



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

“Efecto del tiempo de carburización, sobre la resistencia al desgaste y
velocidad de corrosión en un acero AISI 3115”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Rodriguez Vargas, Carlos Enrique ([ORCID:0000-0002-0902-2455](https://orcid.org/0000-0002-0902-2455))

ASESOR:

Mgr. Celada Padilla, James Skinner ([ORCID:0000-0002-5901-2669](https://orcid.org/0000-0002-5901-2669))

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento.

CHICLAYO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

El presente estudio lo dedico a mis padres: Estefanía y Javier, por haberme otorgado la vida y por su infinito amor.

A mis tíos, Enrique y Lidia, por gran apoyo brindado.

A mis hermanos, porque ellos son mi razón y el motivo de crecer profesionalmente.

Finalmente, a todas aquellas personas que fueron mi soporte y compañía en este proceso de formación.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mis Padres y familiares por haberme inculcado buenos valores y sobre todo por brindarme siempre y en todo momento su apoyo. Gracias por todos aquellos consejos.

A todos mis amigos por brindarme siempre su apoyo, por compartir sus experiencias y buenos momentos.

A la Universidad Cesar Vallejo por brindarme la oportunidad de seguir surgiendo profesionalmente.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Índice de Gráficas	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	27
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	27
3.2 Variables y operacionalización	27
3.3 Población, muestra y muestreo	29
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	30
3.5 Procedimientos.....	31
3.6 Método de análisis de datos	32
3.7 Aspectos éticos	32
IV. RESULTADOS.....	33
V. DISCUSIÓN.	54
VI. CONCLUSIONES	58
VII. RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS.....	60
ANEXOS	66

Índice de tablas

Tabla 1: Métodos de endurecimiento superficial de aceros y materiales no ferrosos	9
Tabla 2: Comparación y clasificación de procedimientos de endurecimiento por difusión.....	11
Tabla 3: Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	30
Tabla 4: Datos obtenidos del durómetro digital de las piezas carburadas.	36
Tabla 5: Valores promedio de la pérdida de masa por unidad de tiempo de los aceros carburizados a diferentes tiempos.....	40
Tabla 6: Tabla de datos promedio del cálculo de velocidad de corrosión de las muestras de acero AISI 3115 carburadas a diferentes tiempos.....	44
Tabla 7:Tiempo de carburización, sobre la resistencia al desgaste y velocidad de corrosión del acero AISI 3115	48
Tabla 8:Tiempo de carburización, sobre la variación de masa y velocidad de corrosión del acero AISI 3115	51

Índice de figuras

Figura 1: Mecanismo de difusión del carbono.	12
Figura 2: Carburización sólida o en caja.	16
Figura 3: Irregularidades presentes en dos superficies rugosas que inicialmente pudieron haber estado unidas.	19
Figura 4: Desgaste abrasivo de dos y tres cuerpos.	20
Figura 5: proceso de abrasión en un material dúctil micro surcado y micro corte.	21
Figura 6: Daño por cavitación en hélice de lancha.	22
Figura 7: Formas de corrosión.	24
Figura 8: Probetas para el ensayo de dureza según norma ASTM E-140.	30
Figura 9: Propiedades para tratamientos térmicos/termoquímicos para el acero AISI 3115.	33

Índice de Gráficos

Gráfica 1: Dureza superficial (HRC) vs Tiempo de carburización (h).....	38
Gráfica 2: Medida de pérdida de masa en unidad de tiempo de ensayo. (b) Datos de la resistencia al desgaste de aceros a diferentes tiempos de carburización. ...	41
Gráfica 3: Efecto del tiempo de carburización sobre la resistencia a la corrosión mediante método gravimétrico.	46
Gráfica 4: Tiempo de carburización, sobre la resistencia al desgaste y velocidad de corrosión del acero AISI 3115.	50
Gráfica 5: Tiempo de carburización, sobre la variación de masa (Gramos) y velocidad de corrosión del acero AISI 3115	53

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Efecto del tiempo de carburización, sobre la resistencia al desgaste y velocidad de corrosión en un acero AISI 3115”, se desarrolló en la ciudad de Trujillo por un periodo de 6 meses aproximadamente, el sustento teórico de la presente investigación está en el área de aceros y sus tratamientos termoquímicos como el proceso de carburización en caja, además del efecto de este tratamiento sobre la resistencia al desgaste y resistencia a la corrosión en medios acuosos, la variable de estudio fue el tiempo de carburización en caja, siendo los niveles evaluados los de 0.5, 1, 2 y 4 horas, siendo el objetivo principal “Evaluar el efecto del tiempo de carburización, sobre la resistencia al desgaste y velocidad de corrosión del acero AISI 3115”. Las variables respuesta o dependientes fueron la resistencia al desgaste medido por pérdida de masa por unidad de tiempo y la resistencia a la corrosión medida en mpy. Se realizaron un total de 20 procesos de carburización además se consideraron con fines comparativos evaluar muestras del acero AISI 3115 que no fueron sometidos a tratamiento alguno y de esta forma tener un valor referencial sobre el cual medir el efecto de las variables mencionadas.

De los resultados que se logró obtener, que el incremento del tiempo de carburización en caja para el acero AISI 3115, incrementa la resistencia al desgaste de 0.1215 g/hora a 0.0247 g/hora; mientras que en el caso de la resistencia a la corrosión, el incremento se dio de 1.1483 a 0.3314 mpy, esto se debería a la formación de tensiones de compresión en la superficie y el proceso de sobresaturación de carbono en la superficie junto a la transformación de fase que acompaña el enfriamiento brusco del acero en la etapa del temple posterior a la carburización. De esta forma este proceso térmico resulta ser de gran importancia para obtener resultados favorables a favor de disminuir el desgaste y la corrosión en este tipo de aceros.

Palabras clave: Carburización, AISI 3115, Resistencia al desgaste, Resistencia a la corrosión.

ABSTRACT

The present research work entitled "Effect of carburization time, on the wear resistance and corrosion rate in a steel AISI 3115", was developed in the city of Trujillo for a period of approximately 6 months, the theoretical basis of the present Research is in the area of steels and its thermochemical treatments as the process of carburization in box, in addition to the effect of this treatment on the wear resistance and corrosion resistance in aqueous media, the study variable was the carburizing time in box , Being the levels evaluated 0.5, 1, 2 and 4 hours. Being the main objective "To evaluate the effect of the carburizing time, on the resistance to the wear and corrosion rate of the steel AISI 3115". The response or dependent variables were the wear resistance measured by loss of mass per unit of time and the corrosion resistance measured in mpy. A total of 20 carburizing processes were carried out. In addition, it was considered for comparative purposes to evaluate samples of AISI 3115 steel that were not subjected to any treatment and thus have a reference value on which to measure the effect of the mentioned variable.

From the results obtained, it is concluded that the increase in carburizing time in the case of AISI 3115 steel increases the wear resistance from 0.1215 g / hour to 0.0247 g / hour; While in the case of corrosion resistance, the increase occurred from 1.1483 to 0.3314 mpy, this would be due to the formation of surface compression stresses and the process of carbon supersaturation at the surface together with the transformation of Phase that accompanies the sudden cooling of the steel in the post-carburizing tempering stage. In this way this thermal process proves to be of great importance to obtain favorable results in favor of reducing the wear and corrosion in this type of steels

Keywords: Carburization, AISI 3115, Wear resistance, Corrosion resistance.

I. INTRODUCCIÓN

La industria en el sector metal mecánica y automotriz hace uso de múltiples variedades de acero para la elaboración de sus diversos componentes y múltiples aplicaciones desde simples elementos de sujeción hasta componentes de alta demanda mecánica; por lo tanto dependiendo de la aplicación a la que va a estar sometido el componente, se efectúa la elección del acero y el tratamiento térmico y/o termoquímico posterior a ser sometido y así, suministrar las propiedades necesarias, con la finalidad de alargar su vida útil, esto como respuesta a que todos los problemas de fallo de un componentes en servicio empieza en la superficie, por lo que el estudio es de vital importancia en la durabilidad de estas (Aprais, 2010, párr. 10).

En América Latina, existe un rango del 80 - 90 % en el cambio de las piezas producto del desgaste, y el 0.5 a 1% son las pérdidas con respecto al PBI que produce este fenómeno, en los países desarrollados. Así en Estados Unidos de Norteamérica 15000 millones/año, En Canadá 4000 millones/año, En Cuba 400 millones/año. Por lo tanto, la aplicación consecuente de los conocimientos que brinda la Tribología puede representar ahorro considerable en los gastos producto del desgaste (Alvarez, 2015, párr. 11).

El Perú es un país en proceso de crecimiento económico, que ha generado el mayor consumo de varios tipos de aceros especiales muchos de ellos desarrollados de forma específica con características únicas, a fin de satisfacer la diversidad de industria nacional, siendo los sectores de mayor demanda el sector minero, construcción, pesquería, plástico, eléctrico entre otros. La región norte del país consumen altas toneladas de acero para el sector agroindustrial, minero y de consumo masivo, siendo el sector agroindustrial el de consumo constante, mientras que el minero metalúrgico ha sufrido una ligera disminución del mismo (ACEPESAC, 2015, párr. 7).

Se ha constatado que empresas metal mecánicas y agroindustrias utilizan al acero AISI 3115 distribuido por la empresa BOHLER bajo la designación de ECN, para la elaboración de muchas piezas autopartes como, picotas, ejes de transmisión, piñones, equipos para movimientos de tierra, que en general están sometidas a un

elevado desgaste por abrasión y un alto riesgo de corrosión, dada su interacción con tierras, rocas o materiales similares, y factores electroquímicos o químicos como la humedad que afectan la superficie de los aceros. Estos aceros son comercializados muchas veces sin ningún tratamiento térmico; y si lo hacen es de manera inadecuada dando como resultados piezas con propiedades de resistencia al desgaste deficientes, con altas posibilidades de corrosión y como consecuencia de estos las piezas fallan antes del tiempo de vida previsto en el diseño, ocasionando problemas técnicos y económicos (Bholer Peru, 2016, párr. 31).

Cajamarca por ser una de las regiones con mayor producción de minerales, entre ellos de oro y plata, hacen uso de maquinarias pesadas, especiales y de gran demanda por la misma actividad minera, en esta etapa se utilizan equipos de minería que se encargan especialmente de mover grandes cantidades de tierra, generando en estos, desgaste abrasivo por impacto. Del mismo modo, la corrosión se ha vuelto de gran problema en este tipo de maquinaria, siendo uno de los factores que daña severamente la superficie de los aceros. Estas maquinarias sufren muy a menudo daños por desgaste y corrosión pues muchas de sus piezas son en su mayoría de acero AISI3115 de bajo contenido de carbono (Aceros especiales para componentes de Maquinaria) que están sometidas a este fenómeno. Estos tipos de desgaste dañan la superficie de las piezas mecánicas reduciendo su vida útil y causando pérdidas de materiales, el tiempo; y sobre todo perturbando considerablemente la producción, que a la vez se refleja en grandes pérdidas económicas. Debido a esto, algunas de las piezas dañadas son reemplazadas en su mayoría, ya que la recuperación o reparación de estas son muy costosas, para ello se está promocionando un método alternativo (cementación) para obtener piezas que ofrezcan un mejor desempeño ante los esfuerzos que estos trabajos exigen. Por ello en la presente investigación centra su interés en un proceso termoquímico de aceros denominado carburización o cementación, proceso que será implementado de forma económica, pues será proceso en caja o sólido; siendo así una verdadera opción en aplicación ayudando en el incremento del tiempo de vida útil de elementos como: Engranajes helicoidales, flechas ranuradas, pernos para pistón, ejes y cilindros para fusil, piñones de cajas de velocidades, engranajes, cierre de cadenas, pernos, conos y pistas de rozamiento, pasadores para maquinarias, crucetas, piñones, palancas,

cigüeñas, sinfines, piezas de dirección, pines, vástagos. Además de lo mencionado el sector automotriz y eléctrico también sería beneficiado debido a la posibilidad de implementar el proceso de carburización evaluado en el presente trabajo de investigación.

Se formula la investigación: ¿En qué medida, el tiempo de carburización, afecta la resistencia al desgaste y velocidad de corrosión en el acero AISI 3115?

La presente investigación se justificó por la necesidad de conocer y cuantificar los beneficios del proceso de carburización en aceros AISI 3115, ya que este es uno de los aceros de mayor consumo en los procesos industriales del mercado nacional y es solo la dureza superficial el parámetro de control de calidad de dichos materiales.

técnicamente mejoró las propiedades como resistencia al desgaste y velocidad de corrosión que permita seleccionar tiempos de carburización adecuados para un determinado fin, siendo a la fecha solo los métodos de prueba y error los que dominan las necesidades del mercado, lo que justifica es el hecho que el servicio de dicho proceso está centrado solo en la ciudad capital, siendo las demás provincias, usuarios de dicho servicio por lo que los costos se incrementan y las paradas de equipos se hacen prolongadas, así se planteó el proceso de carburización en caja, la cual es de bajo costo y se podría implementar con facilidad en las cercanías de las empresas relacionadas a los rubros de movimientos de tierras, minería, automotriz, entre otros, así la presente investigación quedó justificada y sus resultados de la misma representaron gran acogida en la localidad de Cajamarca.

Hoy en día las industrias necesitan que su maquinaria de producción sea la más eficiente, confiable y de larga duración. En la región Cajamarca el sector minero es la principal fuente de trabajo y un factor importante para la economía del país. Para ello realiza una serie de actividades los cuales necesita de equipos, mecanismos y maquinaria que están en contante producción.

Para que todos estos estén en funcionamiento y dependiendo del trabajo que van a realizar, se selecciona el acero adecuado, sin embargo y específicamente hay

componentes como engranajes, ejes, rodetes, etc. que están compuestos de acero AISI 3115.

En este estudio se evaluó el efecto del tiempo que tiene el tratamiento por cementación sobre la resistencia al desgaste y velocidad de corrosión de este tipo de acero, esto con la finalidad de reducir el desgaste que normalmente tienen dichos componentes y disminuir las paradas inesperadas por fatiga o desgaste excesivo que estas presenten ayudando a tener una vida más duradera.

Este trabajo ayudo a mejorar no solo a la maquinaria del sector minero sino también a las industrias pequeñas como centros hidroeléctricos de la región, agroindustrias, etc. De este modo se recomienda que con este tipo de tratamiento alargaremos la vida útil de componentes que estén fabricados con el acero AISI 3115.

Este proyecto tuvo como objetivo principal, evaluar el efecto del tiempo de carburización, sobre la resistencia al desgaste y velocidad de corrosión del acero AISI 3115; para lo cual se establecieron cuatro objetivos específicos siendo estos:

- a. Determinar mediante el uso de la ficha técnica las condiciones de tratamiento de carburización para el acero AISI 3115.
- b. Establecer secuencia de tratamiento termoquímico de carburización en caja para el acero AISI 3115.
- c. Interpretar mediante gráfica, la dureza superficial versus el tiempo de carburización del acero AISI 3115.
- d. Construir graficas mediante software especializado de tiempo de carburización versus resistencia al desgaste y velocidad de corrosión.

La hipótesis de la investigación: Si incrementamos el tiempo de carburación, entonces lograremos aumentar la resistencia al desgaste y disminuir la velocidad de corrosión del acero AISI 3115.

II. MARCO TEÓRICO

Existen trabajos relacionados a la utilización de tratamientos térmicos en aceros especiales, entre los que se mencionan:

Luna, (2005, p. 45) En su tesis titulada “Cementación sólida de aceros”, se obtuvo un estudio comparativo en un acero AISI 8620 sometido a un proceso de tratamiento térmico de cementación utilizando dos tipos de elementos cementantes: mediante rebaba de hierro gris agregado sales de carbonato de bario y carbón vegetal. Dicho tratamiento térmico se ha desarrollado en un horno de resistencia eléctrica que cuenta con dos cámaras, una con la finalidad de realizar el proceso de cementación y la otra para realizar el proceso de revenido. El proceso de cementación se realizó con una temperatura de 930 °C con un tiempo transcurrido de 12 horas, seguidamente del proceso de revenido considerando 230°C en una hora. Se registró las características microestructurales y las propiedades mecánicas del antes y después del proceso de cementación. Del mismo modo se realizó un análisis de la profundidad del cementado y se realizó una caracterización de micro dureza Vickers. Teniendo en cuenta la microestructura inicial ferrítica con un bandeo de perlita, en los dos casos se obtuvo martensita en la superficie que ha sido cementada, mientras que para la zona de transición se localizó martensita, bainita y perlita en la pieza sometida a carbón vegetal. Sin embargo, en la pieza tratada con hierro gris se logró localizar solamente martensita y bainita en dicha zona. En la parte céntrica se registró martensita y ferrita en la pieza cementada con carbón vegetal y una combinación de ambas en la pieza cementada con hierro gris. El resultado obtenido de la profundidad de cementado para la pieza con carbón vegetal fue de 1.650 mm, mientras que para hierro gris fue de 1.200 mm, sin embargo, la dureza en ambos casos fue de 50 HRC. La mayor resistencia se consiguió para pieza que fue tratada con rebaba de hierro gris la cual aumentó hasta un 83%, mientras que para la muestra sometida a cementación con carbón vegetal se incrementó en un 47%.

Martínez, (2006, p. 43); En su tesis “*Modelación de la carburización y temple de aceros*”, se evaluó y cuantificó el porcentaje de evolución de la austenita hasta llegar a martensita durante el proceso de temple de los aceros, ello comprende un cambio en su volumen agrupando diferentes estructuras cristalinas, que los dos

componentes muestran. Durante el temple, esa diferencia estructural causa que, las piezas estén sometidas a un sinnúmero de fuerzas de tensión y de compresión, dicha evolución depende mucho de la sucesión de transformaciones de la austenita a martensita en la superficie interior de la pieza cementada. A la vez, la temperatura del comienzo de la transformación martensítica depende del perfil de la conglomeración lograda durante la cementación y la sucesión en que sucede tal transformación, dependiendo también del resultado que los distintos mecanismos de enfriamiento ejerzan en la superficie de la muestra en el proceso de temple. En el presente trabajo se observa dos tipos de modelos que logran simular el proceso de carburización y el proceso de temple de piezas cilíndricas de acero. El resultado de las ecuaciones planteadas de disipación de materia y de calor, para cada uno de los modelos respectivamente, se consigue mediante el procedimiento explícito de la técnica de diferencias finitas. El primero de éstos, consiste en evaluar el desarrollo de los distintos declives de concentración presentes durante el proceso de cementación, en el cual son considerados los efectos que los distintos elementos de aleación efectúan durante el proceso. En el segundo modelo, permite predecir la evolución calurosa o térmica de la pieza durante el proceso del temple en distintos medios, tales como el agua o el aceite. Por su puesto que esté, también examina la influencia que las diversas fases de enfriamiento muestran sobre la evolución de los declives de temperatura en la pieza durante el proceso de temple. Para los dos modelos, se aprueban en base a datos experimentales emanados de la literatura especializada.

