

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



**TRATAMIENTO TERMOQUÍMICO DE
CEMENTACIÓN Y SU INCIDENCIA EN LA DUREZA
DE PINES DE ACERO SAE 1045 PARA BRAZO
HIDRÁULICO DE RETROEXCAVADORA CAT 420D**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO

ARTHUR EMERSON LLANOS OJEDA

Callao, 2018

PERÚ

DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis lo dedico a mi familia por su constante apoyo para lograr un objetivo más en la vida. A mi compañera de vida por su constante motivación y apoyo en cada objetivo propuesto.

ÍNDICE

INDICE DE FIGURAS.....	5
INDICE DE TABLAS	8
RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	12
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2.1 Problema general.....	13
1.2.2 Problemas específicos	13
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
1.3.1 Objetivo general.....	14
1.3.2 Objetivos específicos	14
1.4 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.5 JUSTIFICACIÓN	16
1.5.1 Justificación tecnológica	16
1.5.2 Justificación económica	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
2.2 BASES TEÓRICAS.....	18
2.2.1 Leyes de Fick.....	18
2.2.2 Cementación.....	21
2.2.3 Hornos para tratamientos térmicos	32
2.2.4 Acero SAE 1045.....	37
2.2.5 Dureza	41
2.2.6 Retroexcavadoras	46
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	48

2.3.1	Tratamientos térmicos aplicados al acero SAE 1045.....	48
2.3.2	Esfuerzos en elementos mecánicos.....	59
2.3.3	Desgaste de elementos mecánicos	61
2.3.4	Microestructura de los aceros	70
2.3.5	Relación entre desgaste y dureza.....	75
2.4	DEFINICIONES DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	77
CAPÍTULO III VARIABLES E HIPÓTESIS.....		78
3.1	IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES	78
3.2	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	78
3.3	HIPÓTESIS	79
CAPÍTULO IV METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		80
4.1	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	80
4.1.1	Parámetros de diseño.....	80
4.1.2	Etapas del diseño.....	81
4.1.3	Ingeniería de detalle.....	82
4.1.4	Análisis de costos	103
4.2	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	103
4.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN DOCUMENTAL	104
4.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO	104
4.5	ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS	104
CAPÍTULO V RESULTADOS.....		105
5.1	CEMENTACIÓN SOLIDA PARA PIN DE ACERO SAE 1045	105
5.2	CEMENTACIÓN LÍQUIDA PARA PIN DE ACERO SAE 1045	105
5.3	CEMENTACIÓN GASEOSA PARA PIN DE ACERO SAE 1045.....	106
5.4	MICROESTRUCTURA DEL PIN DE ACERO SAE 1045.....	106
5.5	ESFUERZO MÁXIMO DE FLEXIÓN	107
5.6	ESFUERZO MÁXIMO A CORTE.....	107

5.7 TENSIÓN MÁXIMA ENTRE PIN Y BOCINA	107
CAPÍTULO VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	108
6.1 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	108
6.2 CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS CON ESTUDIOS SIMILARES.....	109
6.3 RESPONSABILIDAD ÉTICA.....	109
CAPÍTULO VII CONCLUSIONES	110
CAPÍTULO VIII RECOMENDACIONES	111
CAPÍTULO IX REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
CAPÍTULO X ANEXOS	116

