la temperatura en el corte a comparación de que si se hiciera el corte con disco y una amoladora. Cabe recalcar que igualmente este procedimiento se lo iba refrigerando con taladrina para evitar cualquier alteración en sus propiedades.



Figura 14 Extracción de parte media del cilindro (Fuente propia)

Como resultado se obtuvo las siguientes probetas las cuales fueron enumeradas de acuerdo a su orden en el proceso de carburización.



Figura 15 Probetas iniciales (Fuente propia)

Dado el caso de la aplicación de las llamas en la parte de la superficie lateral de los cilindros, en las micrografías se pretende observar encarecidamente los filos de los cilindros, es decir en sentido transversal desde la parte exterior hacia la parte interior como se visualiza en la siguiente figura.

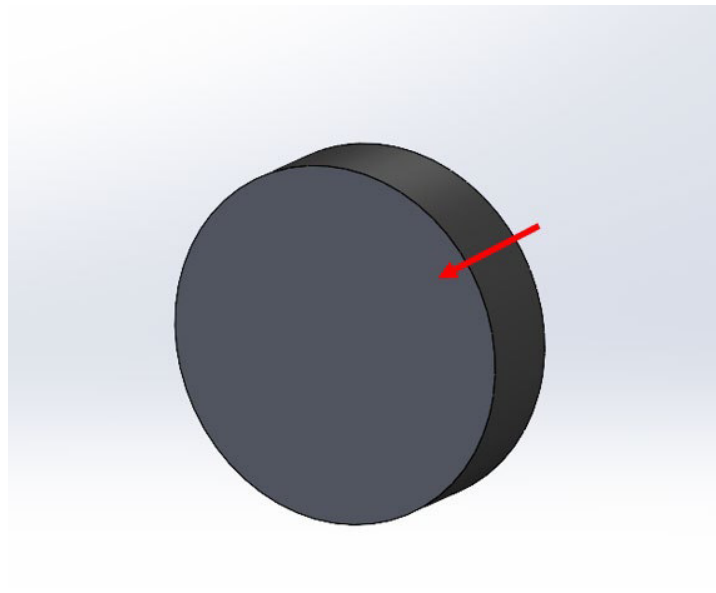


Figura 16 Parte a enfocarse en micrografías (Fuente propia)

Para facilidad al momento de realizar el pulido y colocar en las muestras con resina se extrajo nuevamente una cuarta parte del cilindro que se mostro anteriormente. Por lo que se tiene de resultados las siguiente figura.



Figura 17 Muestras para pulir (Fuente propia)

2.2.1.2. Equipos

A continuación, se muestran algunos de los equipos usados para la preparación de las muestras, mismos que se encuentran en el Laboratorio de Metalografía, Desgaste y Falla de la FIM de la Escuela Politécnica Nacional.

Marca	BUEHLOR LTD	
Modelo	MAetallurgical Apparatus	
Peso	75 kg	
Dimensiones	95x67x74 cm	
Voltaje	220 V	
Amperaje	6,2 A	

Tabla 6 Equipo para desbaste grueso, especificaciones. (Fuente propia).

Marca	METKON	
Modelo	2V	
Voltaje	230V	
Frecuencia	50/60 Hz	
Potencia	150 W/600 W	

Tabla 7 Pulidora automática para desbaste fino, especificaciones. (Fuente propia).


Marca	OLYMPUS	
Modelo	GX41	
Voltaje	110/240 V	
Dimensiones	47,5x47x24	
Frecuencia	60/50 Hz	

Tabla 8 Microscopio para metalografías, especificaciones. (Fuente propia).

2.2.1.3. Procedimiento

Una vez obtenidas las muestras anteriormente mencionadas se continua con el siguiente procedimiento, para obtener las probetas a ser observadas en la metalografía.

Se inicia con un desbaste grueso en la cara a ser observada, proceso para cada una de las probetas como se muestra en la siguiente figura.