Rivera, (2006, p. 44). En su tesis titulada "*Influencia del tiempo y de los elementos de aleación en la profundidad de capa cementada de los aceros SAE 1018 y SAE 8620*" la presente tesis tuvo como objetivo evaluar el efecto del tiempo de carburización y efecto en los elementos de aleación durante el proceso de carburización de los aceros SAE 1018 y SAE 8610; sobre el porcentaje de desgaste de piezas de dichos aceros y su evaluación microscópica resultado del proceso de carburización, así se determinó que los elementos de aleación del SAE 8610 tuvo mejores desempeños en la resistencia al desgaste producto de incorporación de elementos aleantes como cromo, el cual el acero SAE 1018 no posee, estos elementos regulan el tamaño de grano y mejoran la templabilidad final del acero, así se incrementada la zona cementada o carburizada y la dureza superficial de la

misma, así el acero de mayor aleación presento mayor resistencia al desgaste abrasivo; este incremento fue de hasta 25% respecto al acero no aleado; siendo reportado mayor presencia de martensita en la zona carburizada del acero de mayor aleación, mientras que el acero de menor aleación presenta mayor contenido de austenita retenida y menor presencia de martensita.

Rodriguez, y otros, (2015, p. 85) En su tesis titulada "*Estudio Numérico del Tratamiento de Carburización de aceros*", se simuló, con el paquete computacional comercial COMSOL Multiphysics®, las dos etapas de carburizado, y de un proceso de cuatro etapas incluyendo temple, obteniendo como resultados validados, comparando durezas realizadas en piezas tratadas, aplicando después a esto un diseño de experimentos en base al arreglo de Taguchi. Obtuvo como resultados de simulación de una variedad y combinaciones de parámetros de tratamiento, resaltando los que conllevan a una disminución de los costos en el tratamiento; sus resultados según comenta, proveen información valiosa para la industria de fabricación de autopartes, pues se aplica extensivamente los tratamientos termoquímicos de carburizado y temple. Estos tratamientos cuentan con más de una etapa cuando son ejecutados, los estudios experimentales son muy amplios debido a la gran cantidad y variaciones de las variables de tratamiento que se pueden obtener. Una alternativa viable de estudio es la simulación del proceso, realizando experimentos virtuales, de mano con la aplicación de técnicas y estadísticas en el diseño de experimentos, permitiendo así profundizar en el conocimiento del mismo con costos relativamente bajos, para hallar condiciones en el tratamiento termoquímico más favorables que inflencie en la disminución de costos de producción.

Ruiz y otros, ensayó el efecto que tenía el tiempo de proceso de carburización en el acero especial AISI 3115, con el objetivo de determinar el efecto que tiene este proceso sobre la resistencia a la tracción, espesor de capa cementante, ductilidad, dureza en su interior y dureza en la superficial. En este procedimiento se utilizó el 80% viruta de hierro gris, y el 20% de Carbonato de Bario como medio difusor, con una temperatura de 900°C en el proceso en intervalos de tiempo de 2, 4, 6 y 8 horas, aplicando un proceso de temple en agua y revenido a una temperatura de 180°C en una hora. Al observar los resultados, estos manifiestan que al aumentar el tiempo del proceso de carburización en el rango de 2 a 8 horas, la propiedad de

resistencia a la tracción incrementa de 1104.30 MPa hasta 1254.30 MPa. En cambio, la ductilidad desciende de 7.90% hasta 4.80%. En el caso de, espesor de capa cementada, acrecienta de acuerdo al incremento del tiempo de proceso ($x = 2\sqrt{D \cdot t}$). Para la dureza en la superficie, es significativamente constante obteniendo: 61.00 HRC en 2 horas y 63.50 HRC en 8 horas de proceso térmico. Mientras que la dureza en el interior aumenta desde 32.50 HRC inicial a 36.0 HRC, en consecuencia, a que al aumentar el tiempo del proceso de cementación el tamaño de grano se incrementa ligeramente proporcionándole mayor templabilidad, estas durezas son registradas en los intervalos de tiempo dados en el proceso correcto de carburización. En conclusión, el elemento carburante, rebaba de hierro gris (80%) y carbonato de Bario (20%) es un medio eficiente para el proceso de carburización donde el tiempo del proceso térmico de carburización altera de forma significativa la resistencia a la tracción, espesor de capa, ductilidad, dureza en el núcleo y dureza superficial, según la evaluación estadística realizada, con un nivel de confianza en el proceso y los resultados del 95% (Ruiz, y otros, 2016, párr. 212).

Molina y Reyes Investigaron y evaluaron la temperatura de carbonitruración líquida en el acero AISI 4140 sobre la resistencia de desgaste, espesor de capa, dureza en el núcleo y dureza superficial. Se experimentó con probetas, según norma ASTM G-77 para realizar el ensayo de desgaste y probetas de acuerdo a la norma ASTM E-140 para realizar el ensayo de dureza. Para ello se utilizó como medio difusor: 30% NaCN, 40%Na₂CO₃ y 30%NaCl y temperaturas de 750, 800, 850 y 900 °C, con temple directo en aceite por un tiempo de 2 horas y revenido a 200 °C por 1 hora. Los resultados manifiestan que la resistencia al desgaste aumenta con el incremento de la temperatura de carbonitruración, obteniéndose la mejor resistencia al desgaste a 850 °C y los valores de dureza superficial altos. Conforme aumenta la temperatura de carbonitruración la dureza incrementa de 58.70 HRC a 750 °C hasta 66.10 a 850 °C y luego decrece ligeramente, debido a que la capa superficial está formada por martensita y carbonitruros y a temperaturas mayores a 850°C aumentado la difusión de carbono y disminuyendo la difusión del nitrógeno disminuyendo sus propiedades. En lo referente a la dureza del núcleo, esta aumenta desde 32.7 HRC a 750 °C hasta 42.0 HRC a 850 °C, debido al incremento del tamaño de grano de austenita conforme aumenta la temperatura de

carbonitruración aumentando ligeramente la templabilidad (Molina y Reyes, 2015, párr. 88).

El endurecimiento superficial es una expresión bastante general que involucra una extensa diversidad de técnicas, en la cual todas estas tienen el mismo objetivo: “El aumento de la dureza superficial en la pieza, incrementando su resistencia al desgaste y manteniendo la tenacidad en su interior.” Muchas aplicaciones buscan, también el incremento de la resistencia a la fatiga de la pieza. La combinación de una superficie dura y de resistencia a los impactos, son dos propiedades opuestas entre sí, siendo útil en muchas piezas, así como ejes, engranajes y aquellas piezas expuestas directamente al desgaste mecánico. Existen tres perspectivas diferentes para los distintos métodos de endurecimiento superficial. Estos suelen ser: Procesos Térmicos, Procesos Termoquímicos y procesos de Revestimientos (Ciencia e Ingeniería de Materiales, 2012, párr. 105).

Las principales diferencias entre ellos se muestran en la tabla.

Tabla 1. *Métodos de endurecimiento superficial de aceros y materiales no ferrosos.*

<p>Procesos Termoquímicos: altera la composición química en la superficie. Se utiliza elementos endurecedores al acero (Por ejemplo: N, C, B)</p>	Carbonización
	Nitruración
	Carbonitruración
	Nitro carburación
	Boronizado
	Sulfinización
<p>Procesos Térmicos: realiza una variación en la microestructura de la superficie sin la adición de elementos endurecedores</p>	Endurecimiento por llama
	Endurecimiento por inducción
	Endurecimiento por láser
	Endurecimiento por haz de electrones
<p>Revestimientos / Modificaciones superficiales: Se añade una capa nueva sobre la base de acero. Altera la composición química sub superficial.</p>	Cromado duro (Hard chromium plating)
	Recubrimiento de Ni auto catalítico (Electroless Nickel Plating)
	Thermal Spraying
	Soldadura de Recargue (Weld hardfacing)
	Deposición Química en Fase Vapor (QVD)
	Deposición Física en Fase Vapor (PVD)
	Implantación Iónica
Láser Surface Processing	

Fuente: (Ciencia e Ingeniería de Materiales, 2012, párr. 105)

Los Procesos de endurecimiento Termoquímicos son aquellos procesos que proporcionan endurecimiento superficial mediante difusión. Modificando la estructura química en la superficie de los aceros, mediante algún proceso termoquímico, en el cual es necesario la aplicación de calor, promoviendo la difusión de átomos endurecedores de la superficie y en zonas sub - superficiales de una pieza. Este tipo método por difusión altera la estructura química en la superficie de las piezas, creando así la capa dura. El espesor de dicha capa endurecida posee una relación de temperatura-tiempo de la siguiente forma. (Ciencia e Ingeniería de Materiales, 2012, párr. 105):

$$\text{Espesor de capa} = K\sqrt{\text{tiempo}}$$

En la cual la constante de difusividad K, es dependiente del factor de temperatura, la estructura química de la pieza y los declives de concentración del elemento endurecedor. Para el factor de temperatura, la constante K se acrecienta de forma espontánea con la temperatura absoluta.

Mientras que los declives de concentración son dependientes de la cinética superficial y de las alteraciones que se desarrollan en el proceso. En la Tabla 1. 2 se catalogan los diversos métodos de endurecimiento por procesos de difusión, de acuerdo a la especie endurecedora o, según el medio usado para registrar y transportar las especies endurecedoras hacia la superficie de la pieza.

Tabla 2. Comparación y clasificación de procedimientos de endurecimiento por difusión.

Procedimiento de endurecimiento superficial		Elementos endurecedores
Carburización	Sólida (en caja)	C
	Gases	C
	Líquida o con Sales	C(+N)
	Vacío	C
Nitruración	Por Gas	N + Cptos de N
	Líquida o con Sales	N + Cptos de N
	Por Plasma	N + Cptos de N
Nitrocarburación	Por gas	N + C
	Líquida	N + C
Carbonitruración	Cianuración (líquida)	C + N
	Por gas	C + N
Boronizado	Sólido	B + Cptos de B
	Por Líquido	B + Cptos de B
	Por Gas	B + Cptos de B
	Por Plasma	B + Cptos de B
	Lecho Fluidizado	B + Cptos de B
Sulfínización	Líquida	C + N + S

Fuente: (Ciencia e Ingeniería de Materiales, 2012, par.105)

La carburización es conocido también con el término cementación, que es básicamente el enriquecimiento de la superficie de una pieza con carbono (carburización), o también la adquisición en carbono y nitrógeno (carbonitruración) por medio del proceso de difusión y temple posterior. La naturaleza de los elementos de carburización empleados pueden ser sólidos (granulados o polvo), líquidos (baños de sales) o gaseosos. El uso del tipo o naturaleza del agente, se puede hablar de carburización por polvo, baño en sales o gas. El proceso de carbonitruración es realizado de manera igual ya sea en una divulgación de gas o en un baño de sales, a temperaturas mucho menores a aquellas que se utilizan en un proceso de carburación (Bholer Peru, 2016, párr 37).

Otra definición de carburización como el proceso de endurecimiento superficial en la cual el agente endurecedor es el carbono. Es usado para vigorizar esencialmente la superficie de las piezas de aceros especiales y aceros aleados de bajo contenido

de carbono, por lo general en un rango de 0.08 al 0.25% de carbono. Puede resumirse el proceso térmico de carburización de la siguiente manera: (Ciencia e Ingeniería de Materiales, 2012, pág. 120):

- Calentamiento de la pieza hasta llegar a una fase de austenización en un rango de 815 a 1090 °C.
- Exposición del acero a un elemento carburante que puede ser sólido, líquido o gaseoso. A un tiempo determinado dependiendo del elemento carburante.
- Tratamiento posterior de temple del acero: la formación de martensita en la superficie carburada, a mayor templabilidad. La composición química del núcleo de la pieza no se altera, pero conserva menor templabilidad y no forma martensita.

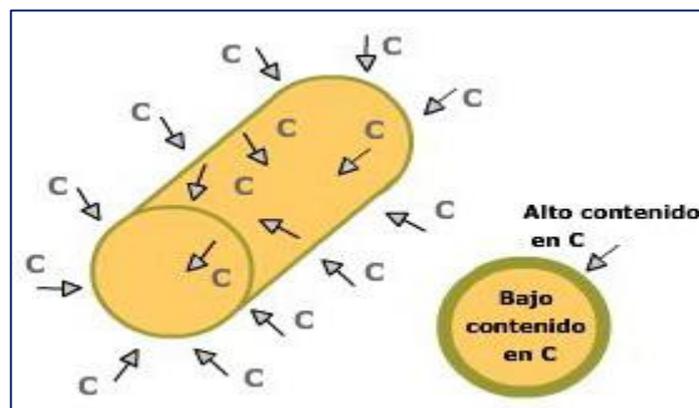


Figura 1. Mecanismo de difusión del carbono.

Fuente: Catedy, 2012.

Siendo así como se consigue en la pieza un gradiente superficial y concentración de carbono (ver Figura 1.2). Como efecto, se forma una curva o gradiente de la dureza, siendo mucho mayor en la parte de la superficie y reduciéndose hacia el núcleo. Así se produce una superficie dura (50-65 HRC) y con resistencia al desgaste, conservando su tenacidad en el interior de la pieza (Bholer Peru, 2016, párr. 141).

Algunos objetivos de la cementación:

- Los tratamientos de temple y de revenido proporcionan dureza en la superficie de la pieza, pero también facilitan fragilidad. Pero de no realizar el tratamiento de temple el material no obtendrá la dureza requerida y se

desgastará fácilmente. Entonces para conservar y mejorar sus cualidades en ambos casos, se recomienda utilizar el tratamiento térmico de cementación.

- El objetivo del tratamiento de cementación, es de endurecer la parte de la superficie de una pieza sin alterar la estructura química del núcleo, como resultado se obtiene una componente formada por dos materiales, una que es el núcleo de acero con un bajo porcentaje de carbono, con propiedades de tenacidad y resistencia de fatiga, y la otra parte, la capa superficial de la pieza con una mayor concentración de carbono, haciéndola más dura, más resistente al desgaste y a las imperfecciones mecánicas.
- El proceso de cementación se basa en realizar un recubrimiento de las piezas con una materia elevada en carbono, denominándola elemento cementante, sometiéndolas a temperaturas elevadas (1000°C) varias horas, durante este proceso, el carbono empieza a penetrar la superficie la cual es recubierta con una velocidad de 0,1 a 0,2 mm en una hora.
- La pieza que se adquiere se le realiza un tratamiento térmico posterior que corresponde a realizar un temple y revenido, con la finalidad de que cada región de la pieza adquiera cualidades porcentuales de carbono.
- Este proceso se aplica para las piezas que consigan alcanzar una gran resistencia al impacto y tenacidad sumado a ello una mayor resistencia al desgaste mecánico, por ejemplo, de piñones, ejes, levas, etc (Wear property of low-temperature bainite in the surface layer of a carburized, 2012, parr 18).

Algunas características de la cementación.

- Endurecer la superficie de la pieza.
- No afecta la parte central de la pieza (núcleo).
- Incrementa el contenido de carbono de la superficie de la pieza.
- La temperatura para el calentamiento es aproximadamente de los 900 °C.
- Se esparce o expone la superficie de la pieza con elementos cementantes.
- El enfriamiento deberá ser lento y posteriormente es necesario realizar un tratamiento térmico.

Algunos componentes que por lo general se les realiza cementación son los engranajes. (Ciencia e Ingeniería de Materiales, 2012, párr. 175).

El proceso de cementación consta de tres fases. En una primera fase, las piezas se exponen a un ambiente con abundante en Carbono o también una mezcla de carbono y nitrógeno a temperaturas alrededor de 850 a 1.050 °C. En la segunda etapa se realiza de forma inmediata el tratamiento de temple a partir de la temperatura final, o, también se realiza un enfriamiento brusco y luego un nuevo recalentamiento teniendo en cuenta la temperatura de cementación específica del tipo de acero. La última etapa es el proceso de revenido, tiene como objetivo principal de aliviar tensiones internas además de reducción de la sensibilidad al agrietamiento cuando se realice el rectificado final (Mejia Cabezas, 2010, párr 133).

Los diferentes tipos de aceros de bajo porcentaje de carbono en su composición son oportunos para cementación, se logra alta dureza en la superficie y conserva la tenacidad en su interior. El uso del cromo precipita la velocidad de penetración del carbono en la superficie. Los diferentes aceros al cromo y níquel tienen buenas propiedades mecánicas y reaccionan muy bien a este tipo de proceso. El proceso de cementación será retrasado con la finalidad de obtener una buena concentración de níquel y esté por encima del 5%; en este caso la ganancia de dureza superficial del acero, los cuales mejoran notablemente su resistencia al desgaste, resistencia a la fatiga y en algunos casos hasta la resistencia a la corrosión. (Mejia Cabezas, 2010, párr 182).

Se denomina capa cementada o parte carburada a la zona que después del proceso térmico, adquiere gran contenido de carbono en la superficie del acero, tomando como nombre de capa cementada, ahora la superficie que luego de la fase final del tratamiento obtiene como resultado una dureza mayor a 58-60 Rockwell-C, por lo general corresponde a una zona donde el porcentaje es elevado en un rango de 0.70-0.90 % de carbono. Pueden diferir bastante algunos casos de otros, y hasta se podría considerar que el espesor de la superficie dura tiene una variación de la cuarta parte a la mitad (0.25 a 0.5) en la profundidad de capa cementada. Se pueden clasificar en tres grupos, el espesor de las capas que usualmente se usan en piezas de maquinarias y motores (Mejia Cabezas, 2010, párr 301):

- Existen capas de cementación delgadas, estas con menos de 0.50 mm de espesor las cuales son utilizadas en piezas pequeñas de acero al carbono y por lo general son endurecidas cianuro, y son templadas en forma directa desde la temperatura de cementación.
- Existen también capas medias con espesores de 0.50mm a 1.50mm, estos suelen ser más comunes en piezas que son utilizadas para la elaboración de máquinas y la mayoría de los motores. Para el tratamiento de estas piezas se pueden utilizar agentes cementantes de forma sólida, líquida o gaseosa.
- Por último, existen capas con mayor espesor, que superan a 1.50 mm de profundidad, las cuales son obtenidas, usualmente por procesos de carburización con agentes cementantes de naturaleza sólida y gaseosa, y raramente, con cementantes líquidos.

En todos los casos, cualquiera de los procesos que se aplique, es conveniente que la capa cementada no sea mayor del 1% de contenido de carbono y es de importancia que la pieza después de ser rectificada permanezca con un porcentaje de carbono en un rango de 0.8 a 0.9 %. De ser el caso, que el contenido de carbono en la parte exterior sea mayor a la estructura eutectoide del 0.90% de carbono, es posible que surjan redes de cementita o de carburos que en algunos casos hacen que la capa cementada sea frágil y con tendencia a deformarse (Mejia Cabezas, 2010, párr 304).