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.2.1 Gradiente de concentración	19
Figura 2.2.2 Función error	21
Figura 2.2.3 Diagrama de hierro-carbono	23
Figura 2.2.4 Tratamiento termoquímico de cementación	24
Figura 2.2.5 Capa cementada al microscopio.....	25
Figura 2.2.6 Cementación sólida	28
Figura 2.2.7 Cementación sólida	28
Figura 2.2.8 Cementación gaseosa y reacciones	29
Figura 2.2.9 Cementación líquida	31
Figura 2.2.10 Horno para temple	32
Figura 2.2.11 Hornos para tratamiento térmico	33
Figura 2.2.12 Hornos de enfriamiento rápido.....	34
Figura 2.2.13 Horno de enfriamiento rápido con vacío	34
Figura 2.2.14 Horno de revenido	35
Figura 2.2.15 Horno de paso continuo y horno de cadenas para carburación de acero	35
Figura 2.2.16 Horno de cementación de acero con tambor rotativo continuo	36
Figura 2.2.17 Horno para carbonitrar	36
Figura 2.2.18 Acero SAE 1045 en barra	38
Figura 2.2.19 Metalografía del acero SAE 1045	39
Figura 2.2.20 Metalografía del acero SAE 1045	40
Figura 2.2.21 Procedimiento Brinell	42
Figura 2.2.22 Dureza Rockwell	44
Figura 2.2.23 Especificación de penetrador y carga en los distintos ensayos Rockwell	45
Figura 2.2.24 Ensayos de dureza	46
Figura 2.2.25 Retroexcavadora CAT 420D	46
Figura.2.2.26 Posición de excavación de la retroexcavadora CAT 420D	48

Figura 2.3.1 Tratamiento de temple	50
Figura 2.3.2 Revenido.....	51
Figura 2.3.3 Refrigeración criogénica	52
Figura 2.3.4 Análisis de falla	55
Figura 2.3.5 Nitruración gaseosa	57
Figura 2.3.6 Análisis metalográfico del acero SAE 1045 sometido a nitruración gaseosa.....	58
Figura 2.3.7 Esfuerzos normales	60
Figura 2.3.8 Esfuerzo cortante.....	61
Figura 2.3.9 Desgaste por adherencia.....	62
Figura 2.3.10 Desgaste adhesivo	63
Figura 2.3.11 Desgaste por abrasión.....	64
Figura 2.3.12 Desgaste por abrasión.....	64
Figura 2.3.13 Desgaste por ludimiento	65
Figura 2.3.14 Desgaste por fatiga.....	66
Figura 2.3.15 Desgaste por erosión por fluidos	67
Figura 2.3.16 Desgaste por erosión.....	68
Figura 2.3.17 Desgaste por cavitación.....	69
Figura 2.3.18 Picaduras por cavitación.....	69
Figura 2.3.19 Microestructura de ferrita	70
Figura 2.3.20 Microestructura de cementita.....	71
Figura 2.3.21 Microestructura de perlita	72
Figura 2.3.22 Microestructura de austenita.....	73
Figura 2.3.23 Microestructura de martensita	74
Figura 2.3.24 Microestructura de bainita.....	74
Figura 4.1.1 Pin de marca CTP para Retroexcavadora CAT 420 D.....	82
Figura 4.1.2 Bocina de marca CTP para retroexcavadora CAT 420 D	83
Figura 4.1.3 Referencia de articulación mecánica de pin y bocina, marca CTP, para retroexcavadora CAT 420 D	84
Figura 4.1.4 Ensayo de dureza de pin CTP	85
Figura 4.1.5 Ensayo de dureza de bocina CTP	86

Figura 4.1.6 Función error	90
Figura 4.1.7 Relación de porcentaje de carbono y dureza en elementos templados	91
Figura 4.1.8 Análisis metalográfico a pin de acero SAE 1045	92
Figura 4.1.9 Resultados de análisis metalográfico a pin de acero SAE 1045.....	93
Figura 4.1.10 Microestructura de la superficie del acero SAE 1045	94
Figura 4.1.11 Micrografía a la superficie del pin de acero SAE 1045.....	95
Figura 0.1 Pin y bocina	99
Figura 0.2 Esquema de fuerzas y momento flector.....	100
Figura 5.1.1 Probeta de acero SAE 1045 sometida a cementación sólida	105
Figura 5.2.1 Cementación líquida de pin de acero SAE 1045	105
Figura 5.3.1 Cementación gaseosa	106