Figura 18 Proceso de desbaste grueso (Fuente propia)

Luego se limpia con alcohol y seguidamente el secado. A continuación, sigue el desbaste fino y pulido para lo cual se monto las probetas en moldes con resina para poder manipular de mejor manera las probetas, y también se enumeran para poder diferenciar las probetas tratadas y la de material base. Como se muestra a continuación



Figura 19 Muestras montadas en resina (Fuente propia)

Se continua con el desbaste con las siguientes lijas 240, 320, 400, 600 1200 y 2000. Como se visualiza en la siguiente figura.



Figura 20 Proceso de desbaste en máquina. (Fuente propia)

Se debe realizar los diferentes desbastes hasta que las superficies de las probetas estén sin rayaduras, luego se realiza un ataque químico con nital al 10% durante 7 segundos. Se debe lavar con mucho cuidado con agua y alcohol así mismo se debe secar quedando listas para ser observadas como se muestran a continuación.



Figura 21 Probetas listas para ser observadas en el microscopio (Fuente propia)

Finalmente se observa en el equipo de micrografía que consta del microscopio metalográfico y el software OLYMPUS Stream Essentials, en el cual se puede notar la microestructura de las muestras. Se toma evidencia de estas con varias fotografías de la microestructura para poder analizarlas.

2.3. Análisis de costos

Uno de los puntos determinantes para evaluar un proceso de mejoramiento son los costos de producción, calidad y la productividad, un aumento o una disminución en alguno de estos será de considerable importancia para establecer si será o no viable hacer alguna mejora al material en cuestión.

De esta forma en este capítulo se analizará el costo total que se emplea en realizar la carburización con el método OAW sobre un cilindro de acero SAE 1018, dando a conocer valores en dólares por el tiempo que fueron utilizados para cada uno de los elementos los cuales intervinieron en el proceso de endurecimiento.

2.3.1. Costo total

El costo total es la suma del costo de precalentamiento del material en donde se emplea una llama neutra y el costo de aplicación de llamas carburante para el proceso de carburización por el proceso OAW, este se establece como:

$$C_T = C_P + C_C$$

Donde:

C_T : Costo total [\$/min]

C_P : Costo de precalentamiento [\$/min]

C_c : Costo de carburización [\$/min]

2.3.2. Costo de operación

Los valores que se presentan a continuación se tomaron de fuentes confiables como es la empresa SAPTEC la cual proporciona los tanques de gas al Laboratorio de Soldadura de la Escuela Politécnica Nacional, así como los datos obtenidos en el mismo proceso de carburización.

En la siguiente tabla se indican los valores en dólares de los gases.

Costo de gases		
Acetileno 6m³	100\$	16,66\$/ m ³
Oxígeno 6m³	23\$	3,83\$/ m ³

Tabla 9 Costo de gases

2.3.2.1. Costo de precalentamiento

El costo de precalentamiento se realiza con una llama neutra en donde las proporciones tanto de acetileno como de oxígeno son equivalentes. En donde se utilizó:

Flujo [m ³ /h]	
Oxígeno	Acetileno
0,31	0,31

Tabla 10 Flujo de gases para precalentamiento

Entonces se tiene:

$$C_p = C_A + C_O$$

Donde:

C_p : Costo de precalentamiento

C_A : Costo de acetileno

C_O : Costo de oxígeno

$$C_A = u_A * C_{SA}$$

Donde:

u_A : Costo unitario de acetileno

C_{SA} : Consumo de acetileno

$$C_A = 16,66 \frac{\$}{m^3} * 0,31 \frac{m^3}{1h} * \frac{1h}{60min} = 0,086\$/min$$

$$C_O = u_O * C_{SO}$$

Donde:

u_O : Costo unitario de oxígeno

C_{SO} : Consumo de oxígeno

$$C_O = 3,83 \frac{\$}{m^3} * 0,31 \frac{m^3}{1h} * \frac{1h}{60min} = 0,02\$/min$$

Por lo que se tiene:

$$C_P = C_A + C_O = 0,086 + 0,02 = 0,106\$/min$$

2.3.2.2. Costo de llama carburante

El costo de llama carburante se realiza con una llama en donde la proporción de acetileno es mayor que la proporción de oxígeno. Para este análisis se considera la proporción de 2. En donde se utilizó:

Flujo [m ³ /h]	
Oxígeno	Acetileno
0,31	0,62

Tabla 11 Flujo de gases para carburización

Entonces se tiene:

$$C_C = C_A + C_O$$

Donde:

C_C : Costo de carburización

C_A : Costo de acetileno

C_O : Costo de oxígeno

$$C_A = u_A * Cs_O$$

Donde:

u_A : Costo unitario de acetileno

Cs_O : Consumo de oxígeno

$$C_A = 16,66 \frac{\$}{m^3} * 0,62 \frac{m^3}{1h} * \frac{1h}{60min} = 0,172\$/min$$

$$C_O = u_O * Cs_O$$

Donde:

u_O : Costo unitario de oxígeno

Cs_O : Consumo de oxígeno

$$C_O = 3,83 \frac{\$}{m^3} * 0,31 \frac{m^3}{60min} * \frac{1h}{60min} = 0,02\$/min$$

Por lo que se tiene:

$$C_C = C_A + C_O = 0,172 + 0,02 = 0,192\$/min$$

2.3.2.3. Costo de calentamiento por metro cuadrado

Teniendo el cilindro en cuestión como se ve en la siguiente figura, y sus dimensiones.

Lo que importa del mismo en este punto es su área lateral.

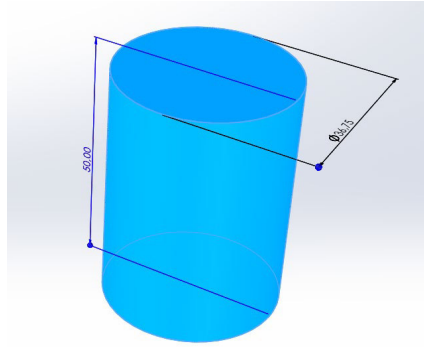


Figura 22 Dimensiones de cilindro (Fuente propia)

El área transversal sería:

$$A_L = 2 * \pi * r * h$$

Donde:

A_L : Área lateral

r : radio

h : altura

Entonces para las diferentes probetas se podrían observar en la siguiente tabla el costo para cada una de ellas dependiendo el tiempo que se empleó.

Probeta	PRECALENTAMIENTO				CARBURIZACION				
	Costo U. Acetileno [%/min]	Costo U. Oxígeno [%/min]	Tiempo [min]	C. Precal [\$]	Costo U. Acetileno [%/min]	Costo U. Oxígeno [%/min]	Tiempo [min]	C. Carbur [\$]	COSTO FINAL [\$]
P-08	0,086	0,02	5	0,53	0,172	0,02	10	1,92	2,45
P-09	0,086	0,02	5	0,53	0,172	0,02	15	2,88	3,41
P-10	0,086	0,02	5	0,53	0,172	0,02	20	3,84	4,37
P-11	0,086	0,02	5	0,53	0,172	0,02	25	4,8	5,33
P-12	0,086	0,02	5	0,53	0,172	0,02	30	5,76	6,29

Tabla 12 Costo en dólares que costo el carburizar las distintas probetas (Fuente propia).

Se tomará de ejemplo la probeta P-12 la cual fue de la que se obtuvo una mayor dureza, este proceso para esta probeta nos costaría 6,29\$ dado también que se empleó llamas oxiacetilénicas neutras por 5 minutos y carburantes por 30 minutos.

Ahora un desglose de los costos para cada tipo de llama que se emplea, por área, se puede ver en la siguiente tabla, esto servirá para determinar el costo que se requiere para futuras piezas o probetas, las cuales se determinara el costo por unidad de área.