La Carburización por materia sólida consta en exponer a materiales de acero con bajo contenido de carbono dentro de una caja hermética con elemento carbonáceo y llevarlo a una temperatura en un rango de 900 a 980 °C por un tiempo promedio de 2 a 6 horas. Durante este periodo de tiempo, el carbono presente en la caja penetra hacia el interior en la superficie de la pieza. Una variable importante es el tiempo, mientras el tiempo de la pieza dentro de la caja hermética con carbono sea mayor, mayor será el espesor de la capa cementada. La pieza al alcanzar la temperatura adecuada es enfriada de inmediato en salmuera o agua, evitando así, las deformaciones y disminución de la tensión en la superficie. Es recomendable que la pieza sea enfriada dentro de la caja, después de esto se extrae y se vuelve a calentar a temperaturas entre 800 y 845 °C (rojo cereza) para luego someterla a

enfriamiento por inmersión en aceite. El espesor de capa que más es utilizada es de 0,38 mm, sin embargo, se pueden obtener piezas con espesores de hasta 0.4 mm.

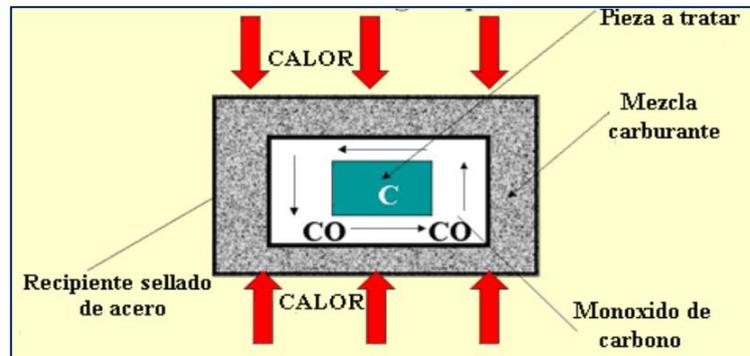
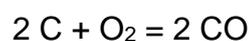


Figura 2. Carburización sólida o en caja.

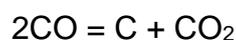
Fuente: CUAUTITLÁN IZCALLI, 2007

Estudios numerosos, han probado que la difusión del carbono hacia el acero es efectuada por la formación de gases que emanan las mezclas cementantes, siendo el principal agente carburante, en estos procesos, el monóxido de carbono. Figura N° 1.3. El tratamiento térmico de cementación utilizando carbón vegetal, coque, etc., se explica a continuación detalladamente (Díaz del Castillo Rodríguez, 2007, párr 344):

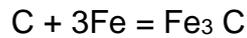
A elevada temperatura, el carbono entra en relación con el oxígeno que queda atrapado en las cajas, oxígeno del aire atrapado entre huecos de la pieza y el material cementante, generando monóxido de carbono (CO) de acuerdo con la siguiente ecuación:



Posteriormente, el monóxido de carbono que se forma es descompuesto a temperatura elevada, en átomos carbono y dióxido de carbono.



Existen varios procesos de carburización que se realizan por la acción del metano, este es descompuesto en átomos de hidrógeno y átomos de carbono según la siguiente reacción:



En la ecuación anterior se da la formación de cementita o carburo de hierro, que al expandirse entre las piezas es cuando se origina la cementación. Para la mayoría de los casos, una manera de verificar fácilmente la impregnación del elemento cementante, es indispensable que el acero este en un estado austenítico, es decir, que el elemento carburante se encuentre en su estado de hierro "γ" situación que se efectúa manipulando a temperaturas normales del proceso de cementación. Estas condiciones de temperatura en un rango de 850 a 950 °C el acero puede absorber aproximadamente hasta el 1.40% de carbono, y probablemente se puede llegar hasta el 2 % de C a una temperatura de 1145 °C (Diaz del Castillo Rodriguez, 2007, párr 256).

Si la pieza se halla en un estado α a bajas temperaturas, la impregnación del carbono es muy limitada en el interior de la pieza. Cuando el carbono, luego de haber penetrado en el acero, queda por así decirlo disuelto en el acero γ y respecto con los parámetros de difusión, existe una concentración más elevada en la periferia que en el interior. Se señalan tres etapas diferentes en el proceso de cementación (Diaz del Castillo Rodriguez, 2007, párr 218):

- Obtención de carbono en los alrededores de la superficie de la pieza.
- Impregnación de carbono en las zonas periféricas del acero o la pieza.
- Propagación del carbono hacia el interior del acero.

El proceso de cementación es económico, para el desarrollo de cementación individual y de poca cantidad de piezas, o en piezas grandes y en cantidades masivas. No requiere atmosfera preparada o controlada (Diaz del Castillo Rodriguez, 2007, párr 207).

- No es posible el control de carbón superficial que es obtenido mediante el método de cementación por gas.
- El tiempo de calentamiento y enfriamiento es amplio.

- La duración del proceso generalmente es demasiado larga, motivo por el cual es necesario calentar ha elevadas temperaturas para grandes cajas de cementación.
- Así mismo el consumo de combustible será considerable para poder calentar las cajas metálicas y el elemento carburante.
- El eminente costo de preparación y ubicación del acero dentro de las cajas, pero de menor costo a comparación con otros procesos.
- La realización del templado es relativamente difícil al realizar el temple directamente a las piezas desde la caja, por lo tanto, es imposible usar dispositivos de forma automática para el temple, al realizar el trabajo con grandes cantidades.
- Que la temperatura es irregular en el interior de las inmensas cajas de carburización (Díaz del Castillo Rodríguez, 2007, pag. 208).

El espeso de capa en la superficie cementada se incrementa con la elevada condición térmica y con el tiempo del proceso, (figura N 1.4), dependerá, también de la acción del elemento carburante empleado y del tipo y constitución del acero que se va a carburar (Díaz del Castillo Rodríguez, 2007, párr 211).

La penetración del elemento carburante o carbono no es igual, es idéntica su velocidad para distintos aceros, en el sector industrial no son muy significativas las distintas diferencias que hay entre la difusión del carbono los que se consiguen en los tipos de aleación de aceros al carbono y níquel, aceros al cromo – níquel y más. La impregnación del elemento cementante en el hierro Y, es mayor y altamente activa cuanto el porcentaje de carbono del hacer sea menor. A mayor tiempo de cementación, la cantidad de carbono incrementa, mientras que la velocidad de filtración en el mismo disminuye. Como resultado del proceso de carburización, se consigue un manto carburado en tres zonas: una cerca del área en la cual se forma una zona hipereutectoide acercándose al 1.2% de carbono; rápidamente, pasa a la zona eutectoide (perlita) con un 0.8 % de carbono, y muy cerca del núcleo se llega a formar la zona hipereutectoide (ferrita + perlita). (Effect of rare earths on the carburization of steel, 2000, parr. 17).

El Desgaste es la remoción gradual del material de su superficie por efecto de la fricción. Existen una variedad de tipos de desgaste presentes e indeseables en los procesos de manufactura: uno de ellos el desgaste de las que se genera en las herramientas en el proceso de maquinado de metales (brocas), así mismo en la erosión de los modelos para fundición y el desgaste que se genera en las máquinas de producción (Groover, 2013, pág. 162).

Hay mecanismos de desgaste, que depende de variable o condiciones mecánicas, estos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Desgaste adhesivo.
- Desgaste por Abrasión.
- Desgaste por Oxidación y otras reacciones químicas.
- Difusión.

El desgaste adhesivo es conocido como rayado, deslizamiento, ludimiento o arranque desprendimiento, se genera cuando dos superficies sólidas se deslizan y se ejerce una presión una sobre otra. Las asperezas, se deforman plásticamente y finalmente se unen una con el otro producto de las elevadas presiones localizadas, figura N° 1.5. A menudo que continua el deslizamiento, estas uniones suelen romperse, ocasionando micro cavidades en una de las superficies y proyecciones en la otra y, por lo general, también se producen pequeñas partículas abrasivas, todo esto contribuye a un desgaste mayor de las superficies (Groover, 2013, párr 165).

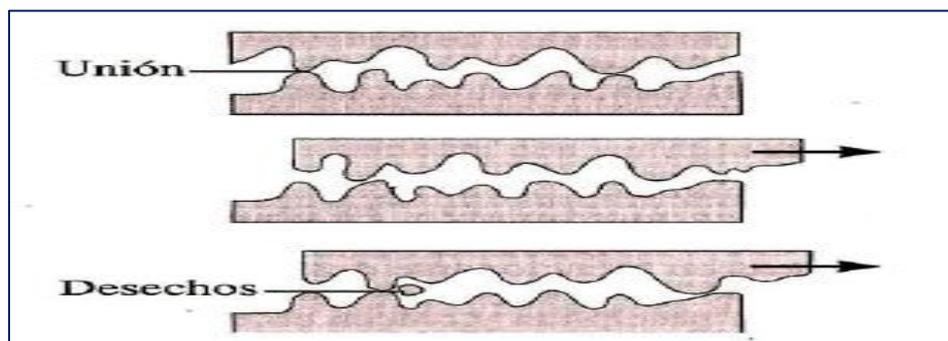


Figura 3. Irregularidades presentes en dos superficies rugosas que inicialmente pudieron haber estado unidas.

Fuente: (Groover, 2013, párr 167).

El Desgaste abrasivo se puede definir como pérdida de material como resultado de la interacción entre superficies duras que son forzadas a moverse entre sí. Como se puede observar en la figura N° 1.6, existen varios tipos de desgaste, que pueden ser: desgaste abrasivo entre dos o tres cuerpos.

El desgaste abrasivo de los cuerpos es causado por asperezas más duras contenidas en una de las superficies en contacto, a diferencia del desgaste abrasivo en tres cuerpos, el desgaste que se genera se produce por partículas sueltas muy duras entre superficies que se encuentran moviéndose. Un claro enfoque de este tipo de desgaste a dos cuerpos es taladrando una roca, y el desgaste de tres cuerpos puede ser el desgaste que se genera en una trituradora al quebrar rocas con las mandíbulas que esta posee, o en el caso de los aceites lubricantes por la presencia de partículas contaminantes presentes en contacto al deslizarse (Univeridad Tecnica Nacional de Mexico, 2013, párr. 158).

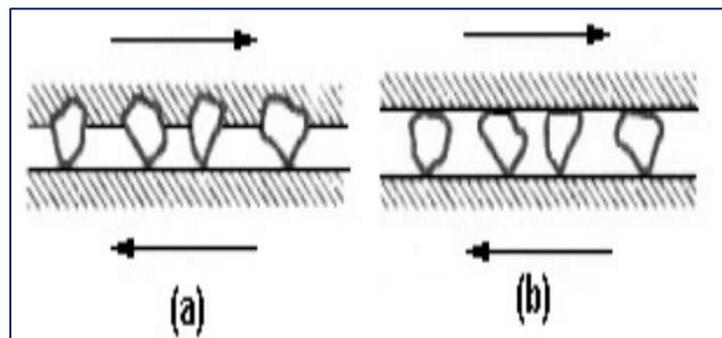


Figura 4. Desgaste abrasivo de dos y tres cuerpos.

Fuente: (Groover, 2013 párr. 159)

El corte es el mecanismo más seguro para la extracción de material por desgaste abrasivo en materiales que son dúctiles. Todo esto está en función de determinadas variables presentes en el sistema, así como las propiedades del material involucrado, esto influye en la perdida de material bajo estas condiciones. En la Figura N° 1.7 se muestra los diferentes aspectos de abrasión de la superficie en función a la carga que se aplica, Estas micrografías se obtuvieron mediante un microscopio electrónico de barrido (Univeridad Tecnica Nacional de Mexico, 2013, párr. 198).

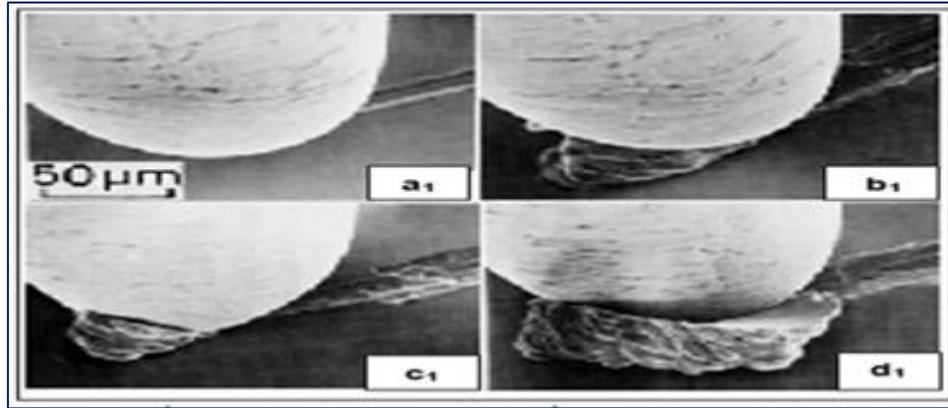


Figura 5. Proceso de abrasión en un material dúctil micro surcado y micro corte.

Fuente: (Tecnodefara, 2012, párr. 174)

El ensayo de desgaste tiene como objetivo determinar la variable de desgaste por rozamiento de los metales. Se pueden realizar tres tipos diferentes de ensayo:

- Deslizamiento puro, que involucra un disco inmovilizado.
- Rodamiento puro.
- Deslizamiento doble.

En el presente estudio utilizaremos el deslizamiento puro con disco inmovilizado. Para determinar la resistencia al desgaste lo obtendremos de la siguiente expresión.

$$\text{Resistencia al desgaste} = \frac{(\text{masa antes del ensayo} - \text{masa despues de ensayo})}{\text{Tiempo de ensayo}}$$

En la industria petrolera la vida útil del equipo disminuye como consecuencia de la corrosión y cabe hacer mencion que en la ultima decada se ha avanza en su detección y metodos de prevencion aplicados en el control de la corrosion, para la producción del petróleo (Hernandez, 2014, párr. 209).



Figura 6. Daño por cavitación en hélice de lancha.

Fuente: (Hernandes, 2014)

De manera simplificada, la corrosión se define como el desgaste de un metal por una reacción química o electroquímica en un medio ambiente. Es imposible eliminar por completo este fenómeno, en ingeniería se realiza mas estudios de control que una posible eliminación, por tanto es necesario saber el tipo de fenómeno corrosivo partiendo desde el diseño y no después de haberlas puesto en operación (Hernandez, 2014, párr. 214).

Se necesita saber como y donde es que se puede empezar, adicionalmente es necesario tener un conocimiento básico que permita el reconocimiento de la corrosión, de cómo se ocasiona, cómo controlarlo y disminuir su severidad, cuales herramientas podrian ser las adecuadas, técnicas para la intervención, variables de diseño que alteren la corrosión, una buena elección de materiales sumado a esto intermpretacion y aplicación de la información del problema corrosivo. Todos los materiales metálicos y aleaciones son propensos de soportar fenómenos de corrosión, concluyendo que no existe material útil que sirva para todas las aplicaciones. Tal es caso del oro, muy distinguido por su sublime resistencia a la atmósfera, es atacado por el fenomeno de corrosion si es expuesto en relación con el mercurio a una temperatura ambiente (Hernandez, 2014, párr. 233).

Por otro lado el acero es muy dificil que se corroa al entrar en contacto con el mercurio, sin embargo se puede oxidar rápidamente cuando esta expuesto al medio ambiente. Existen por surte una amplia gama de metales que se comportan placidamente en medios específicos teniendo asi métodos de control que reduciendo asi este problema. En la industria suelen ocurrir u ocurren como

producto de la corrosión, gastos inmensos directos e indirectos que afectan al aspecto económico y humano (Hernandez, 2014, párr 234).

La sustancia corrosiva se puede clasificar como húmeda o seca, es decir para la primera se da en un medio líquido o húmedo, mientras tanto en la segunda, las reacciones se dan en medios gaseosos a alta temperatura. Los mecanismos corrosivos pueden darse mediante reacciones químicas o electroquímicas.

Se llama ensayo de corrosión a la ejecución de experimentos en laboratorio el cual permite simular en ambientes extremos de corrosión, con el propósito de instaurar parámetros que permitan establecer la resistencia de los materiales bajo dichas condiciones.

La ecuación para el cálculo de la velocidad de corrosión y/o resistencia a la corrosión:

$$\text{Velocidad de corrosión} = \frac{\text{Pérdida de masa en unidad de tiempo (gramos)}}{\text{Tiempo de ensayo (días)} * \text{Área de muestra sumergida (cm}^2\text{)}}$$

Este valor se multiplica por el inverso de la densidad a fin de obtener la pérdida de espesor por unidad de tiempo, es decir:

$$\text{Pérdida de espesor por unidad de tiempo} = \text{Velocidad de corrosión} \left(\frac{\text{gramos}}{\text{días} * \text{cm}^2} \right) * \left(\frac{1}{\text{densidad}} \right)$$

Luego este valor se convierte a unidades de pulgadas y este a milésimas de pulgada, así tendríamos la velocidad de pérdida de espesor de elementos en las unidades de mpy (milésimas de pulgada por año).

Acero corroído: Este fenómeno suele ser parejo por lo que el acero se puede corroer con la misma velocidad en toda su superficie, o también puede registrar en algún punto, en este caso las áreas afectadas son pequeñas. La forma de clasificación según su aspecto, tanto uniforme o localizada, es de gran utilidad para una cuestión preliminar y más completa, estableciendo las diferencias entre la corrosión en un punto macroscópico y el ataque microscópico total. Los diferentes tipos de corrosión se muestran en la Figura 1.9.

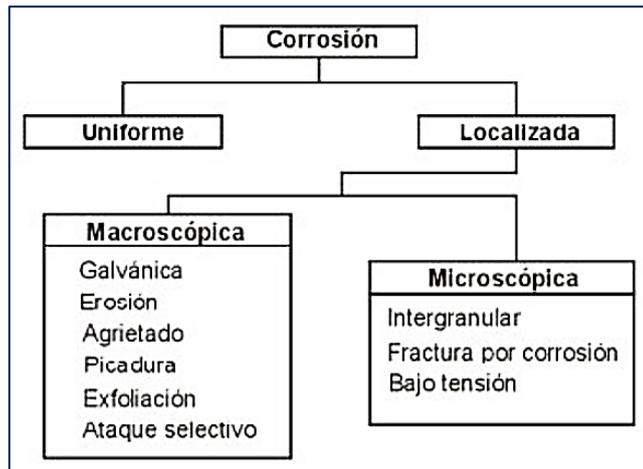


Figura 7. Formas de corrosión.

Fuente: (Hernández, 2014, párr. 138)

Algunas características de fractura por tensión producto de la corrosión, son:

- Se requiere un esfuerzo de tensión para que esta corrosión exista,.
- Las fracturas se pueden presentar de forma macroscópica, mientras las fallas mecánicas, en ausencia de un agente corrosivo, por lo general presentan ductibilidad.
- las propiedades metalúrgicas de la aleación influye en la corrosión por esfuerzos.
- Algunos ambientes causan fracturas en aleaciones específicas, sin embargo el mismo ambiente no causa daños en otras aleaciones.
- El fenómeno de corrosión por esfuerzo se puede dar en medios que no son agresivos para algunas aleaciones, por tanto la corrosión es baja hasta que se presente una fractura.
- La corrosión por esfuerzo, se comprende aun en la mayoría de los casos; pero, hoy en día se cuenta con un gran número de datos para ayudar así a reducir este problema (Aguilar, 2013, párr. 160).