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.2.1 Aleación promedio del acero SAE 1045.....	37
Tabla 2.2.2 Características del acero SAE 1045	37
Tabla 3.2.1 Operacionalización de variables	78
Tabla 4.1.1 Parámetros de diseño	80
Tabla 4.1.2 Estimación de las horas de trabajo en función de la dureza .	88
Tabla 4.1.3 Coeficiente de difusión.....	88
Tabla 0.1 Relación de dureza y desgaste.....	96
Tabla 0.2 Cuadro de costos de producción	103
Tabla 4.3.1 Recolección de datos.....	104
Tabla 5.3.1 Tratamientos de cementación aplicados.....	106

RESUMEN

La investigación realizada es de tipo aplicada a nivel descriptivo. Esta buscó determinar la incidencia del tratamiento termoquímico de cementación en la dureza de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D. El estudio se realizó específicamente en los pines que conectan el brazo hidráulico y el cucharón de la retroexcavadora. Para esto se realizó pruebas en probetas de acero SAE 1045 sometidas a los tipos de cementación existentes encontrando un incremento considerable en la dureza y cambios en su microestructura, asimismo, se realizó un análisis de estos resultados con la finalidad de aplicarlos ante los efectos del desgaste a los que son sometidos los pines del brazo hidráulico de la retroexcavadora CAT 420D. El tratamiento termoquímico de cementación es un tratamiento que tiene un costo relativamente bajo por lo cual genera en una reducción en los costos de fabricación de pines, logrando una nueva opción ante el precio ofrecido por el fabricante de la maquina retroexcavadora CAT 420D, a la vez, con la resistencia mecánica adecuada.

Palabras clave:

Cementación, dureza, pines, acero SAE 1045

ABSTRACT

The research carried out is of the type applied at the descriptive level. This sought to determine the incidence of the thermochemical cementing treatment on the hardness of steel pins SAE 1045 for hydraulic backhoe loader CAT 420D. The study was carried out specifically on the pins that connect the hydraulic arm and the bucket of the backhoe. For this, tests were carried out on SAE 1045 steel samples subjected to the existing types of cementing, finding a considerable increase in hardness and changes in their microstructure, and an analysis of these results was carried out in order to apply them to the effects of wear. to which the hydraulic arm pins of the CAT 420D backhoe are subjected. The thermochemical treatment of cementation is a treatment that has a relatively low cost which generates a reduction in the costs of manufacturing pins, achieving a new option at the price offered by the manufacturer of the backhoe loader CAT 420D, at the same time , with the adequate mechanical resistance.

Keywords:

Cementation, hardness, pines, steel SAE 1045

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis tiene por objetivo determinar la incidencia del tratamiento termoquímico de cementación en la dureza en pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D. Asimismo se analiza los costos y otros parámetros en la fabricación de pines.

La importancia de esta investigación esta en tener una propuesta adicional a la fabricación de pines de acero SAE 1045, que sea de menor costo a la brindada por el fabricante y que goce de confiabilidad.

En nuestro país no se encuentra muchas investigaciones al respecto sin embargo a nivel internacional se ha podido encontrar interés por el uso del acero propuesto en la investigación.

En el capítulo I se aborda el planteamiento del problema, objetivos, limitaciones y justificación de investigación realizada.

El capítulo II se muestra las investigaciones de referencia, conceptos teóricos y términos básicos, de la investigación.

En el capítulo III encontraremos las hipótesis y variables que se manejaron en el estudio.

El capítulo IV se define el tipo y diseño de la investigación asimismo se realiza cálculos de los parámetros de diseño y un análisis de costos del objetivo de estudio.

En el capítulo V se encuentran los resultados hallados.

En el capítulo VI aborda la discusión de los resultados encontrados, contrastando con las hipótesis planteadas y estudios similares hechos con anterioridad.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Las maquinas retroexcavadoras son fundamentales para las labores de construcción por lo que realizan trabajos aplicando fuerzas de gran magnitud, es por ello que sus elementos mecánicos también están expuestos a ellos. Uno de estos elementos son los pines del brazo hidráulico que articulan y transmiten la fuerza de los pistones hidráulicos.