Área [cm2]	C. Carbur/área [\$/cm2]	C. Carbur/área *Tiempo C. [\$/cm2]	C. Preca/área [\$/cm2]	C. Preca/área*Tiempo P [\$/cm2]
0,57	3,37	0,34	0,93	0,186
0,57	5,05	0,34	0,93	0,186
0,57	6,74	0,34	0,93	0,186
0,57	8,42	0,34	0,93	0,186
0,57	10,11	0,34	0,93	0,186

Tabla 13 Costos en función del área

Dicho lo anterior se tiene, para el costo de precalentamiento por unidad de área:

$$C. P^* = 0,186 \left[\frac{\$}{cm^2 * min} \right]$$

Y para el costo de carburización por unidad de área:

$$C. C^* = 0,34 \left[\frac{\$}{cm^2 * min} \right]$$

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Resultados

En esta parte del documento se exponen los resultados obtenidos de las micrografías que se realizaron a las probetas de acero SAE 1018, de las cuales las tablas 11 y 12 son el material base que servirá de guía para comparación, en las siguientes tablas 13, 14 y 15 se muestra las diferentes probetas a las cuales se les expuso una llama carburante. Con estas muestras se procede a comparar las de material base con las endurecidas y así observar alguna alteración en su microestructura.

3.1.1. Resultados de las micrografías del material base


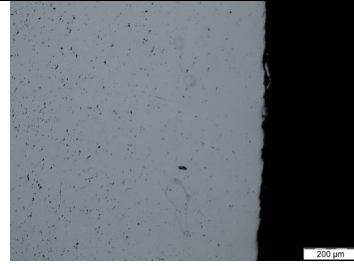
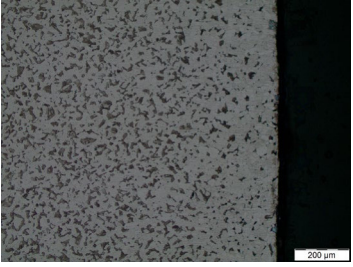
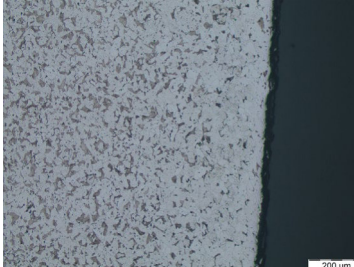
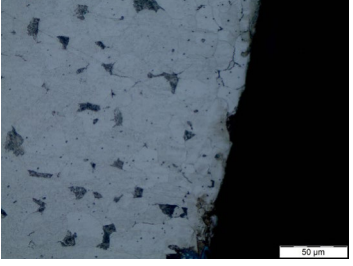
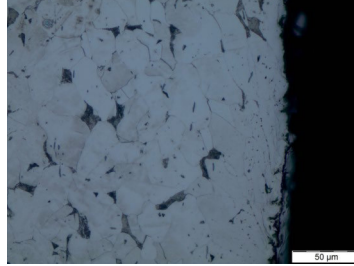
Micrografía Corte transversal	Micrografía Corte longitudinal	Aumento	Observaciones
		100x	Micrografía general para poder ver estructura del material, sin ataque químico, antes de expuesto a las llamas por el proceso OAW (llamas carburantes).
		100X	Micrografía con ataque químico (nital al 2%), este acero es un acero hipo-eutectoide, se logra observar su microestructura que consta de ferrita (zonas claras) y perlita (zonas oscuras).
		500X	Al tener un aumento y poder visualizar de mejor manera la microestructura se observa que la mayor parte de área pertenece a ferrita y se encuentran pequeñas zonas de perlita, lo que representa el bajo contenido de carbono en este acero en cuestión.