Es necesario realizar o seleccionar un material más resistente para combatir o reducir la corrosión de fracturas por tensión (Tecnodefara, 2012, párr. 57).

Los tratamientos termoquímicos como la carburización de aceros tienen como principal objetivo el incremento de la dureza superficial de estos, de una manera importante, de tal manera que también se considera una ventaja adicional el incremento de la resistencia al desgaste, ello se debería en parte al efecto de las

tensiones residuales de compresión que se generan en la superficie del acero tratado termoquímicamente causado por la deformación de los átomos de carbono sobresaturando la estructura BCC del acero a temperatura ambiente; adicionalmente la ganancia de dureza superficial se espera por el efecto combinado del proceso de carburización y posterior temple que se aplica a los aceros carburizados, estos generan la deformación de la red BCC del acero, denominada de esta manera Martensita, fase del acero de alta dureza, este incremento de la dureza se traduce en el incremento de la resistencia al desgaste, e incremento de la vida por fatiga. El proceso de carburización se realiza a temperatura de transformación austenítica de esta forma se solubiliza el carbono perteneciente a la disolución de carburos. El efecto de la temperatura determina la ganancia del porcentaje de carbono que se alcanza en la superficie del acero tratado; así el tiempo de tratamiento determina la profundidad del endurecimiento. (Ferrero, 2015). El incremento de la resistencia al desgaste por endurecimiento superficial de carburización fue estimado en 0.015 g/hora para el acero AISI 8020, proceso de 2.5 horas en medio gaseoso, el proceso en medio gaseoso es de mayor cinética de carburización, debido a que el medio carburante ya inicia en un gas, siendo de esta manera más eficiente en proporción al tiempo de carburización, además de ser de mayor homogeneidad respecto a espesor de película carburizada (Yuan, et. Al., 2012 p. 8-12). Por otro lado la resistencia al desgaste de aceros al carbono carburizados en medio gaseoso y posterior tratamiento de bainitizado; se realizó en aceros AISI 3215 y 6018, demostrándose que existe un incremento de más del 45% de resistencia al desgaste al ser tratados térmicamente un acero carburizado, en este caso mediante el proceso de bainitizado; así se logró obtener resistencias al desgaste inferiores a 0.010 y 0.018 g/hora para el caso de los aceros 3215 y 6018 respectivamente, de esta manera el autor propone la evaluación de tratamientos alternativos al de temple, o la realización de temples alternativos, como el interrumpido, directo, doble, martempering, entre otros posibilidad de evaluar nuevos procesos de tratamientos térmicos que acompañen al proceso de carburización. (Zhang, et al. 2013 p. 9-14). Finalmente, el proceso de carburización y sus posteriores tratamientos térmicos tienden a modificar la rugosidad de la superficie de los aceros sometidos a dichos procesos, esto genera cambios significativos en sus propiedades físico-químicas y mecánicas, de esta manera se logran mejoras en propiedades como la resistencia a la fatiga, resistencia al

desgaste y en algunas ocasiones resistencia a la corrosión, dependiendo de la composición química inicial de los aceros y del medio a ser expuestos; así se podría mejorar significativamente la resistencia a la corrosión en aceros de bajo carbono y en medio alcalino – neutros, ello se debería al fenómeno de tensiones residuales por el incremento del porcentaje de carbono a nivel de ciertas capas atómicas cercanas a la superficie. (Jung et. al. 2015. p.15 - 17).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de investigación: Aplicada.

Porque se aplicó conocimientos científicos para resolver un problema que se venía suscitando en algunos componentes de equipos industriales.

3.1.2 Diseño de la investigación: El diseño de la investigación ha sido Experimental, porque se manipulo las variables de estudio, con respecto a la resistencia al desgaste y velocidad de corrosión.

3.2 Variables y operacionalización

Variable independiente: Tiempo de carburización.

Definición conceptual: Es el tiempo de tratamiento termoquímico de permanencia de aceros de bajo contenido de carbono dentro de la cámara de carburización (horno).

Definición Operacional: Es el tiempo que se consideró, de las piezas dentro de la caja para la formación de la capa de cementación.

Indicadores: se consideró los siguientes indicadores para el tiempo de carburización: tiempo de carburización que se mide en horas (h), temperatura de horno se mide en grados centígrados (°C).

Escala de medición: matemáticamente las escalas de razón admiten el cálculo de operaciones aritméticas y uso de números representando cantidades reales.

Variable dependiente: Resistencia al desgaste.

Definición conceptual: Pérdida de masa por unidad de tiempo que sufre un material al en contacto con otro material de durezas iguales o diferentes (Groover, 1997, parr. 159).

Definición Operacional: Variación de masas después antes y después del ensayo de desgaste.

Indicadores: se consideró los siguientes indicadores para la resistencia al desgaste: Pérdida de masa por unidad de tiempo g/h, Desgaste g/h, dureza media en Rockwell (HRC).

Escala de medición: matemáticamente las escalas de razón admiten el cálculo de operaciones aritméticas y uso de números representando cantidades reales.

Variable dependiente: Velocidad de corrosión.

Definición conceptual: Pérdida de masa por unidad de tiempo y área, provocada por la reacción electroquímica o química entre un material y su entorno. (Hernandez, 2014, parr. 207).

Definición Operacional: Pérdida de masa determinado por muestras de sección constante y a un determinado tiempo de evaluación.

Indicadores: se consideró los siguientes indicadores para medir la velocidad de corrosión (Mpy).

Escala de medición: matemáticamente las escalas de razón admiten el cálculo de operaciones aritméticas y uso de números representando cantidades reales.

3.3 Población, muestra y muestreo

3.3.1 Población:

Barras de aceros AISI 3115 utilizado en Chasis de Maquinaria Pesada de Minería.

Criterio de inclusión:

Se opta por el acero especial AISI 3115, por ser el más utilizado en maquinaria de minería, donde se requiere mayor dureza, resistencia superficial y una disminución de la velocidad de corrosión, lo cual está sujeta a estrictas demandas de estabilidad dimensional, dureza y resistencia.

3.3.2 Muestra: 20 probetas de ensayo acero AISI 3115 de acuerdo a la norma ASTM E-140.

Se determinó el número de probetas, en función a que se analiza cuatro niveles de variables: Tiempo de corrosión, Tiempo de desgaste, velocidad de corrosión, velocidad de desgaste, con cinco replicas cada una. Se utilizó la siguiente expresión para conocer el número de probetas:

$$P = Am \times R$$

Donde:

P: Numero de Probetas.

A: Niveles de la variable independiente.

m: Factores o variables independientes.

R: Numero de repeticiones.

Entonces:

Numero de muestras $P = 4 (1) \times 5 = 20$ muestras

La utilización y/o maquinado de las probetas se han realizado aplicando las correspondientes normas ASTM. Normativa que ha sido desarrollada por la American Society for testing and Materials.

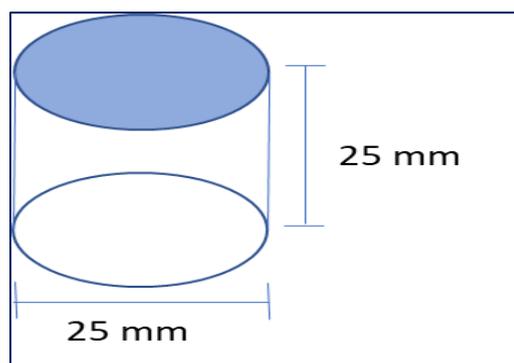


Figura 8. Probetas para el ensayo de dureza según norma ASTM

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.3 Muestreo: No Probabilístico, por conveniencia: Este tipo de muestreo se ha utilizado por que las barras de acero están convenientemente disponibles y son bastante fáciles de reclutar, no considerando seleccionar una muestra que represente a toda la población.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 3. *Técnicas e instrumentos de recolección de datos.*

Técnicas	Instrumentos	Validación
Observación	Guías de observación	Por el especialista
Análisis Documental	Ficha de investigación	

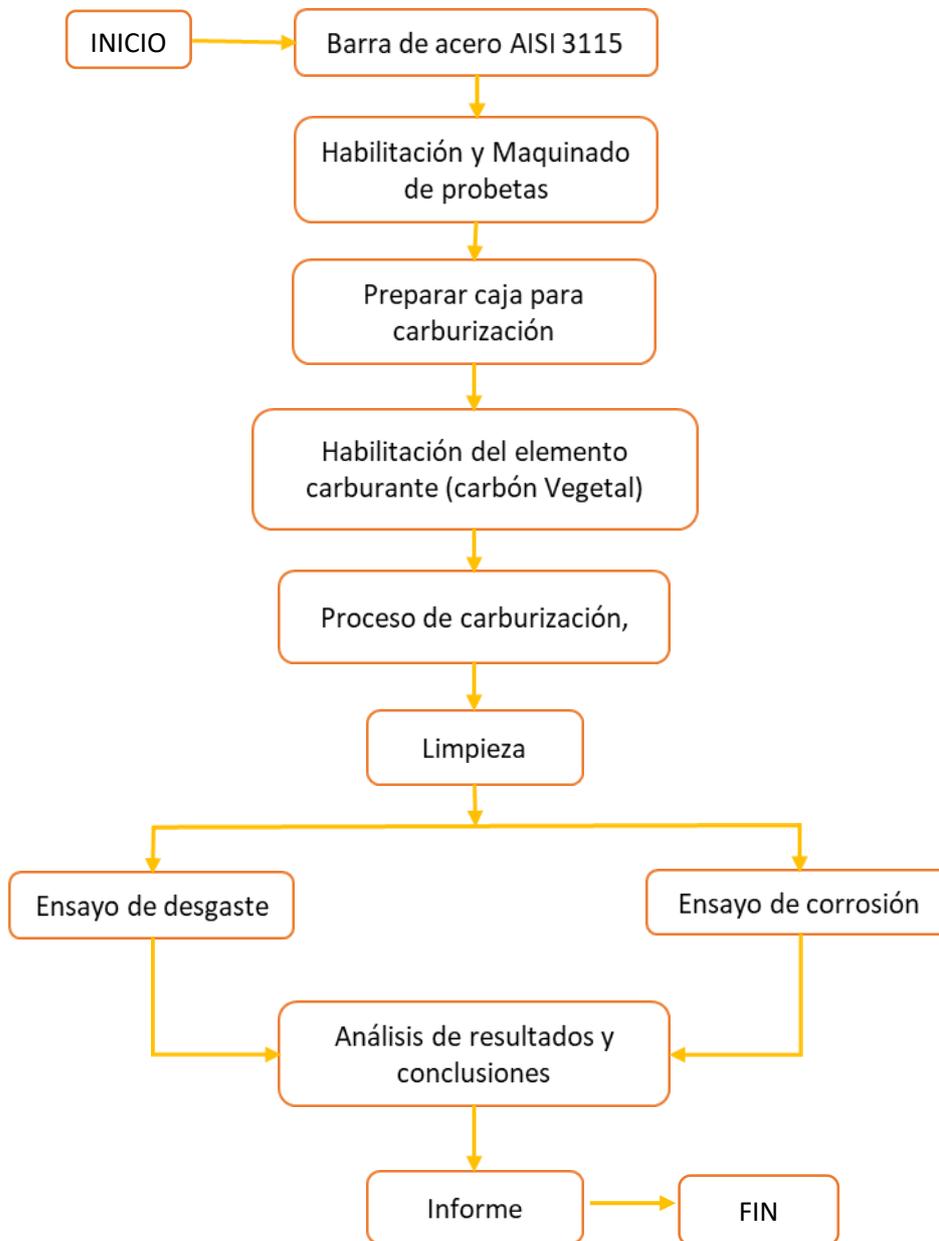
Fuente: *Elaboración propia.*

Para esta investigación se utilizan las técnicas de recolección de datos: La observación y análisis documental:

La técnica de observación consiste en observar y conocer las propiedades de la composición del acero AISI 3115 y los parámetros para realizar tratamientos térmicos en cuanto a su estructura de composición.

El análisis documental, se realizó teniendo en cuenta las ecuaciones de los ensayos de la dureza superficial, resistencia al desgaste y velocidad de corrosión.

3.5 Procedimientos



Fuente: Elaboración propia.

3.6 Método de análisis de datos

En el presente estudio se aplicó métodos de análisis estadísticos de medidas de tendencias para determinar estadísticamente el nivel de significancia entre la variable independiente (tiempo de carburización) sobre las variables dependientes (resistencia al desgaste, velocidad de corrosión), todo ello teniendo en cuenta los objetivos planteados, así mismo los datos que se obtengan durante la investigación será procesado y tabulado mediante software Originlab 9.0.

3.7 Aspectos éticos

En el presente estudio se tomará en cuenta las consideraciones éticas pertinentes, tal como confidenciales de la información, por lo tanto, la información obtenida no será revelada ni divulgada para cualquier otro fin.

IV. RESULTADOS

4.1 Mediante el uso de la ficha técnica se determinó las condiciones de tratamiento de carburización para el acero AISI 3115.

 ACEROS DEL PERU Asesoría Técnica en Aceros Especiales y Tratamientos Térmicos		Asesoría Técnica en Aceros Especiales y Tratamientos Térmicos				
16 NC 6						
Equivalencias DIN: 15CrNi6 W.N. 1.5919 AISI: 3115						
Composición química						
%C	%Si	%Mn	%Ni	%Cr	%S	%P
0.14	≤0.4	0.60	1.20	0.90	≤0.035	≤0.035
0.19		0.90	1.50	1.20		
Estado de Suministro	Recocido					
Dureza de Suministro	197 HB					
Colores de Identificación	Azul/ Negro					
Formato	Barras redondas					
Tratamiento térmico						
Temperatura de Temple	Medio de enfriamiento	Temperatura de Recocido				
830 – 860 °C	Aceite	600 – 670°C				

Figura 9. Propiedades para tratamientos térmicos/termoquímicos para el acero AISI 3115.

Fuente: Catálogo de Aceros Especiales ACEPESAC. Pág. 56 - 58

Primero: El horno eléctrico se calentó lentamente a una temperatura de carburización de 980°C, temperatura que se utilizara para realizar el proceso.

Segundo: El medio Carburante que se utilizó y el que envolvió la probeta del cual se aprovechó el carbono, es el carbón vegetal, en el proceso se utilizó 1.5 kg de carbón vegetal.

Tercero: El tiempo al que se sometió las probetas al proceso de carburización fue variable, de acuerdo a los tiempos establecidos que fueron: 0.5; 1; 2; 4 horas.

Cuarto: Luego del proceso de incremento del carbono, las piezas de acero fueron sometidas al tratamiento de temple, en este caso la temperatura para este proceso fue de 850°C.

Quinto: Después del tratamiento de temple, las piezas han sido sometidas a un enfriamiento brusco, en este caso se utilizó el baño de aceite (SAE 15W40).

Sexto: Una vez que las piezas fueron enfriadas, se sometieron nuevamente al proceso de revenido, esto a una temperatura de 150°C, con la finalidad de aliviar las tensiones producidas en el proceso de Carburización.

Séptimo: Finalmente terminado el proceso de revenido, las piezas se enfriaron a temperatura ambiente debiendo quedar con una superficie dura entre 40 y 50 HRC.

De acuerdo a esta secuencia de carburización permitió realizar un correcto proceso de tratamiento termoquímico del acero AISI 3115.

4.2 Secuencia de tratamiento termoquímico de carburización en caja para el acero AISI 3115.

La secuencia de la etapa de carburización en caja fue definida en tres etapas:

a) Construcción de caja para carburización.

La construcción de la caja para el proceso de carburización sólida no precisa de formulación matemática, pero debió cumplir con los requisitos como el Volumen, este estuvo de acuerdo al volumen del horno eléctrico donde se realizó el proceso, el material con el que se ha confeccionado la caja es el acero ASTM A36, un material resistente a la temperatura del proceso de carburización ya que mantiene su estado sólido a dicha temperatura, las dimensiones de la caja fueron: 25 cm de largo, 15 cm de ancho y 15 cm de altura. El tipo de

soldadura que se utilizó fue de Arco eléctrico con electrodo código E6010 de 1/8 de pulgada, mientras que el Amperaje fue de 90A.

b) Acondicionamiento del carbón vegetal como carburante.

El carbón vegetal utilizado como medio carburante fue de bajas cantidades de azufre por los gases que estos generan. El carbón fue molido a término medio, esta molienda se realizó artesanalmente, obteniendo diferentes tamaños de partículas de carbón con el fin de completar vacíos entre ellos. Una vez que se realizó la molienda se procedió a colocar el carbón en la caja metálica construida, el carbón vegetal rodeó y cubrió las piezas a carburar, se recomendó dejar un espacio vacío en la caja con el propósito de que en dicho vacío se realice la reacción termoquímica. Finalmente, la caja fue cerrada y sellada con arcilla a fin de restringir el acceso del oxígeno del aire, de tal manera que la cámara interna de la caja quede hermética no oxidante, pues de pasar, se daría un proceso inverso a la carburización, el cual se debe evitar.

c) Operación del horno eléctrico.

El horno eléctrico fue encendido unos 40 minutos antes de introducir la caja, con el propósito de que vaya alcanzando la temperatura de carburización, una vez que la caja había sido sellada con arcilla y el horno eléctrico iba alcanzando la temperatura adecuada, se introdujo la caja en el horno dejando que este alcanzara la temperatura de carburización (980°C) para que de esta manera el aire atrapado en el interior de la caja sea el necesario para la transición de monóxido de carbono a dióxido de carbono, con la correspondiente liberación de un átomo de carbono, el cual mediante el proceso de difusión ingresa por los espacios intersticiales a la red de átomos de hierro de las piezas sometidas al proceso de carburización. El proceso de transición de óxidos de carbono se realizó en el rango de temperaturas entre 920 y 980 °C. Así el tiempo de permanencia en la cámara interna del horno se mide una vez que este alcanza los 920°C, de acuerdo con los rangos establecidos en el estudio. La temperatura alcanzada permitió además la transformación de fase austenita, en la cual la difusión del carbono es alta en la superficie de hierro.