Los pines están expuestos, por lo general, a fuerzas radiales y al efecto de desgaste por lo tanto deben tener propiedades especiales y una de ellas es la dureza que contrarresta el efecto de desgaste y tener una buena resistencia mecánica para soportar los esfuerzos de las fuerzas radiales, ante esto se emplean aceros especiales que por lo general tienen un precio elevado al igual que los pines ofrecidos por el fabricante de la máquina retroexcavadora.

Con un adecuado tratamiento termoquímico se puede lograr que materiales como el acero SAE 1045, pueda ser empleado como pin de brazo hidráulico de retroexcavadora al mejorar su dureza superficial y así soportar los efectos del desgaste, como caso particular en las retroexcavadoras CAT 420D.

El acero SAE 1045 es un acero con un costo bajo en el mercado por lo que se busca que, sea considerado como una opción ideal y rentable para cumplir la función de pin de brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

- ¿En qué medida un tratamiento termoquímico de cementación incide en la dureza de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D?

1.2.2 Problemas específicos

1. ¿Cuál es la influencia del tratamiento termoquímico de cementación en la microestructura de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D?
2. ¿Cuál es la influencia del tratamiento termoquímico de cementación en el costo de fabricación de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Determinar la incidencia del tratamiento termoquímico de cementación en la dureza de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar la influencia del tratamiento termoquímico de cementación en la microestructura de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D.
2. Determinar la influencia del tratamiento termoquímico de cementación en el costo de fabricación de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D.

1.4 Delimitación de la investigación

- Se tomó en cuenta los pines de acero SAE 1045 que se ubican en la unión entre el brazo hidráulico de la retroexcavadora CAT 420D y su cucharón.
- No se consideró la fabricación de equipos para realizar el tratamiento termoquímico de cementación.
- No se realizó la implementación de equipos para realizar el tratamiento termoquímico de cementación.
- Los costos de cementación y fabricación fueron en función a los ofrecidos por los proveedores existentes en el mercado.
- Se realizó el análisis microestructural a la pieza sometida a cementación líquida.

1.5 Justificación

1.5.1 Justificación tecnológica

La investigación tiene una justificación tecnológica ya que se propone utilizar el tratamiento termoquímico de cementación para mejorar la propiedad de dureza en pines de acero SAE 1045 y puedan ser empleados en el brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420 D.

1.5.2 Justificación económica

El uso del tratamiento termoquímico de cementación en pines de acero SAE 1045 busca generar un ahorro frente a los repuestos ofrecidos por el fabricante de retroexcavadoras CAT 420 D.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

El artículo presentado por: Leonardo J. Bellaiza, Yeison D. Clavijo, Karen Galindez, Gino A. Garzón, Luisa F. Quintero, Hugo F. Martínez y Baudin Seth E. en la revista Memorias I Simposio de Materiales Poliméricos, volumen N° 79 n2 – suplemento 1, capítulo **Cementación Sólida de un Acero al carbono AISI/SAE 1045**, Cali-Colombia 2015, Se realizó pruebas buscando la mejora de las propiedades mecánicas del acero SAE 1045 mediante la aplicación del tratamiento termoquímico de cementado sólido obteniendo durezas entre los 62 HRC y 63 HRC evidenciando que mediante este tratamiento se logra incrementar la dureza del acero SAE 1045.

Oscar E. Ríos, Claudia P. Serna, Rufino Medina, Ricardo E. Aristizábal en su trabajo de investigación, **Diseño e Implementación de un Sistema de Cementación Gaseosa para el Tratamiento Superficial de Aceros** en la Revista Colombiana de Materiales, No. 8, Medellín-Colombia 2016. La investigación busca diseñar e implementar un sistema de cementación gaseosa, se realizó pruebas con un acero SAE 1020 logrando mejoras favorables en la dureza mediante un proceso controlado optimizando los recursos.