Tabla 14 Resultados de micrografías de probeta material base MT

3.1.2. Resultados de material endurecido

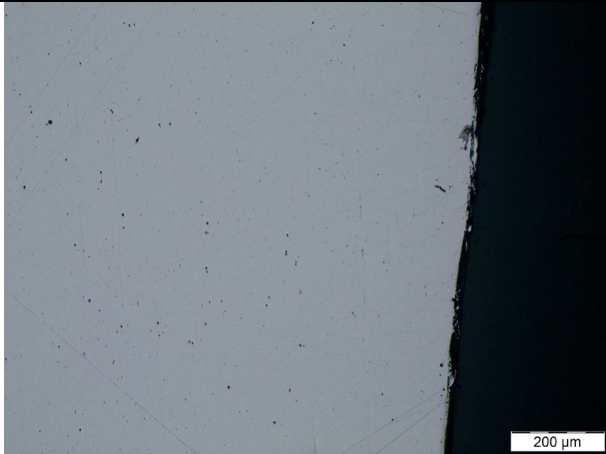
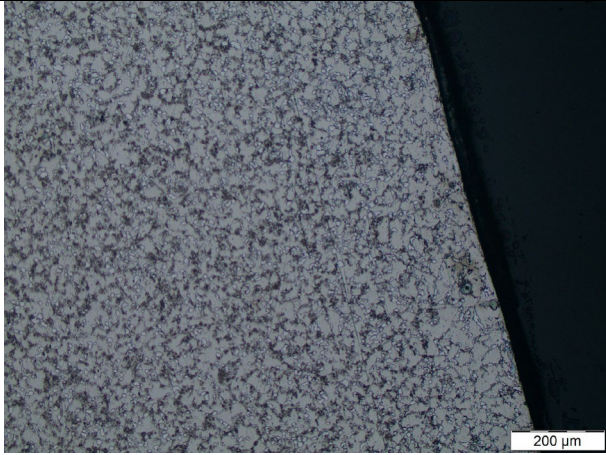
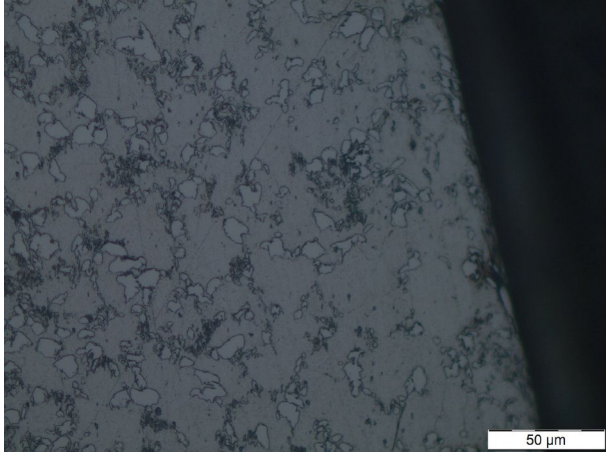
Micrografía	Aumento	Observaciones
	100x	Micrografía general para poder ver estructura del material, sin ataque químico. Aparentemente en esta probeta no se visualizan alteraciones algunas.
	100X	En este tamaño de aumento se visualiza un leve aumento de perlita. Por lo que se nota que la microestructura tiene una diferencia notable de la primera de material base. Esta probeta fue expuesta a llamas durante 10 minutos.
	500X	A diferencia de la primera probeta en este nivel de aumento, se puede ver como el tamaño de grano aumenta, además de presenciar perlita globulizada, además debido al temple que se realizó, se nota la presencia de martensita.

Tabla 15 Resultados de micrografías de probeta cementada 8


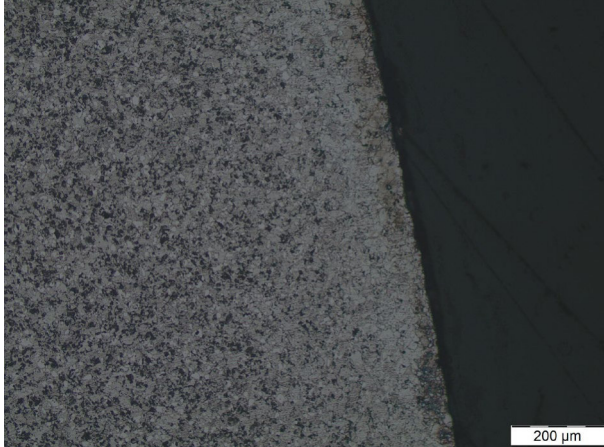
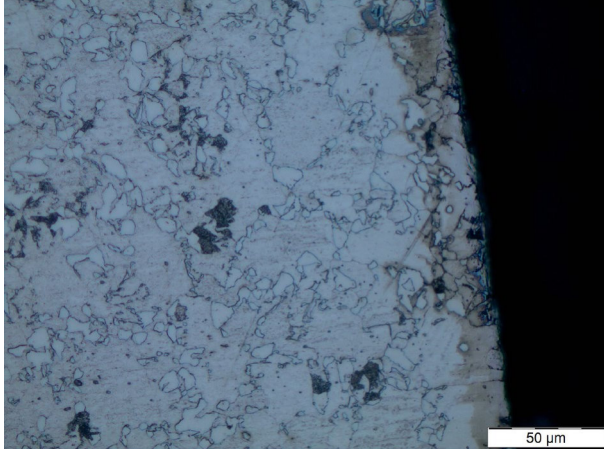
Micrografía	Aumento	Observaciones
	100x	Micrografía general para poder ver estructura del material, sin ataque químico. Aparentemente en esta probeta no se visualizan alteraciones algunas que se pueden diferenciar claramente de las anteriores.
	100X	En este tamaño de aumento se visualiza un aumento más considerable de perlita de perlita, se puede establecer que se tiene en las mismas proporciones de ferrita. Esta probeta fue expuesta a llama durante 20 minutos.
	500X	Se observa claramente el crecimiento de perlita, a diferencia del material base, en donde el tamaño era menor que ferrita. Para esta probeta aumento, aumentando así la dureza. Igualmente se presencia perlita globulizada. Así como también martensita debido al proceso de temple que se realizó al final.