4.3 Interpretación grafica en la dureza superficial versus el tiempo de carburización del acero AISI 3115.

Para medir la dureza superficial de las probetas carburizadas se realizó mediante el ensayo Rockwell en la escala C (150 Kg), en el durómetro digital. Donde se aprecia el incremento de la dureza superficial en relación directa con el incremento del tiempo de carburización. Obteniendo datos de la tabla 4:

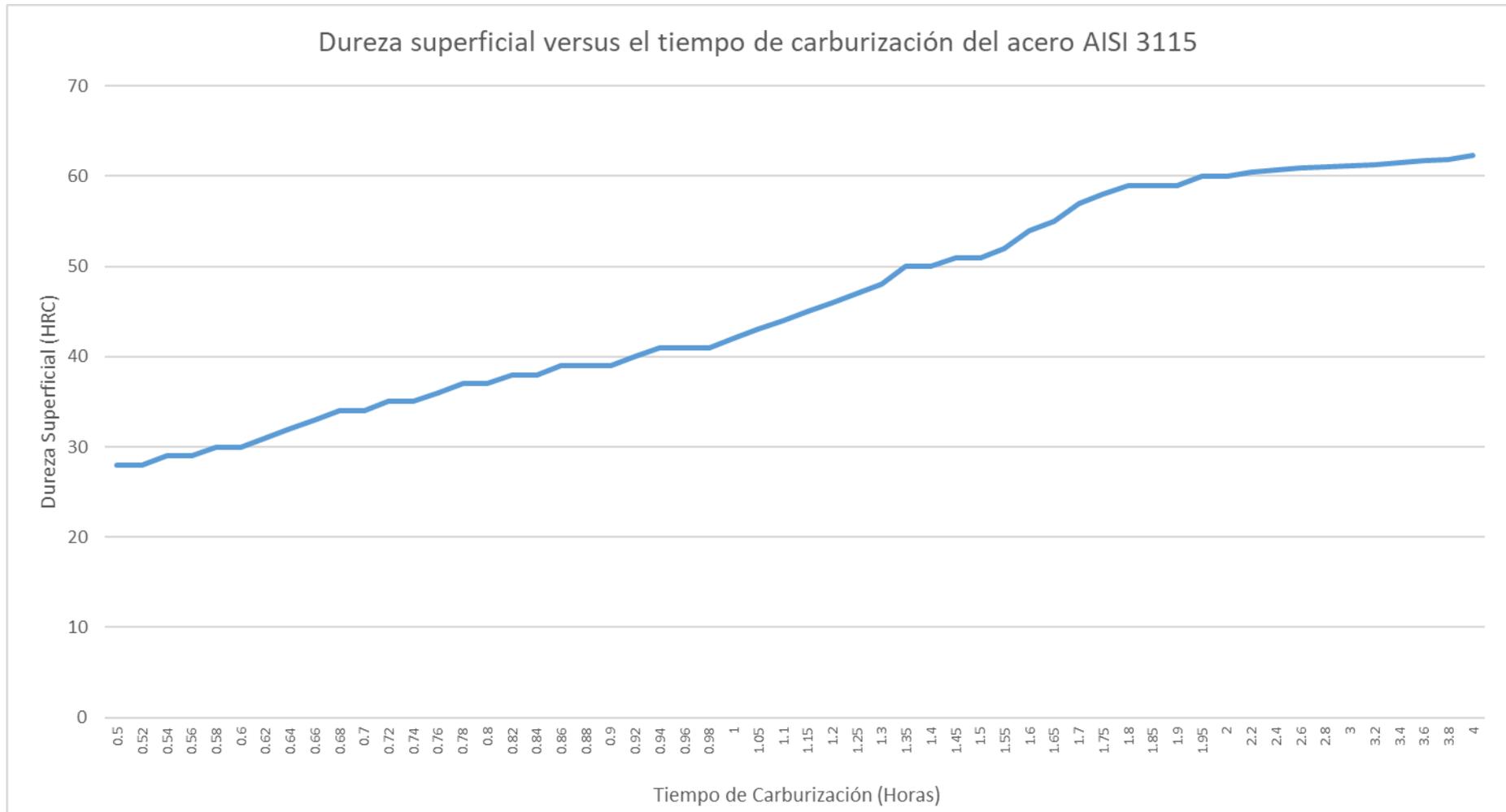
Tabla 4. *Datos obtenidos del durómetro digital de las piezas carburadas.*

Tiempo de Carburización (Horas)	Dureza Superficial (HRC)
0	
0.5	28
0.52	28
0.54	29
0.56	29
0.58	30
0.6	30
0.62	31
0.64	32
0.66	33
0.68	34
0.7	34
0.72	35
0.74	35
0.76	36
0.78	37
0.8	37
0.82	38
0.84	38
0.86	39
0.88	39
0.9	39
0.92	40
0.94	41
0.96	41
0.98	41
1	42

1.05	43
1.1	44
1.15	45
1.2	46
1.25	47
1.3	48
1.35	50
1.4	50
1.45	51
1.5	51
1.55	52
1.6	54
1.65	55
1.7	57
1.75	58
1.8	59
1.85	59
1.9	59
1.95	60
2	60
2.2	60.5
2.4	60.7
2.6	60.9
2.8	61
3	61.1
3.2	61.3
3.4	61.5
3.6	61.7
3.8	61.9
4	62.3

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los datos Obtenidos en la Tabla 4, se construye el Grafico siguiente:



Grafica 1. Dureza superficial (HRC) vs Tiempo de carburización (h).

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 1, se aprecia como la dureza en la superficie del acero va aumentando de acuerdo al tiempo, en un inicio la dureza del acero carburado a 0.5 horas es aproximadamente de 28 HRC, luego la probeta que está sometida a 1 hora de carburización la dureza llega hasta un 41 HRC, mientras que para la probeta sometida a 2 horas de carburización la dureza es de 60 HRC, finalmente se muestra que para la probeta sometida a 4 horas de carburización la dureza en la superficie no sufre un cambio muy alto, manteniéndose casi constante, este llega a tener 62.3 HRC.

4.4 Construcción de gráficas mediante software especializado de tiempo de carburización versus resistencia al desgaste y velocidad de corrosión.

Ensayo de desgaste.

Para el ensayo de desgaste, las probetas de acero AISI 3115 carburizadas fueron sometidas en el equipo de desgaste, durante una hora, de tal manera que podamos determinar la variación de masa de acuerdo al tiempo de carburización de las probetas. El Registro de datos obtenidos en los ensayos de desgaste se muestra en el formato Ficha de Observación Ensayo de desgaste en el Anexo 4.

Los valores de resistencia al desgaste se obtienen de la siguiente expresión:

$$R D = \frac{m_0 - m_f}{T}$$

Donde:

R D: Resistencia al desgaste.

m₀: Masa antes del ensayo.

m_f: Masa después del ensayo.

T: tiempo de ensayo.

De acuerdo con los datos promedios obtenidos de la hoja de registro "Ensayo de Desgaste". Tenemos:

a) Para la probeta del tipo E tenemos:

$$RD = \frac{43.648 - 43.6235 \text{ (g)}}{0.0247 \frac{1}{\text{g}} \text{ (h)}}$$

Del mismo modo encontramos los resultados para las probetas A, B, C, D para obtener los resultados de la tabla 5:

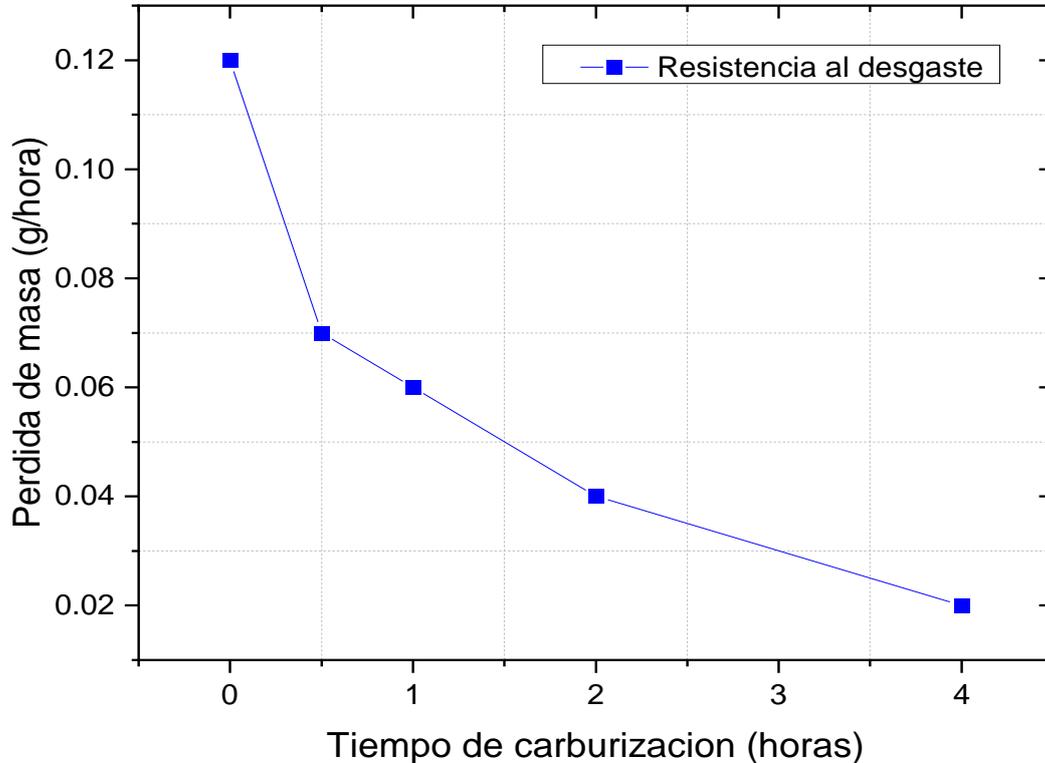
Tabla 5. Valores promedio de la pérdida de masa por unidad de tiempo de los aceros carburizados a diferentes tiempos.

Tiempo de Carburización (Horas)	Variación de masa (gramos)	Tiempo de ensayo (horas)	Pérdida de masa por unidad de tiempo (g/hora)
0	0.1215	1	0.1215
0.05	0.1115	1	0.1115
0.07	0.1087	1	0.1087
0.09	0.1047	1	0.1047
0.11	0.1021	1	0.1021
0.13	0.1001	1	0.1001
0.15	0.0998	1	0.0998
0.17	0.0991	1	0.0991
0.19	0.0947	1	0.0947
0.21	0.0914	1	0.0914
0.23	0.0901	1	0.0901
0.25	0.0891	1	0.0891
0.27	0.0874	1	0.0874
0.29	0.0854	1	0.0854
0.31	0.0841	1	0.0841
0.33	0.0831	1	0.0831
0.35	0.0821	1	0.0821
0.37	0.0811	1	0.0811
0.39	0.0788	1	0.0788
0.41	0.0765	1	0.0765
0.43	0.0745	1	0.0745
0.45	0.0732	1	0.0732
0.47	0.0721	1	0.0721
0.5	0.0714	1	0.0714
0.55	0.0701	1	0.0701
0.6	0.0699	1	0.0699
0.65	0.0687	1	0.0687
0.7	0.0671	1	0.0671
0.75	0.0666	1	0.0666
0.8	0.0651	1	0.0651
0.85	0.0641	1	0.0641
0.9	0.0639	1	0.0639
0.95	0.0629	1	0.0629

1	0.0624	1	0.0624
1.1	0.0611	1	0.0611
1.2	0.0599	1	0.0599
1.3	0.0591	1	0.0591
1.4	0.0581	1	0.0581
1.5	0.0574	1	0.0574
1.6	0.0564	1	0.0564
1.7	0.0512	1	0.0512
1.8	0.0494	1	0.0494
1.9	0.0472	1	0.0472
2	0.0447	1	0.0447
2.2	0.0415	1	0.0415
2.4	0.0398	1	0.0398
2.6	0.0374	1	0.0374
2.8	0.0368	1	0.0368
3	0.0341	1	0.0341
3.2	0.0321	1	0.0321
3.4	0.0291	1	0.0291
3.6	0.0274	1	0.0274
3.8	0.0261	1	0.0261
4	0.0247	1	0.0247

Fuente: Elaboración propia.

Así los datos promedio registrados de resistencia al desgaste se plotean versus los tiempos de carburización, obteniendo la gráfica 2.



Gráfica 2. Medida de pérdida de masa en unidad de tiempo de ensayo. (b) Datos de la resistencia al desgaste de aceros a diferentes tiempos de carburización.

Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 2. se muestra como la probeta que no ha sido sometida al proceso de carburización, tiene un desgaste de 0.12 g/h; mientras que la pieza sometida al proceso de carburización durante 0.5 horas tiene una pérdida de masa de 0.07 g/h, disminuyendo a 0.06 g/h la probeta sometida a una hora de carburización, del mismo modo la probeta sometida a 2 horas en el proceso de carburización tiene una pérdida de 0.04 g/h, decreciendo hasta el 0.02 g/h en la probeta sometida a 4 horas en el proceso de carburización. En tal sentido se puede aprobar que mientras la pieza carburizada permanezca más tiempo en el proceso de carburización la resistencia al desgaste incrementara favorablemente.

Ensayo de corrosión

Para el ensayo de corrosión las probetas de acero AISI 3115, fueron sumergidas a una solución acuosa, de tal manera que este acelere la corrosión, esto se realizó en un periodo de tiempo de 28 días. Una vez cumplidas el periodo de inmersión de las probetas en la solución acuosa, se realiza las mediciones correspondientes con la finalidad de registrar los daños y/o alteraciones en las probetas, registrando los datos en el formato Ficha de observación Ensayo de corrosión.

Las ecuaciones para el cálculo de la velocidad de corrosión y/o resistencia a la corrosión fueron:

$$V_c = \frac{P_m (g)}{t_e (días) * A_s (cm^2)}$$
$$P_e = V_c \left(\frac{g}{días * cm^2} \right) * \left(\frac{1}{d} \right)$$

Donde:

V_c: Velocidad de corrosión.

P_m: Pérdida de masa por unidad de tiempo.

T_e: Tiempo de ensayo.

A_s: Área sumergida.

P_e: Pérdida de espesor.

De acuerdo con los datos promedio obtenidos de la hoja de registro "Ensayo de corrosión". Anexo 1, tenemos:

a) Para las probetas AC, tenemos:

$$V_c = \frac{0.0112 (g)}{28(dias) * 2208.9375 (cm^2)}$$

$$VP_e = 0.0000181083 * \left(\frac{1}{0.12738854} \right)$$

$$V_c = 0.0000181083 \frac{g}{(dias * cm^2)}$$

$$VP_e = 0.33148745 \text{ mpy}$$

Del mismo modo encontramos los resultados para las probetas BC, CC, DC, EC para obtener los resultados según la tabla 6:

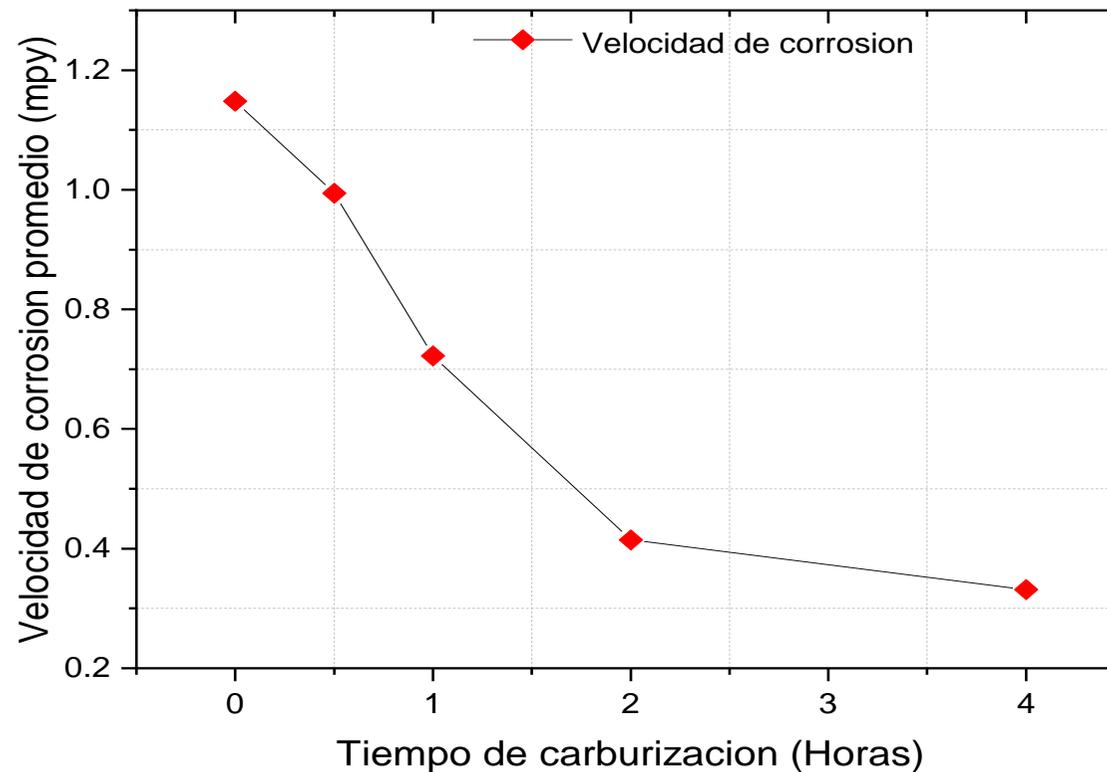
Tabla 6. *Tabla de datos promedio del cálculo de velocidad de corrosión de las muestras de acero AISI 3115 carburadas a diferentes tiempos.*

Tiempo de carburización (h)	Variación de masa (gramos)	Diam. (mm)	Long. (mm)	Área total (mm ²)	Tiempo de ensayo (días)	Velocidad de corrosión (g/cm ² *día)	Densidad del Acero ⁻¹ (cm ³ /g)	Velocidad de corrosión (Mpy)
0	0.0388	22.5	20	2208.9323	28	0.0000627323	0.12738854	1.1483672
0.05	0.0386	22.5	20	2208.9323	28	0.0000621211	0.12738854	1.1212146
0.1	0.0382	22.5	20	2208.9323	28	0.0000609854	0.12738854	1.1145455
0.15	0.0376	22.5	20	2208.9323	28	0.0000591412	0.12738854	1.0974544
0.2	0.037	22.5	20	2208.9323	28	0.0000572122	0.12738854	1.0655455
0.25	0.0366	22.5	20	2208.9323	28	0.0000563231	0.12738854	1.0511544
0.3	0.0354	22.5	20	2208.9323	28	0.0000549324	0.12738854	1.0284545
0.35	0.0352	22.5	20	2208.9323	28	0.0000548212	0.12738854	1.0245454
0.4	0.0341	22.5	20	2208.9323	28	0.0000544474	0.12738854	1.0145455
0.45	0.0339	22.5	20	2208.9323	28	0.0000543989	0.12738854	0.9987879
0.5	0.0336	22.5	20	2208.9323	28	0.0000543249	0.12738854	0.9944623
0.55	0.0331	22.5	20	2208.9323	28	0.0000543249	0.12738854	0.9845784
0.6	0.0326	22.5	20	2208.9323	28	0.0000514100	0.12738854	0.9523245
0.65	0.0321	22.5	20	2208.9323	28	0.0000482110	0.12738854	0.9278452
0.7	0.0316	22.5	20	2208.9323	28	0.0000450121	0.12738854	0.8941246
0.75	0.0311	22.5	20	2208.9323	28	0.0000449410	0.12738854	0.8547895
0.8	0.0306	22.5	20	2208.9323	28	0.0000448770	0.12738854	0.8212745
0.85	0.0278	22.5	20	2208.9323	28	0.0000441211	0.12738854	0.7998745
0.9	0.0261	22.5	20	2208.9323	28	0.0000432512	0.12738854	0.7654127

0.95	0.0254	22.5	20	2208.9323	28	0.0000414545	0.12738854	0.7498745
1	0.0244	22.5	20	2208.9323	28	0.0000394502	0.12738854	0.72216908
1.1	0.0231	22.5	20	2208.9323	28	0.0000374545	0.12738854	0.68784514
1.2	0.0218	22.5	20	2208.9323	28	0.0000364545	0.12738854	0.62874562
1.3	0.0205	22.5	20	2208.9323	28	0.0000344545	0.12738854	0.59874121
1.4	0.0192	22.5	20	2208.9323	28	0.0000318444	0.12738854	0.56745122
1.5	0.0179	22.5	20	2208.9323	28	0.0000284545	0.12738854	0.5374895
1.6	0.0166	22.5	20	2208.9323	28	0.0000272454	0.12738854	0.51123471
1.7	0.0159	22.5	20	2208.9323	28	0.0000261414	0.12738854	0.4878452
1.8	0.0153	22.5	20	2208.9323	28	0.0000254110	0.12738854	0.46456894
1.9	0.0148	22.5	20	2208.9323	28	0.0000248440	0.12738854	0.4351221
2	0.014	22.5	20	2208.9323	28	0.0000226354	0.12738854	0.41435931
2.2	0.0137	22.5	20	2208.9323	28	0.0000221414	0.12738854	0.41145477
2.4	0.0134	22.5	20	2208.9323	28	0.0000219877	0.12738854	0.39874513
2.6	0.0131	22.5	20	2208.9323	28	0.0000228744	0.12738854	0.38874577
2.8	0.0128	22.5	20	2208.9323	28	0.0000217844	0.12738854	0.37898652
3	0.0125	22.5	20	2208.9323	28	0.0000214744	0.12738854	0.36874524
3.2	0.0122	22.5	20	2208.9323	28	0.0000211141	0.12738854	0.36587411
3.4	0.0119	22.5	20	2208.9323	28	0.0000209874	0.12738854	0.35587455
3.6	0.0116	22.5	20	2208.9323	28	0.0000207454	0.12738854	0.34875848
3.8	0.0113	22.5	20	2208.9323	28	0.0000194544	0.12738854	0.33878986
4	0.0112	22.5	20	2208.9323	28	0.0000181083	0.12738854	0.33148745

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 6 muestra la forma de cálculo de la velocidad de corrosión en mpy de las muestras de acero AISI 3115 carburizadas en caja a diferentes de tiempos de proceso, por el método gravimétrico, de acuerdo a las ecuaciones expuestas anteriormente, de ellos se aprecia la disminución de la velocidad de corrosión y por ende el incremento de la resistencia a la corrosión de las muestras carburizadas según se incrementa el tiempo de carburización.