Se consideró el trabajo de investigación realizado por Alcántara Borges, Dayanis; Fernández Columbié, Tomás Hernaldo; Rodríguez González, Isnel, **Comportamiento al desgaste en pasadores fabricados de acero AISI 1045, Saarbrucken 2013.**

Este trabajo investigó la influencia del desgaste en pasadores SAE 1045 que forman parte de equipos de laboreo minero concluyendo que es posible estimar la dureza del acero AISI 1045 tratado térmicamente.

En la investigación de Bolaños Portugal María Elizabeth **Predicción de la templabilidad de un acero SAE: 1045 y la relación entre las microestructuras formadas por temple y auto-revenido**, de la Universidad Nacional de San Agustín - Facultad de ingeniería de procesos – Escuela profesional de ingeniería de materiales, Arequipa – Perú 2014. Se hace referencia al estudio de la capacidad de endurecimiento del acero SAE 1045 mediante los métodos de temple y revenido, logrando resultados favorables sin perder la tenacidad del acero SAE 1045.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Leyes de Fick

Las leyes de Fick son aquellas que describen el proceso de difusión de átomos, las cuales en este caso, se aplican al proceso de cementación. (ALEMAN Montaña, 2014)

- Primera ley de Fick

Esta se relaciona a la velocidad con la cual se difunden los átomos de un material. Se define como el número de átomos que pasa a través de un plano de superficie unitaria por unidad de tiempo. (ALEMAN Montaña, 2014)

$$J = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

Donde:

J = Flujo de átomos (*átomos*/*s.cm*²)

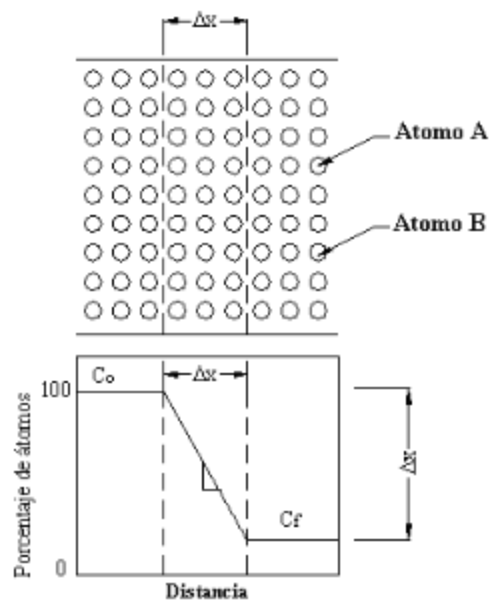
D = Difusividad o coeficiente de difusión (*cm*²/*s*)

$\frac{\Delta c}{\Delta x}$ = Gradiente de concentración

El signo negativo indica el movimiento de los átomos de la zona de alta concentración hacia la baja concentración. (ALEMAN Montaña, 2014)

Gradiente de concentración: refiere a como varía la composición del material respecto a la distancia.

Figura 2.2.1 Gradiente de concentración



Fuente: (ALEMAN Montaña, 2014)

Coefficiente de difusión: Relacionado con la ecuación de Arrhenius.

$$D = D_0 x e^{\frac{-Q}{RT}}$$

Q = Energía de la activación de la difusión.

R = Constante ideal de los gases

T = Temperatura absoluta (°K)

D_0 = Constante que depende de parámetro de red y vibración de átomos (cm^2/s)

El coeficiente de difusión y la densidad de flujo están relacionados directamente proporcional con la temperatura del material. A mayores temperaturas, los átomos se desplazan con mayor facilidad entre la red, por ello que los tratamientos térmicos requieren de temperaturas elevadas. (ALEMAN Montaña, 2014)

- Segunda ley de Fick

La segunda ley de Fick describe la difusión dinámica de los átomos expresada en:

$$\frac{dc}{dx} = D \frac{d^2y}{dx^2}$$

Teniendo por solución:

$$\frac{C_s - C_x}{C_s - C_0} = \text{Fer}\left(\frac{x}{2\sqrt{DT}}\right)$$

Donde:

C_s = concentración de los átomos que se difunden en la superficie.