Tabla 16 Resultados de micrografías de probeta cementada 10

3.2. Conclusiones

Una vez terminado el proyecto se logró el objetivo planteado el cual fue endurecer al material SAE 1018 mediante llamas oxiacetilénicas carburantes, las cuales por su proporción de acetileno/oxígeno depositan átomos de carbono en la superficie del material.

Se logró comprobar mediante cálculos estequiométricos la cantidad de átomos carbono por mol que se estaría añadiendo en la superficie del material, teniendo en cuenta la proporción acetileno/oxígeno que se implementa en el endurecimiento.

Luego del análisis de costos se establece que este método compite adecuadamente en comparación a los métodos tradicionales (partículas secas, por ejemplo), demandando también un menor costo en los implementos necesarios para realizar un endurecimiento de algún material.

Una vez realizado el proceso experimental de endurecimiento por llamas oxiacetilénicas, se señala que el tiempo juega un papel importante por lo que este método conlleva un tiempo corto, alrededor de 30 minutos, en donde fácilmente se podría obtener una pieza o componente endurecido.

Después de realizar el ensayo de dureza y metalografía de las probetas carburizadas se tiene la certeza de que se incrementó la dureza en al menos 15%, por otro lado, se pudo observar una mayor proporción de perlita y debido al enfriamiento rápido martensita en las micro estructuras.

Existen diferentes métodos para endurecer un material, pero este proceso en particular es recomendable emplearlo cuando se requiere alargar la vida útil de un material en el menor tiempo posible. A diferencia de los otros métodos los cuales se demoran entre 8 y 24 horas. Para el procedimiento realizado se promedia entre 30 minutos para obtener un incremento de dureza significativa.

Una vez realizada la aplicación de las llamas sobre el material en cuestión se continúa seguidamente con el temple en agua esto para aumentar aún más la dureza del material y garantizar que este fue endurecido significativamente.

3.3. Recomendaciones

Diseñar un dispositivo para la aplicación del proceso de carburización con llamas, por lo que por el método usado no se tuvo un control exacto en la orientación hacia la

pieza cementada, además de que es posible calentar los elementos de sujeción del torno (cabezal).

Este proceso no es recomendable aplicar en elementos que tengan tratamientos térmicos previos puesto que por el calentamiento puede disminuir la dureza inicial.

Inmediatamente después del tiempo de calentamiento se debe aplicar la llama carburante, para evitar un proceso de oxidación de la superficie, que evita el proceso de carburización.

Este método de endurecimiento es recomendable realizarlo cuando se quiere endurecer una pieza de dimensiones considerables, por lo que el tiempo será corto y el costo de aplicación de las llamas igualmente no será de gran valor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] J. F. Pablo Arcos, «Análisis comparativo de los procesos de corte por plasma, oxiacorte y arc air aplicados a metales,» Quito, 2010.

[2] West-Arco, Manual de soldadura, Bogotá: ESAB, 2015.