Gráfica 3. Efecto del tiempo de carburización sobre la resistencia a la corrosión mediante método gravimétrico.

Fuente: Elaboración Propia.

La grafica 3, muestra la tendencia de la velocidad de corrosión del acero AISI 3115 a diferentes tiempos de carburización, vemos que la probeta que no ha sido sometida al proceso de carburización tiene 1.5 mpy, mientras que las piezas que han sido sometidas al proceso de carburización muestran una disminución tal como se muestra la probeta sometida a 0.5 h, obteniendo un 1.0 mpy, del mismo modo para la probeta sometida a una hora de cementación cae hasta 0.71 mpy, mientras que para la probeta sometida a 2 horas de cementación tiene el valor de 0.4 mpy, para la probeta sometida a 4 horas en el proceso de cementación la disminución es significativa llegando hasta 0.31 mpy. Así se observa la tendencia esperada y propuesta en la hipótesis de investigación.

4.5 Evaluar el efecto del tiempo de carburización, sobre la resistencia al desgaste y velocidad de corrosión del acero AISI 3115

El efecto del tiempo del tiempo de carburización, sobre la resistencia al desgaste y velocidad de corrosión del acero AISI 3115 ha mostrado resultados bastante satisfactorios.

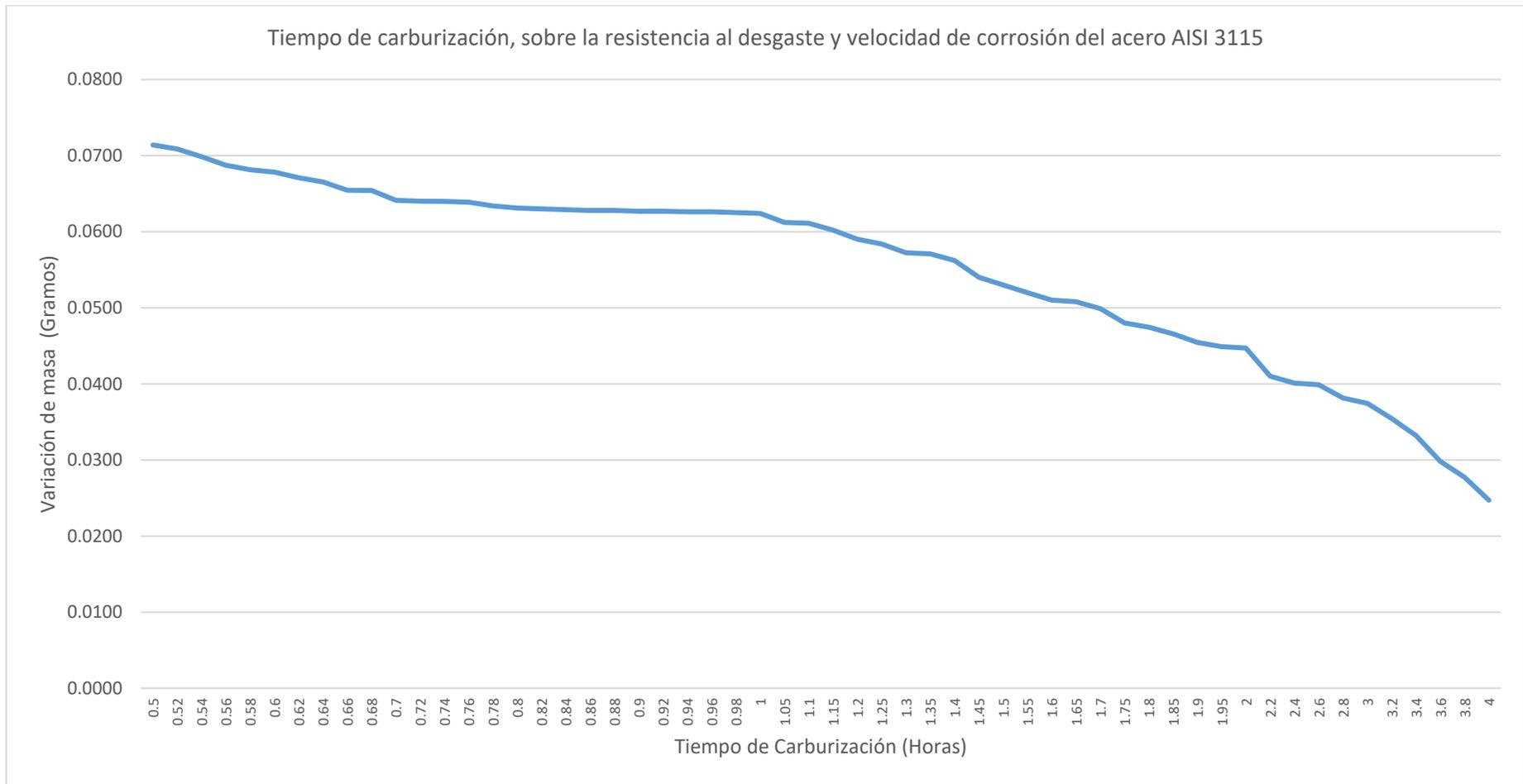
Para la resistencia al desgaste, de acuerdo con los resultados que se obtuvo en todos los procesos de laboratorio, estos, mostraron que mientras más tiempo pasa la pieza en el proceso de carburización mayor es la dureza, por ende, el desgaste sería indirectamente proporcional al tiempo de proceso (mientras más tiempo, mayor resistencia).

Tabla 7. Tiempo de carburización, sobre la resistencia al desgaste y velocidad de corrosión del acero AISI 3115

Variable Independiente	P. Dureza	E. Desgaste
Tiempo de Carburización (Horas)	Dureza Superficial (HRC)	Variación de masa (gramos)
0.5	28	0.0714
0.52	28	0.0709
0.54	29	0.0699
0.56	29	0.0687
0.58	30	0.0681
0.6	30	0.0678
0.62	31	0.0671
0.64	32	0.0665
0.66	33	0.0655
0.68	34	0.0654
0.7	34	0.0641
0.72	35	0.0640
0.74	35	0.0640
0.76	36	0.0639
0.78	37	0.0634
0.8	37	0.0631
0.82	38	0.0630
0.84	38	0.0629
0.86	39	0.0628
0.88	39	0.0628
0.9	39	0.0627
0.92	40	0.0627
0.94	41	0.0626
0.96	41	0.0626
0.98	41	0.0625
1	42	0.0624
1.05	43	0.0612
1.1	44	0.0611
1.15	45	0.0602
1.2	46	0.0590
1.25	47	0.0584
1.3	48	0.0572
1.35	50	0.0571
1.4	50	0.0562
1.45	51	0.0540

1.5	51	0.0530
1.55	52	0.0520
1.6	54	0.0510
1.65	55	0.0508
1.7	57	0.0499
1.75	58	0.0480
1.8	59	0.0475
1.85	59	0.0466
1.9	59	0.0455
1.95	60	0.0449
2	60	0.0447
2.2	60.5	0.0410
2.4	60.7	0.0401
2.6	60.9	0.0399
2.8	61	0.0381
3	61.1	0.0374
3.2	61.3	0.0355
3.4	61.5	0.0332
3.6	61.7	0.0298
3.8	61.9	0.0277
4	62.3	0.0247

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 4. Tiempo de carburización, sobre la resistencia al desgaste y velocidad de corrosión del acero AISI 3115.

Fuente: Elaboración propia.

Para la resistencia a la velocidad de corrosión, los resultados han sido óptimos, de acuerdo a los datos obtenidos, estos indicaron que mientras la pieza pasa más tiempo en el proceso de carburización, la resistencia a la corrosión también aumenta, logrando controlar este fenómeno y reduciendo el tiempo de corrosión del componente.

Tabla 8. *Tiempo de carburización, sobre la variación de masa y velocidad de corrosión del acero AISI 3115.*

Tiempo Carburización (horas)	Variación de masa (gramos)	Tiempo de ensayo (días)	Velocidad de corrosión Mpy
0.5	0.03360	28	0.99446
0.52	0.03200	28	0.98741
0.54	0.03100	28	0.91745
0.56	0.03000	28	0.88785
0.58	0.02900	28	0.87000
0.6	0.02840	28	0.86000
0.62	0.02810	28	0.85444
0.64	0.02740	28	0.84000
0.66	0.02710	28	0.83475
0.68	0.02690	28	0.82000
0.7	0.02670	28	0.81785
0.72	0.02610	28	0.80000
0.74	0.02590	28	0.79785
0.76	0.02580	28	0.78000
0.78	0.02570	28	0.77000
0.8	0.02540	28	0.76478
0.82	0.02530	28	0.75000
0.84	0.02520	28	0.74100
0.86	0.02510	28	0.74478
0.88	0.02500	28	0.73800
0.9	0.02490	28	0.73100
0.92	0.02480	28	0.73000
0.94	0.02470	28	0.72900
0.96	0.02460	28	0.72800
0.98	0.02450	28	0.72400
1	0.02440	28	0.72217
1.05	0.02320	28	0.70000
1.1	0.02310	28	0.68780
1.15	0.02290	28	0.64121
1.2	0.02240	28	0.62145

1.25	0.02140	28	0.61244
1.3	0.02040	28	0.60121
1.35	0.01980	28	0.57450
1.4	0.01910	28	0.54122
1.45	0.01840	28	0.53212
1.5	0.01810	28	0.52120
1.55	0.01700	28	0.51212
1.6	0.01700	28	0.50121
1.65	0.01610	28	0.48450
1.7	0.01600	28	0.46545
1.75	0.01590	28	0.45122
1.8	0.01540	28	0.44440
1.85	0.01510	28	0.43250
1.9	0.01500	28	0.42000
1.95	0.01450	28	0.41980
2	0.01400	28	0.41436
2.2	0.01300	28	0.40122
2.4	0.01290	28	0.39899
2.6	0.01210	28	0.38788
2.8	0.01200	28	0.38100
3	0.01190	28	0.37440
3.2	0.01180	28	0.36520
3.4	0.01170	28	0.35410
3.6	0.01140	28	0.34550
3.8	0.01130	28	0.33900
4	0.01120	28	0.33149

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 5. Tiempo de carburización, sobre la variación de masa (Gramos) y velocidad de corrosión del acero AISI 3115

Fuente: Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN.

El uso del acero AISI 3115 en la industria, ha sido cada vez más frecuente y con el tiempo se ha ido mejorando, el tratamiento térmico por el método de carburización con carbón vegetal ha sido utilizado con más frecuencia por la versatilidad que consta su proceso y el buen resultado que se obtiene para mejorar la dureza superficial, el desgaste y la velocidad de corrosión.

Rodríguez (2015), en su estudio denominado “Estudio numérico del tratamiento de carburización de aceros” coincide favorablemente con este estudio al mencionar que este tipo de tratamiento termoquímico y de temple es el más favorable por que permiten cumplir con especificaciones de manufactura que se requiere, a un bajo costo operativo. En tanto este tipo de tratamiento es muy factible y de versátil utilización en su procedimiento para mejorar las características de los aceros especiales (AISI 3115), obteniendo rendimientos óptimos en los componentes con este tipo de tratamiento y de mayor vida útil.

De acuerdo a los resultados obtenidos por Luna Alvares (2005) en su tesis titulada “Cementación solida de aceros” menciona que la cementación del acero AISI 8620 es favorable encontrando martensita en la zona cementada, quiere decir que hay un enriquecimiento superficial de carbono en las piezas que ha tratado, concordando con el resultado obtenido en la cementación del acero AISI 3115 del presente estudio que se registró una ganancia de carbono en la superficie del acero una considerable tenacidad y una muy buena resistencia mecánica en el núcleo , concentrando martensita en la superficie, provocando que esta tenga mayor dureza en la superficie y buena tenacidad, de igual forma en el núcleo del acero AISI 3115 se encontró martensita más bainita en el cementado con carbón vegetal, haciendo que el acero obtenga una mejor resistencia mecánica, mientras que para el acero AISI 8620 cementado con hierro gris se encontró una mezcla de ferrita y martensita, lo que le permite que tenga un núcleo menos tenas, La profundidad de cementado para la cementación del Acero AISI 3115 fue de 1.230 mm, sin embargo, la profundidad de cementación en el acero AISI 8620 fue de 1.650 mm según Luna, siendo mayor en este ultimo la profundidad de cementación por el mayor

tiempo que se le brindo en el proceso. Además de ello se considera que, para la cementación de acero, el proceso de cementación por carbón vegetal es favorable y no tan diferente en los resultados obtenidos frente a la rebaba de hierro gris con carbonato de bario, siendo este el proceso que mejor resultados demuestra Luna,

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que a medida que se incrementa el tiempo de carburización, la resistencia al desgaste, dureza y velocidad de corrosión aumentan en cada uno de los niveles de la variable independiente (tiempo).

El carbono impregnado en el acero durante el proceso de carburización en caja es el resultado de cuatro factores primordiales: la composición química del acero (cantidad de cromo en su composición) y sobre todo su contenido de carbono; el potencial de carbono del medio difusor; la temperatura de carburización y el tiempo; estas variables son los que controlan toda la difusión de carbono en la superficie a lo largo del proceso.

Para Rivera, de acuerdo a su tesis titulada “Influencia del tiempo y de los elementos de aleación en la profundidad de capa sementada de los aceros SAE 1018 y SAE 8620” indica que después del proceso de cementación el que posee mejores resultados de resistencia al desgaste es el que contiene elementos de aleación como cromo, siendo bastante favorable en nuestro estudio de cementación, por el porcentaje de cromo que posee nuestro tipo de acero estudiado, (acero AISI 3115 que posee 1.2% de cromo), en tanto podemos afirmar que la cementación del acero AISI 3115 ha obtenido buenos resultados teniendo mejor desempeño al desgaste de las piezas.

En tanto los resultados encontrados por Ruiz (2016) en su estudio realizado “Efecto del tiempo de carburización en el acero AISI 3215” indica como medio difusor 80% de viruta de fundición gris, obteniendo resultados como el aumento de dureza superficial de 63,5 HRC en 8 horas de tratamiento, mientras que en nuestro estudio utilizando como medio difusor el carbón vegetal, llega a un resultado similar pero en menos tiempo de tratamiento, es decir, en 4 horas de tratamiento con carbón vegetal obtenemos 62.3 HRC, esto nos lleva a concluir

que la ganancia de mayor dureza o enriquecimiento superficial se da en las primeras horas de carburización, es decir, que el aumento de dureza es casi constante después de las 4 horas de proceso de cementación, recalcando que en ambos estudios la diferencia fue el medio difusor, obteniendo mejores resultado con la cementación por carbón vegetal con el cual hemos trabajado. Del mismo modo, hay algunas coincidencias en los resultados obtenidos por Molina, el cual evaluó la temperatura de carburización del acero AISI 4140 que indica que mientras aumenta la temperatura de carburización aumenta también la dureza superficial es decir a un tiempo de 2 horas aumenta desde 58.7 HRC a 750 °C hasta 66.1 HRC a 850 °C, sin embargo en nuestro estudio, la ganancia más alta de dureza superficial se realiza a una temperatura de 980 °C y en un tiempo de 4 horas de proceso de carburización.

Los resultados del presente estudio también revelan el efecto que tiene el tiempo de carburización sobre el espesor de capa superficial, donde se observa que a medida que se acrecienta el tiempo de proceso de carburización, el espesor de capa aumenta, obteniéndose un espesor de capa de 0.56 mm para un tiempo de carburización de 2 horas y 1.23 mm para un tiempo de carburización de 4 horas, resultados bastantes similares a los obtenidos por Ruiz Torres (2016). Esto se debe a que el espesor de capa es función del tiempo y temperatura de carburización. Esto es posible debido a que el espesor de la capa superficial es directamente proporcional al tiempo de proceso de carburización. Obedeciendo también a que a partir de los 900 °C existe un gradiente de concentración de carbono, que es muy necesario para la difusión de este (carbono) hacia el interior del acero.