C_0 = concentración inicial de los átomos en el material.

C_x = concentración del átomo en la posición X debajo de la superficie después de un tiempo.

Fer = Función error

Figura 2.2.2 Función error

$\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$	Fer (z)	$\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$	Fer (z)	$\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$	Fer (z)	$\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$	Fer (z)
0	0	0.40	0.4284	0.85	0.7707	1.6	0.9763
0.023	0.0282	0.45	0.4755	0.90	0.7970	1.7	0.9838
0.05	0.0564	0.50	0.55205	0.95	0.8209	1.8	0.9891
0.10	0.1125	0.55	0.5633	1.0	0.8427	1.9	0.9928
0.15	0.1680	0.60	0.6039	1.1	0.8802	2.0	0.9953
0.20	0.2227	0.65	0.6420	1.2	0.9103	2.2	0.9981
0.25	0.2763	0.70	0.6778	1.3	0.9340	2.4	0.9993
0.30	0.3286	0.75	0.7112	1.4	0.9523	2.6	0.9998
0.35	0.3794	0.80	0.7421	1.5	0.9661	2.8	0.9999

Fuente: (ALEMAN Montaña, 2014)

2.2.2 Cementación

La cementación es un método que consiste en aumentar el contenido de carbono en la superficie de la pieza de acero, rodeándolas con un medio carburante, y manteniendo todo el

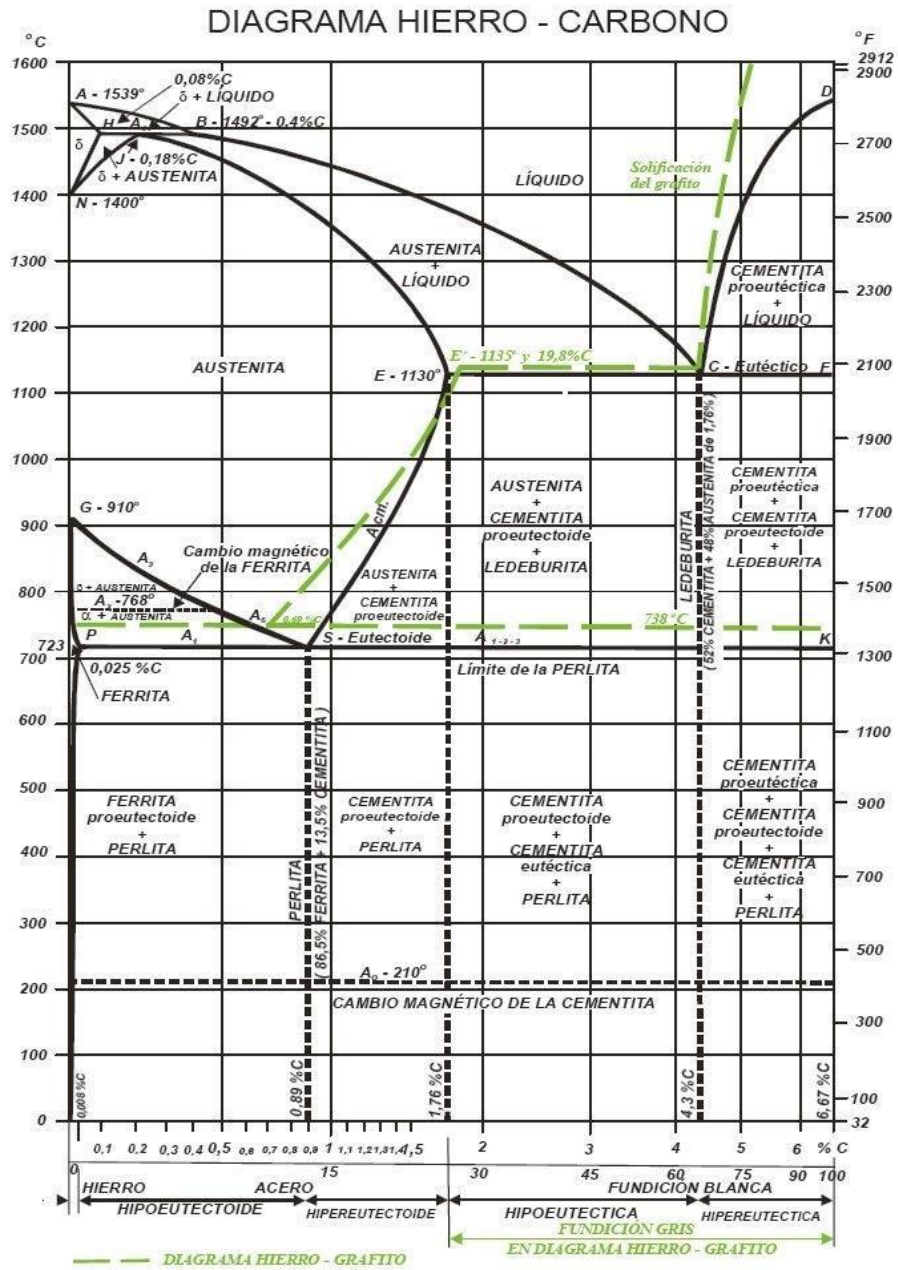
conjunto, durante un tiempo a elevada temperatura. (PEREZ P., 1996)