[3] J. Martín. (2019, julio 19). Soldadura oxiacetilénica. [Online]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Soldadura_oxiacetil%C3%A9nica

[4] F. Medina. Partes del soplete. (2018, agosto 9). [Online]. Disponible en: <http://mecanicadeproduccion69.blogspot.com/2018/08/resultado-de-imagen-para-soldadura.html>



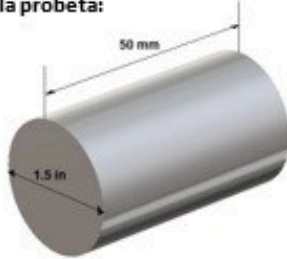
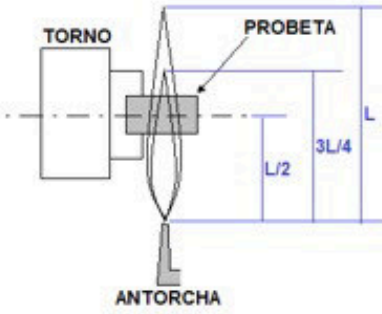


[5] H. Rodríguez. Fundamentos de la Soldadura por Gas y Oxiacetilénica. (2020, febrero 13). [Online]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn43.html>

[6] H. Rodríguez. Estudio y Clasificación de los Aceros. (2020, enero 7). [Online]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn101.html>

[7] Procesos en soldadura Procesos Industriales. (Sin fecha) [Online]. Disponible en: <https://www.ipn.mx/assets/files/cecyt4/docs/estudiantes/aulas/guias/cuarto/vespertino/procesos/procesos-de-soldadura.pdf>

[8] J. Tamboreno. Soldadura oxiacetilénica y oxiacorte: normas de seguridad. (1998). [Online]. Disponible en: <https://pdf4pro.com/view/ntp-495-soldadura-oxiacetil-233-nica-y-oxiacorte-normas-de-4a6bbe.html>

ANEXO

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO	
HOJA DE PROCESOS		
Institución: Escuela Politécnica Nacional Facultad: Ingeniería Mecánica Fecha: 08/02/2022	Elaborado por: Luis Mina, Efrén Barriga Revisado por: Ing. Gabriel Velastegui Aprobado por: Ing. Homero Barragán	
Descripción de la probeta Material: Acero SAE 1018 Distribuidor: Aceros Industriales HGB Dimensiones: Diámetro 1.5 in x 50 mm N. de probetas: 5 Tratamiento previo: Trabajo en frío (Requiere Normalizado) Dureza fabricante: 83 HRB Dureza medida: 82 HRB	Esquema de la probeta: 	
Precalentamiento Temperatura: 900 °C Tiempo de aplicación: 5 min Tiempo transición: 0 min	Esquema del proceso: 	
Variables del proceso Llama Oxiacetilénica: Carburante Rel. composición: 3L/4 Posición probeta: L/2 Tiempo aplicación: 10, 15, 20, 25, 30 min Temple: Agua Velocidad de giro: 200 rev/min		
Descripción del proceso <ol style="list-style-type: none"> 1. Medir la dureza superficial inicial de las probetas. 2. Sujetar la probeta en el torno y limar la superficie para remover una posible capa de óxido estable. 3. Abrir el paso de acetileno y oxígeno y encender la antorcha. 4. En llama neutra realizar el precalentamiento de la pieza controlando la temperatura. 5. Inmediatamente cambiar a llama carburante con la relación de composición indicada. 6. Aplicar la llama carburante durante el tiempo requerido por probeta. 7. Inmediatamente, parar el torno, retirar la probeta del mismo y sumergir en agua para el templeado. 8. Medir la dureza superficial alcanzada con cada probeta. 		
OBSERVACIONES: Dureza inicial varía de la otorgada por el fabricante y el material presentaba tratamiento previo, por ende, se realizó un normalizado. La dureza final ha alcanzado un aumento mínimo de 12 % y un máximo de 23 %, resultados muy satisfactorios.		
Revisado por:  ING. GABRIEL VELASTEGUI	Aprobado por:  ING. HOMERO BARRAGÁN	