De acuerdo al estudio realizado por Alvares Rodríguez y Mejía Campos (2018) con el nombre de: "Efecto del tiempo de permanencia en el tratamiento criogénico en probetas carburizadas de acero AISI 3115 sobre la resistencia al desgaste, resistencia al impacto y dureza", indican que la dureza superficial de las probetas de acero AISI 3115 sometidas a un proceso de carburización con una temperatura de 900°C y con un temple directamente al agua, obtienen una dureza elevada, siendo 60.9 HCR en promedio en 0.5 horas de proceso, mientras, que 65.6 HCR en 5 horas del mismo proceso de carburización, a lo

cual nuestro estudio muestra resultados similares o muy parecidos, sin embargo, podríamos mencionar algunos factores en el proceso que han podido ser la causa en la diferencia de los valores de los resultados, así como: la sustancia que se ha utilizado para el proceso de temple de las probetas (agua y aceite respectivamente), la diferencia en las temperaturas de carburización (900°C y 980°C), el tiempo, y/o La calidad del medio difusor. De acuerdo al ensayo de desgaste, Alvares y Mejía, mencionan también que a medida que incrementa el tiempo del tratamiento (0.5 a 5.0 H), la pérdida en peso se acorta, coincidiendo con los resultados de desgaste que se ha realizado en este estudio, teniendo en cuenta que mientras menor sea el tiempo de carburización, en la superficie de las probetas encontraremos martensita y austenita retenida y a media que el tiempo de carburización es mayor la austenita se va transformando en martensita, provocando algunas precipitaciones de partículas finas de carburos dándole un endurecimiento más consistente, por ende, mayor resistencia al desgaste.

En tanto, todos los estudios realizados respecto a tratamientos térmicos para los aceros tienen la misma finalidad, mejorar las propiedades físicas de su estructura superficial. El seleccionado por nuestro estudio (cementación en caja) da buenos resultados y a menor costo por la facilidad y versatilidad de su proceso.

VI. CONCLUSIONES

1. Se determinó mediante el uso de catálogo de aceros especiales, las condiciones de tratamiento termoquímico de carburización. Siendo la temperatura de carburización de 980°C, el medio carburante: carbón vegetal; La temperatura del proceso de temple al aceite fue de 850°C; el medio de enfriamiento en aceite lubricante por su viscosidad y una temperatura de revenido de 150°C. obteniendo dureza promedio de 40 – 45 HRC en el menor tiempo.
2. La secuencia del proceso de “carburización en caja”, se realizó partiendo de la fabricación de la caja con acero ASTM A36, luego el carbón vegetal es vertido dentro de la misma acondicionando las probetas de forma adecuada y sellándola, para que finalmente esta sea introducida dentro del horno eléctrico a una temperatura de 980°C a los tiempos establecidos.
3. El incremento la dureza superficial de los aceros tratados es directamente proporcional al tiempo de carburización, la máxima dureza obtenida fue de 62 HRC y se consiguió en un tiempo de carburización de 4 horas.
4. Las gráficas obtenidas mediante el software ORIGIN LAB; muestran que la relación entre el tiempo de carburización y la resistencia al desgaste es directa; mientras que si se compara el tiempo de carburización con la velocidad de corrosión se obtiene una relación inversa.
5. El efecto del tiempo de carburización del acero AISI 3115 sobre la resistencia al desgaste y velocidad de corrosión es positivo, mientras las piezas estén sometidas a mayor tiempo de carburización mayor será su resistencia a desgastarse mientras que la velocidad de corrosión disminuye, los mejores resultados se obtuvieron entre de 2 a 4 horas.

VII. RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los ensayos realizados y al manual de aceros especiales; se debe utilizar una temperatura de carburización de 980°C, el carbón vegetal como medio carburante y aceite lubricante para el enfriamiento de temple y revenido.
- Para realizar tratamientos térmicos de carburización en caja, está se tiene que construir de un acero ASTM A36, por la resistencia a altas temperaturas; también se debe tener en cuenta la posición y ubicación correcta de las probetas dentro de la caja. Además de ello la temperatura en el horno eléctrico se debe aproximar a los 980°C antes de realizar el proceso.
- Para una mejor obtención de resultados del tratamiento de carburización para aceros AISI 3115, se debe utilizar la gráfica que relaciona la dureza y el tiempo de carburización.
- Se debe de tener en cuenta que según las gráficas obtenidas mediante el software ORIGIN LAB. La relación entre el tiempo de carburización y la resistencia al desgaste es directa; mientras que si se compara el tiempo de carburización con la velocidad de corrosión se obtiene una relación inversa.
- Para realizar el análisis del efecto del tiempo de carburización, sobre la resistencia al desgaste y velocidad de corrosión se debe tener en cuenta los factores y parámetros para el tratamiento y la verificación de la calidad de los insumos.

REFERENCIAS

JUNG, Lee y CHANGHEUI, Jang. “*Corrosion and carburization behavior of chromia-forming heat resistant alloys in a high-temperature supercritical-carbon dioxide environment*”. Hong Kong : Elsevier, 2015. 099 pp.

ASBHY, Michael. *Engineering Materials 1. An Introduction to their Properties and Applications*”. Inglaterra. : Pergamon Press - Oxford, 2015.

ASKELAND, Donald. *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. México. 3ra. Ed., Edit. International Thompson, 1998.

BHOLER Peru. *ACEROS BOEHLER DEL PERU S.A.* [En línea] 2016, párr. 31. [Citado el: 7 de Noviembre de 2016.] <http://www.bohlerperu.com/2920.php>.

BOTSTEIN, Ohing y GUTMANAS, Ernesst. “Horizons of Powder Metallurgy”. [En línea] 2009. [Citado el: 18 de septiembre de 2016.] <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/articloe/download/570/580>.

CIENCIA E INGENIERIA DE MATERIALES. [En línea] 2012, párr. 105. [Citado el: 6 de noviembre de 2016.] <https://cienciamateriales.files.wordpress.com/2012/08/endurecimiento-superficial.pdf>.

RIVERA, Daniel. *Influencia del tiempo y de los elementos de aleacion en la proffundidad de capa cementada de los aceros SAE 1018 y SAE 8620*. Instituto Politecnico Nacional . Mexico : s.n., 2006, párr. 44. pág. 116, Tesis de Grado.

RODRIGUEZ, Felipe. *Endurecimiento Superficial del acero*. [aut. libro] Felipe Diaz del Castillo R. Cautillan : s.n., 2007.

YUAN, Xion. *Effect of rare earths on the carburization of steel*. pp 162, Hubei : Materials Science and Engineering, 2000, Vol. 267.

SUARDANA, *Effects of diammonium phosphate on the flammability and mechanical properties of bio-composites*. Suardana , NP, Ku, MS y Lim, JK. 2011. 32, 2011, Mater Des, pp199.

FERRERO, Lisandro. Endurecimiento superficial de aceros. [En línea] 12 de Diciembre de 2015. [Citado el: 02 de Junio de 2017.] <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8426.pdf>.

FLORES, Mario. Efecto del tratamiento químico en las propiedades físicas y químicas de las fibras de Musa Paradisiaca como refuerzo en composite. *Guayaquil. Ecuador*. [En línea] 2014. [Citado el: 10 de septiembre de 2016.] http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-90988.pdf.

GROOVER. *Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas*. [España] : MacGrowHill, 2013. ISBN 9789701062401.

LUNA, Jesus. *Cementacion Solida de Aceros*. Universidad Autonoma de Nuevo Leon. 2005, párr 15.

MEJIA, Alonso. Carburozacion y Nitruracion. [En línea] 14 de Julio de 2010. [Citado el: 10 de Noviembre de 2016.] <https://es.scribd.com/doc/34389675/carburizacion-y-nitruracion>.

MOLINA y REYES. *Efecto de la temperatura de carbonitruración utilizando medio difusor 30%nacn – 40%Na₂CO₃ – 30%nacl en el acero AISI 4140 sobre la resistencia al desgaste, dureza superficial, dureza en el núcleo y espesor de capa*. Trujillo : Universidad Nacional de Trujillo, 2015, párr. 88.

MURRAY Garcia, Harry. Controles de calidad en la fabricacion de un Rodete Peltron. [En línea] 2005 párr. 12. [Citado el: 2 de diciembre de 2016.] http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/murray_ge/murray_ge.PDF.

PELAFOX Martinez, Manuel. *Modelacion de la carburizacion y temple de aceros.* Universidad Autonoma de Nuevo Leon. Nuevo Leon : s.n., 2006, párr. 43. pág. 128, Tesis Postgrado.

RODRIGUEZ Morales, E., y otros. *Estudio Numerico del Tratamiento de Carburizacion de aceros.* Universidad Autonoma de Mexico. Mexico : s.n., 2015, párr. 85. pág. 149.

RUBEN, Alvarado. Minería Online. [En línea] Diciembre de 2016. [Citado el: 07 de Junio de 2017.] www.mineriaonline.com.pe.

RUIZ Torres, BRAYAM y CAMACHO, Juan. Efecto del tiempo de carburización en el acero aisi 3215 utilizando medio difusor: 80% viruta de fundición gris y 20% baco3, sobre la resistencia a la tracción, ductilidad, espesor de capa, dureza superficial y dureza en el núcleo. [En línea] junio de 2016, párr. 212. [Citado el: 2 de noviembre de 2016.] <http://dspace.unitru.edu.pe/xmlui/handle/UNITRU/3846>.

SMITH, William. *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*". New York; E.UA. : 3ra. Ed., Edit. Mc Graw Hill -, 2010.

SUGANUMA, Karth. Proc. of the World Congress on Powder Metallurgy, Kyoto, Japón. [En línea] 2008. [Citado el: 21 de septiembre de 2016.] <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/articloe/download/570/580>.

TAIPE Porras, Luigui. *Influencia del Contenido de Vanadio en recubrimientos duros.* Pontificia Catolica del Peru. Lima : s.n., 2013, párr. 21. pág. 79.

Univeridad Tecnica Nacional de Mexico. [En línea] Metalografía y tratameintos termicos, 2013. [Citado el: 03 de septiembre de 2016.] https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/mecanica/5_anio/metalografia/13.Nitruracion_v2.pdf.

Alvarez Rodriguez y Mejia Campos. Efecto del tiempo de permanencia en el tratamiento criogenico de probetas carburizadas en el acero AISI 3115 sobre la resistencia al desgaste, resistencia al impacto y dureza. 2018, pag. 47.

Raquel Beatriz Aleman Montaño. Evaluación del proceso de endurecimiento superficial de aun acero Sae: 1021 mediante carburización solida y posterior temple y revenido, UNASA, 2014, pag. 14.

Influencia de la temperatura de la carburización en la tenacidad a la fractura en el acero AISI 3215 por Ismael Purizaga [et al.] Trujillo: editorial UNT, 2015, pag. 1-11.

Askeland, Fulay, Wright. The Science and Engineering of Materials, [En línea]. 6. ed. Estados unidos: Cengage Learning. 2014. [fecha de consulta:16 de agosto de 2019]. ISBN: 13:978-0-495-29602-7

M.Senthil Kumar, “Effect of heat treatment on fatigue strength of steel”, International Journal of Vol. 10 No.50 (2015).

Disponible en:

<https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA466052714&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=19950772&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon%7Ea05e4e85>

Senthil Kumar, Ragunathan y Srinivasan. Effect of heat treatment on the fatigue behavior of end steel [En línea]. India: Department of mechanical engineering, Sona College of Technology, Salem, 2016 [fecha de cosulta: 10 de agosto de 2018]. Vol. 11

ISSN: 1819-6689

Luna, Ortiz. Tratamiento termoquimico en un acero AISI 8620 mediante cementación solida utilizando rebaba de hierro gris [En línea]. Enero – marzo 2014, n.º 5 [fecha de cosulta: 10 de agosto de 2018].

Disponible en: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2014/03/05/tratamiento-termoquimico-en-un-acero-aisi-8620-mediante-cementacion-solida-utilizando-rebaba-de-hierro-gris/>

Verdiere, Bejar, Castro y Crebolder. Heat Treatment, Microstructure and properties of 75 CR11 Steel, for use in heavy loaded elements [En línea]. 2016, p.p. 40-43. [fecha de consulta: 3 de julio de 2018].

ISSN: 13130226

Calring Instrument. Digital Rockwell Hardness Tester [En línea]. Phase II 354, [fecha de consulta: 3 de julio de 2018].

Disponible en: <https://calright.com/wp-content/uploads/2018/03/3030.pdf>

Miranda, Laura. Cementación solida de un acero de bajo carbono empleando carbon vegetal y conchas marinas como activador ecologico [En línea]. 2016, pag. 48 – 109.

Pacheco, Quezada y Purizaga. Efecto del tiempo de carburización y tiempo de carbonitruración sobre la templabilidad, resistencia al desgaste y dureza superficial en el acero AISI 1020 [En línea]. [fecha de consulta: 9 de junio de 2020]. Disponible en:

<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12049/PACHECO%20DE%20LA%20CRUZ%2c%20Frank%20Harold%3bQUEZADA%20ROJAS%2c%20Gianfranco%20Joel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Piñeiros, Porras y Bohorquez. Analisis de la influencia de la cementación en el tratamiento térmico de temple desde temperaturas intercriticas y revenido acero AISI / SAE 8620 [En línea]. 2016, [Último acceso: 11 de junio de 2020].

Disponible en:

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4788/Pi%F1erosTorre;jsessionid=8BB7325E95E1863DE33CF1F0C95F7032?sequence=1>

Rivera Grisales, Sebastian. Determinación de los mecanismos de desgaste en un acero carbo-austemperado sometido al ensayo tribologico Disco-Disco. Tesis (Ingeniero Mecanico). Medellín: Universidad de Antioquia 2019. Pp. 17-23

Recomendaciones de velocidad de corrosión [En línea]. España: Garcés, Briceño, (01 de marzo de 2020). Disponible en:

<https://doi.org/10.21041/AlconpatInternacional/RecTec/2020-03-velocidaddecorrosion>

Linear Polarization Resisance and Corrosión Rate [En línea]. Estados Unidos: Copyright 2016 Pine Research Instrumentation. Disponible en: <https://pineresearch.com/shop/wp-content/uploads/sites/2/2016/07/DRA10086-Linear-Polarization-and-Corrosion-Rate-Overview-REV002.pdf>.

ANEXOS

Anexo N° 1: CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable Independiente: Tiempo de carburización	Tiempo de permanencia del acero en cámara de carburización (Ciencia e Ingeniería de Materiales, 2012, párr. 14)	Tiempo considerado de las piezas dentro de la caja para la formación de capa de cementado	Dimensión termoquímica	Tiempo en cámara de horno desde la llegada a la temperatura de carburización se mide en horas	Razón
Variable dependiente: Resistencia al desgaste	Pérdida de masa por unidad de tiempo que sufre un material al en contacto con otro material de mayor dureza (Groover, 1997, parr. 159)	Variación de las masas antes y después de ensayo de desgaste	Dimensión física	Pérdida de masa por unidad de tiempo al ser sometido al contacto con disco abrasivo se mide en g/hora.	Razón
Variable dependiente: Velocidad de corrosión	Pérdida de masa por unidad de tiempo y área, provocada por la reacción electroquímica o química entre un material y su entorno. (Hernandez, 2014, parr. 207)	Pérdida de masa determinado por muestras de sección constante y a un determinado tiempo de evaluación	Dimensión física	Pérdida de masa por unidad de tiempo y área, de las muestras sumergidas en medio acuoso. Se mide en Mpy (milesimas de pulgada por año)	Razón

Anexo N° 2: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS GENERALES DEL EXPERTO.

- Apellidos y Nombres: CELIZ SUÁREZ HENRY FLAVIO
- Profesión: INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
- Grado académico: SUPERIOR
- Actividad laboral actual:
SUPERVISOR DE OBRA, ESPECIALISTA EN MATERIALES
COMO ACEROS

INDICACIONES AL EXPERTO.

En la tabla siguiente, se propone una escala del 1 al 5, que va en orden ascendente del desconocimiento al conocimiento profundo. Marque con una "X" conforme considere su conocimiento sobre el tema de la tesis evaluada.

1 Ninguno	2 Poco	3 Regular	4 Alto	5 Muy alto
--------------	-----------	--------------	-----------	---------------

1. Sírvase marcar con una "X" las fuentes que considere han influenciado en su conocimiento sobre el tema, en un grado alto, medio o bajo.

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	GRADO DE INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS FUENTES EN SUS CRITERIOS		
	A (ALTO)	M (MEDIO)	B (BAJO)
a) Análisis teóricos realizados. (AT)	X		
b) Experiencia como profesional. (EP)	X		
c) Trabajos estudiados de autores nacionales. (AN)	X		
d) Trabajos estudiados de autores extranjeros. (AE)	X		
e) Conocimientos personales sobre el estado del problema de investigación. (CP)	X		

.....
Henry Flavio Céliz Suárez
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
REG. CIP. 86090

Firma del entrevistado

Anexo: Hoja de vida.

Estimado(a) experto(a):

El instrumento de recolección de datos a validar es un Cuestionario, cuyo objetivo (indicar el objetivo de la tesis).

Con el objetivo de corroborar la validación del instrumento de recolección de datos, por favor le pedimos responda a las siguientes interrogantes:

1. ¿Considera pertinente la aplicación de este cuestionario para los fines establecidos en la investigación?

Es pertinente: Poco pertinente: ___ No es pertinente: ___

Por favor, indique las razones:

SI PORQUE LAS PREGUNTAS VAN ENFOCADAS A LOS DATOS QUE SE QUIEREN OPTENER.

2. ¿Considera que el cuestionario formula las preguntas suficientes para los fines establecidos en la investigación?

Son suficientes: Insuficientes: ___

Por favor, indique las razones:

LAS PREGUNTAS SI SON SUFICIENTE PARA CONSEGUIR EL OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

3. ¿Considera que las preguntas están adecuadamente formuladas de manera tal que el entrevistado no tenga dudas en la elección y/o redacción de sus respuestas?

Son adecuadas: Poco adecuadas: ___ Inadecuadas: ___

Por favor, indique las razones:

LAS PREGUNTAS ESTAN ADECUADAMENTE FORMULADAS PARA OBTENER DATOS PRECISOS SOBRE LA INVESTIGACIÓN

4. Califique los items según un criterio de precisión y relevancia para el objetivo del instrumento de recolección de datos.

Item	Precisión			Relevancia			Sugerencias
	Muy precisa	Poco precisa	No es precisa	Muy relevante	Poco Relevante	Irrelevante	
1	X						
2	X						
3	X						
4	X						

5. ¿Qué sugerencias haría Ud. Para mejorar el instrumento de recolección de datos?

SE PODRIA REALIZAR PREGUNTAS ENTENDIBLES
PARA PUBLICO EN GENERAL Y TENER DE ESA
FORMA UN MEJOR ENTENDIMIENTO DEL TEMA.

Le agradecemos por su colaboración.