Se pueden usar cementantes sólidos, líquidos y gaseosos, oscilando la duración de la cementación de 6 a 10 horas con sólidos, 1 a 6 horas en caso de sales o líquidos y de una hora con cementantes gaseosos. (PEREZ P., 1996 pág. 103)

La cementación se realiza, generalmente, a temperaturas comprendidas entre 850°C y 1000°C. La cantidad y distribución del carbono absorbido por las piezas depende:

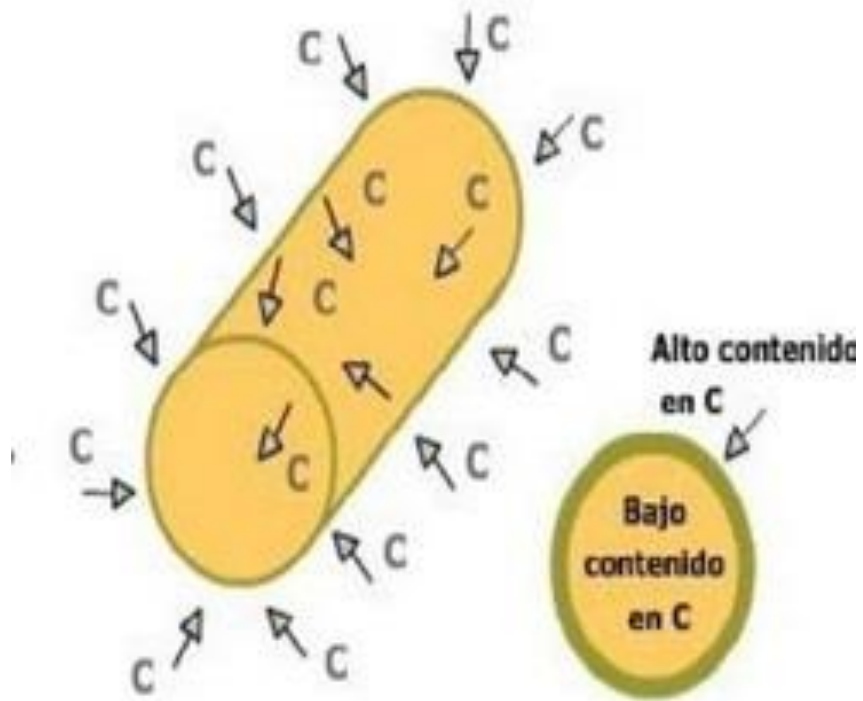
- De la composición del acero sometido a la cementación.
- De la naturaleza de la sustancia cementante
- De la temperatura y duración de la cementación. (APRAIZ B., 1997 pág. 322)