Fecha de evaluación:

.....
 Henry Flavio Céliz Suárez
 INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
 REG. CIP. 86090

Firma del Experto

Registro de datos de Ensayo de desgaste

OBSERVADOR: CARLOS ENRIQUE RODRÍGUEZ VARGAS					
MUESTRA: ACERO AISI 3115CARBURIZADO					
TIPO DE ENSAYO: DESGASTE					
INSTRUMENTOS PARA UTILIZAR EN EL REGISTRO DE OBSERVACION: a) BALANZA DIGITAL b) CRONOMETRO					
FECHA	CÓDIGO DE ENSAYO	MASA INICIAL (gramos)	MASA FINAL (gramos)	VARIACIÓN DE MASA (gramos)	TIEMPO DE ENSAYO (horas)
03/05/2017	D1	43.5800	43.4425	0.1375	1
04/05/2017	D2	44.2100	44.0975	0.1125	1
05/05/2017	D3	43.2600	43.1455	0.1145	1
06/05/2017	D4	43.5800	43.4575	0.1225	1
08/05/2017	D5	44.0500	43.9302	0.1198	1
09/05/2017	D6	44.2600	44.1766	0.0834	1
10/05/2017	D7	44.5800	44.5166	0.0634	1
11/05/2017	D8	43.6900	43.6226	0.0674	1
12/05/2017	D9	43.5700	43.4944	0.0756	1
13/05/2017	D10	44.2500	44.1802	0.0698	1
15/05/2017	D11	43.6900	43.6116	0.0784	1
16/05/2017	D12	44.4700	44.4166	0.0534	1
17/05/2017	D13	43.0100	42.9546	0.0554	1
18/05/2017	D14	44.0600	43.9875	0.0725	1
03/05/2017	D15	43.3600	43.3052	0.0548	1
04/05/2017	D16	43.0800	43.0193	0.0607	1
05/05/2017	D17	44.1700	44.1343	0.0357	1
06/05/2017	D18	43.5400	43.5023	0.0377	1
08/05/2017	D19	43.4100	43.3642	0.0458	1
09/05/2017	D20	44.0400	43.9832	0.0568	1
10/05/2017	D21	43.3900	43.3641	0.0259	1
11/05/2017	D22	44.5700	44.5464	0.0236	1
12/05/2017	D23	43.1600	43.1354	0.0246	1
13/05/2017	D24	44.0700	44.0442	0.0258	1
15/05/2017	D25	43.0500	43.0274	0.0226	1

Registro de datos obtenidos en el Ensayo de Corrosión

OBSERVADOR: CARLOS ENRIQUE RODRIGUEZ VARGAS								
MUESTRA: ACERO AISI 3115CARBURIZADO								
TIPO DE ENSAYO: CORROSION – METODO GRAVIMETRICO								
INSTRUMENTOS PARA UTILIZAR EN EL REGISTRO DE OBSERVACION								
<ul style="list-style-type: none"> • Balanza digital • Cronometro • Vernier digital 								
FECHA	CODIGO DE ENSAYO	MASA INICIAL (gramos)	MASA FINAL (gramos)	VARIACION DE MASA (gramos)	TIEMPO DE ENSAYO (días)	LONGITUD DE MUESTRA (mm)	DIAMETRO DE MUESTRA (mm)	AREA EXPUESTA (mm ²)
03/05/2017	C1	43.5899	43.5511	0.0388	28	20	22.5	2042.0400
04/05/2017	C2	44.2199	44.1821	0.0378	28	20	22.5	2042.0400
05/05/2017	C3	43.2699	43.2330	0.0369	28	20	22.5	2042.0400
06/05/2017	C4	43.5899	43.5516	0.0383	28	20	22.5	2042.0400
08/05/2017	C5	44.0599	44.0219	0.0381	28	20	22.5	2042.0400
09/05/2017	C6	44.2699	44.2363	0.0336	28	20	22.5	2042.0400
10/05/2017	C7	44.5899	44.5570	0.0329	28	20	22.5	2042.0400
11/05/2017	C8	43.6999	43.6691	0.0308	28	20	22.5	2042.0400
12/05/2017	C9	43.5799	43.5467	0.0333	28	20	22.5	2042.0400
13/05/2017	C10	44.2599	44.2268	0.0331	28	20	22.5	2042.0400
15/05/2017	C11	43.6999	43.6755	0.0244	28	20	22.5	2042.0400
16/05/2017	C12	44.4799	44.4582	0.0217	28	20	22.5	2042.0400
17/05/2017	C13	43.0199	42.9952	0.0247	28	20	22.5	2042.0400
18/05/2017	C14	44.0699	44.0469	0.0231	28	20	22.5	2042.0400
03/05/2017	C15	43.3699	43.3475	0.0224	28	20	22.5	2042.0400
04/05/2017	C16	43.0899	43.0759	0.0140	28	20	22.5	2042.0400
05/05/2017	C17	44.1799	44.1640	0.0159	28	20	22.5	2042.0400
06/05/2017	C18	43.5499	43.5361	0.0138	28	20	22.5	2042.0400
08/05/2017	C19	43.4199	43.4050	0.0150	28	20	22.5	2042.0400
09/05/2017	C20	44.0499	44.0345	0.0154	28	20	22.5	2042.0400
10/05/2017	C21	43.3999	43.3887	0.0112	28	20	22.5	2042.0400
11/05/2017	C22	44.5799	44.5672	0.0127	28	20	22.5	2042.0400
12/05/2017	C23	43.1699	43.1580	0.0119	28	20	22.5	2042.0400
13/05/2017	C24	44.0799	44.0680	0.0120	28	20	22.5	2042.0400
15/05/2017	C25	43.0599	43.0476	0.0123	28	20	22.5	2042.0400

ANEXO 3. SECUENCIA DE TRATAMIENTO TERMOQUÍMICO DE CARBURIZACIÓN EN CAJA PARA EL ACERO AISI 3115

Secuencia de Tratamiento Termoquímico de Carburación en Caja para el Acero AISI 3115

a) Construcción de caja para carburación

La construcción de la caja para el proceso de carburación sólida no precisa de formulación matemática, pero debe cumplir con los requisitos como el Volumen, este debe estar de acuerdo al volumen del horno eléctrico donde se realizara el proceso, el material con el que se ha confeccionado la caja es el acero ASTM A36, un material resistente a la temperatura del proceso de carburación ya que mantiene su estado sólido a dicha temperatura, las dimensiones de la caja son: 25 cm de largo, 15 cm de ancho y 15 cm de altura. El tipo de soldadura que se utilizo fue de Arco eléctrico con electrodo código E6010 de 1/8 de pulgada, mientras que el Amperaje fue de 90A.



b) Acondicionamiento del carbón vegetal como carburante

El carbón vegetal utilizado como medio carburante debe ser de bajas cantidades de azufre por los gases que estos generan. El carbón debe ser molido a término medio, esta molienda se realizó artesanalmente, obteniendo diferentes tamaños de partículas de carbón con el fin de completar vacíos entre ellos. Una vez realizado la molienda se procede a colocar el carbón en la caja metálica construida, el carbón debe rodear y cubrir las piezas a carburar, se recomienda dejar un espacio vacío en la caja con el propósito de que en dicho vacío se realice la reacción termoquímica. Finalmente la caja es cerrada y sellada con arcilla a fin de restringir el acceso del oxígeno del aire, de tal manera que la cámara interna de la caja quede hermética no oxidante, pues de pasar, se daría un proceso inverso a la carburación, el cual se debe evitar.



a) Operación del horno eléctrico

El horno eléctrico debe ser encendido unos 40 minutos antes de introducir la caja, con el propósito de que vaya alcanzando la temperatura de carburación, una vez que la caja ha sido sellada con arcilla y el horno eléctrico va alcanzando la temperatura adecuada, se introduce la caja en el horno dejando que este alcance la temperatura de carburación (980°C) para que de esta manera el aire atrapado en el interior de la caja sea el necesario para la transición de monóxido de carbono a dióxido de carbono, con la correspondiente liberación de un átomo de carbono, el cual mediante el proceso de difusión ingresa por los espacios intersticiales a la red de átomos de hierro de las piezas sometidas al proceso de carburación. El proceso de transición de óxidos de carbono se realiza en el rango de temperaturas entre 920 y 980 °C. Así el tiempo de permanencia en la cámara interna del horno se mide una vez que este alcanza los 920°C de acuerdo a los rangos establecidos en el estudio. La temperatura alcanzada permite además la transformación de fase austenita, en la cual la difusión del carbono es alta en la superficie de hierro.



ANEXO 4. ENSAYOS DE DESGASTE Y CORROSIÓN

Ensayo de Desgaste.

Los valores de resistencia al desgaste se obtienen de la siguiente expresión:

$$RD = \frac{m_0 - m_f}{T}$$

Donde:

RD: Resistencia al desgaste.

m₀: Masa antes del ensayo.

m_f: Masa después del ensayo.

T: tiempo de ensayo

De acuerdo a los datos promedios obtenidos de la hoja de registro "Ensayo de Desgaste".

Tenemos:

a) Para la probeta del tipo A tenemos:	$RD = \frac{43.718 - 43.655 (g)}{1 (h)}$
$RD = \frac{43.736 - 43.614 (g)}{1 (h)}$	$RD = 0.0629 g/h$
$RD = 0.12136 g/h$	d) Para la probeta del tipo D tenemos:
b) Para la probeta del tipo B tenemos:	$RD = \frac{43.648 - 43.600 (g)}{1 (h)}$
$RD = \frac{44.7 - 43.998 (g)}{1 (h)}$	$RD = 0.0473 g/h$
$RD = 0.07192 g/h$	e) Para la probeta del tipo E tenemos:
c) Para la probeta del tipo C tenemos:	$RD = \frac{43.648 - 43.6235 (g)}{1 (h)}$
	$RD = 0.0245 g/h$

Valores promedio de la pérdida de masa por unidad de tiempo de los aceros carburizados a diferentes tiempos.

Tiempo de Carburización (Horas)	Variación de masa (gramos)	Tiempo de ensayo (horas)	Pérdida de masa por unidad de tiempo (g/hora)
0	0.1215	1	0.1215
0.5	0.0714	1	0.0714
1	0.0624	1	0.0624
2	0.0447	1	0.0447
4	0.0247	1	0.0247

Ensayo de corrosión

Las ecuaciones para el cálculo de la velocidad de corrosión y/o resistencia a la corrosión fueron:

$$V_c = \frac{P_m (g)}{t_e (días) * A_s (cm^2)}$$

$$P_e = V_c \left(\frac{g}{días * cm^2} \right) * \left(\frac{1}{d} \right)$$

Donde:

V_c : Velocidad de corrosión.

P_m : Pérdida de masa por unidad de tiempo.

t_e : Tiempo de ensayo.

A_s : Área sumergida.

P_e : Pérdida de espesor.

De acuerdo a los datos promedio obtenidos de la hoja de registro "Ensayo de corrosión".

tenemos:

a) Para las probetas AC, tenemos:

$$V_c = \frac{0.0388 (g)}{28(días) * 2208.9375 (cm^2)} \quad VP_e = 0.0000627323 * \left(\frac{1}{0.12738854} \right)$$

$$V_c = 0.0000627323 \frac{g}{(días * cm^2)} \quad VP_e = 1.14836723 mpy$$

b) Para las probetas BC, tenemos:

$$V_c = \frac{0.0336 (g)}{28(días) * 2208.9375 (cm^2)} \quad VP_e = 0.0000543249 * \left(\frac{1}{0.12738854} \right)$$

$$V_c = 0.0000543248 \frac{g}{(días * cm^2)} \quad VP_e = 0.99446234 mpy$$

c) Para las probetas CC, tenemos:

$$V_c = \frac{0.0244 (g)}{28(dias) * 2208.9375 (cm^2)} \quad VP_e = 0.0000394502 * \left(\frac{1}{0.12738854}\right)$$

$$V_c = 0.0000394501 \frac{g}{(dias * cm^2)} \quad VP_e = \mathbf{0.72216908 \text{ mpy}}$$

d) Para las probetas DC, tenemos:

$$V_c = \frac{0.014 (g)}{28(dias) * 2208.9375 (cm^2)} \quad VP_e = 0.0000226354 * \left(\frac{1}{0.12738854}\right)$$

$$V_c = 0.0000226353 \frac{g}{(dias * cm^2)} \quad VP_e = \mathbf{0.41435931 \text{ mpy}}$$

e) Para las probetas DC, tenemos:

$$V_c = \frac{0.0112 (g)}{28(dias) * 2208.9375 (cm^2)} \quad VP_e = 0.0000181083 * \left(\frac{1}{0.12738854}\right)$$

$$V_c = 0.0000181083 \frac{g}{(dias * cm^2)} \quad VP_e = \mathbf{0.33148745 \text{ mpy}}$$

Datos promedio del cálculo de velocidad de corrosión de las muestras de acero AISI 3115 carburizadas a diferentes tiempos.

Tiempo Carbur. (horas)	Variación de masa (gramos)	Diam. (mm)	Long. (mm)	Área total (mm ²)	Tiempo de ensayo (días)	Velocidad Corrosión (g/cm ² *día)	Densidad Acero ⁻¹ cm ³ /g	Velocidad Corrosión Mpy
0	0.0388	22.5	20	2208.9323	28	0.0000627323	0.12738854	1.14836723
0.5	0.0336	22.5	20	2208.9323	28	0.0000543249	0.12738854	0.99446234
1	0.0244	22.5	20	2208.9323	28	0.0000394502	0.12738854	0.72216908
2	0.014	22.5	20	2208.9323	28	0.0000226354	0.12738854	0.41435931
4	0.0112	22.5	20	2208.9323	28	0.0000181083	0.12738854	0.33148745

La tabla 3.2 muestra la forma de cálculo de la velocidad de corrosión en mpy de las muestras de acero AISI 3115 carburizadas en caja a diferentes de tiempos de proceso, por el método gravimétrico, de acuerdo a las ecuaciones expuestas anteriormente, de ellos se aprecia la disminución de la velocidad de corrosión y por ende el incremento de la resistencia a la corrosión de las muestras carburizadas según se incrementa el tiempo de carburización.

ANEXO 5. EQUIPOS DE ENSAYOS



Figura A. Horno eléctrico tipo mufla utilizado en la presente investigación. Temperatura máxima = 1200°C

Fuente: Elaboración Propia.



Figura B. Balanza digital. ± 0.0001 g

Fuente: Elaboración Propia.



Figura C. Durómetro digital a utilizar.
Escala de medida: HRC

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO 6. SOFTWARE ORIGINLAB 9.0

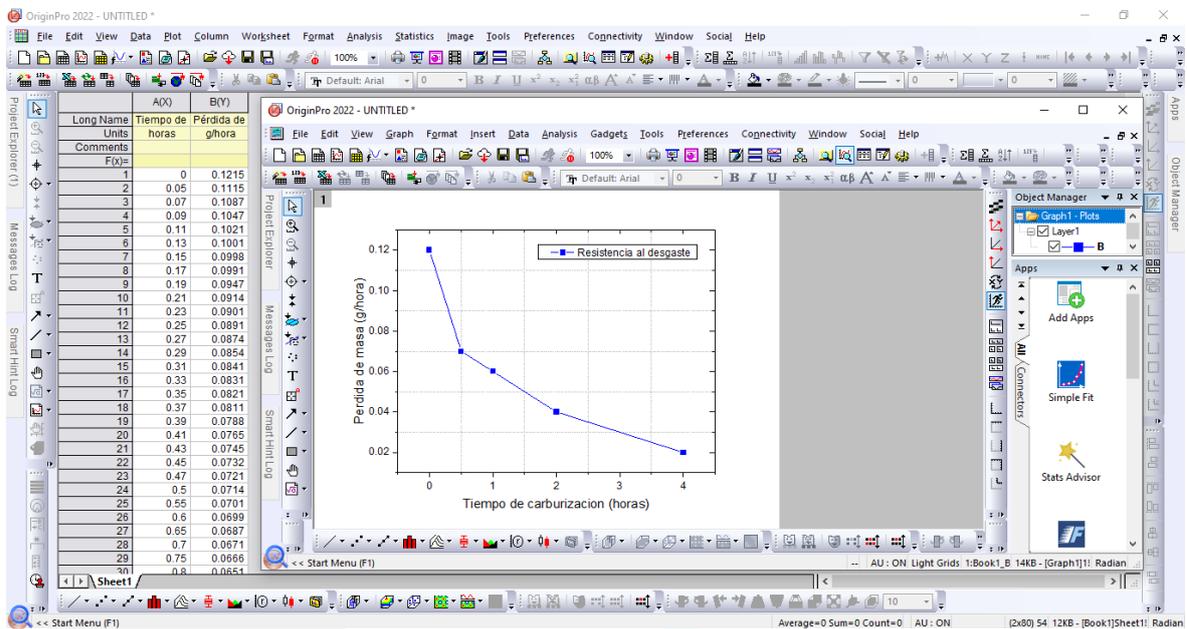


Diagrama A. Resistencia al desgaste.
Fuente: Elaboración Propia.

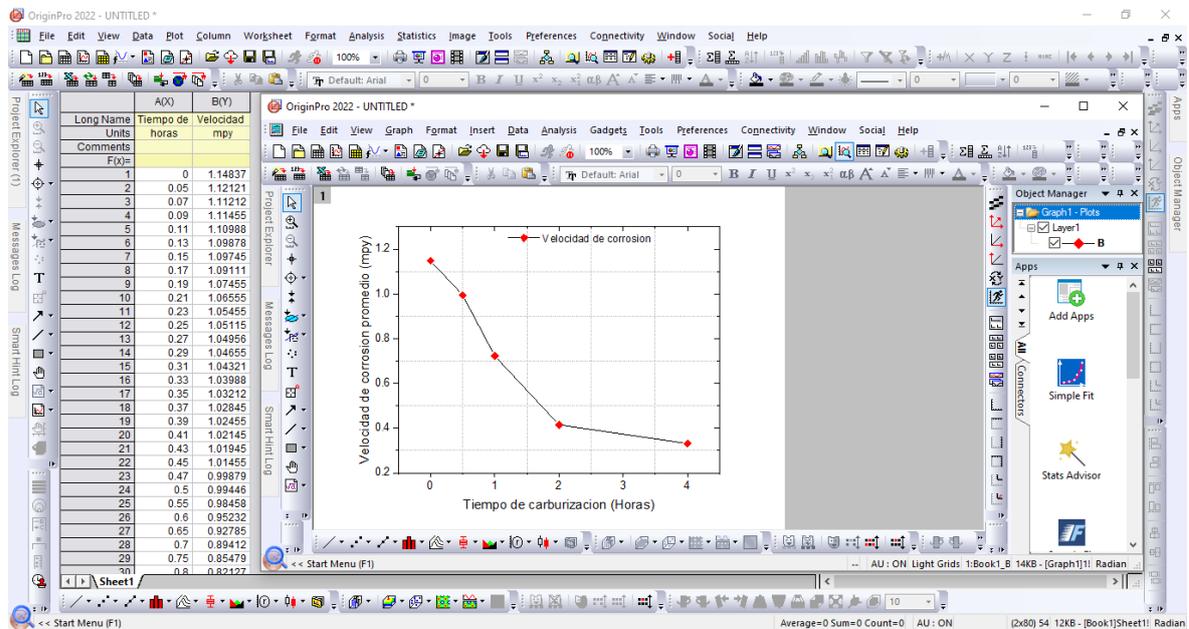


Diagrama B. Velocidad de corrosión.
Fuente: Elaboración Propia.