Figura 2.2.3 Diagrama de hierro-carbono



Fuente: <http://educiencia.blogspot.com/2009/06/diagrama-de-hierro-carbono-fe-c.html>

Figura 2.2.4 Tratamiento termoquímico de cementación



Fuente: <https://tecnoalex.weebly.com/tratamientos-teacutermicos.html>

Capa cementada

Se denomina a la zona de la superficie del material, que después de ser sometido al tratamiento de cementación, queda con un contenido de carbono superior a la del acero el cual va acompañado de un incremento de dureza. (APRAIZ B., 1997)

Figura 2.2.5 Capa cementada al microscopio



Fuente: <http://www.termia.com.ar/cementacion/>

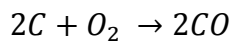
Tipos de cementación

- **Cementación sólida:** Consiste en colocar la pieza a cementar en un recipiente cerrado (caja cementante). Se utiliza

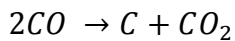
compuestos comerciales de cementación, por lo general, carbón vegetal de madera dura, coque y aproximadamente 20% de carbonato de bario como activador, con la finalidad de formar monóxido de carbono dentro del recipiente. (PEREZ P., 1996 pág. 111)

A nivel químico la cementación sólida, al usar carbón vegetal, coque, etc. Se da de la siguiente forma:

Al elevar la temperatura del carbón entra en contacto con el oxígeno que se encuentra en la caja cementante dando lugar al monóxido de carbono.

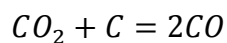
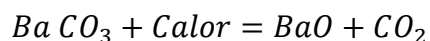


Luego pasa por una descomposición



Para luego pasar un proceso de difusión del carbono hacia el interior de la pieza, realizando así, el proceso de cementación sólida. (APRAIZ B., 1997)

El carbonato bórico mezclado con el carbón vegetal aceleran la penetración del carbono generando otras reacciones: (APRAIZ B., 1997)



El CO producido se descompone produciendo carbono naciente $2\text{CO}=\text{C}+\text{CO}_2$ y el BaO producido reacciona con el CO_2 obteniéndose nuevamente BaCO_3 . (APRAIZ B., 1997)

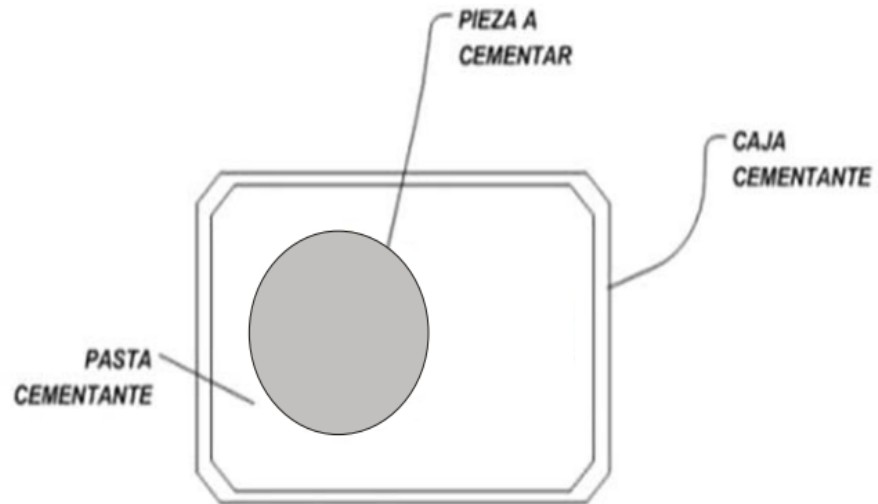
Ventajas:

- No se requiere una atmósfera preparada
- Es eficiente
- Es económico para el procesamiento individual de pequeñas cantidades de piezas, o de grandes piezas. (PEREZ P., 1996 pág. 112)

Desventajas:

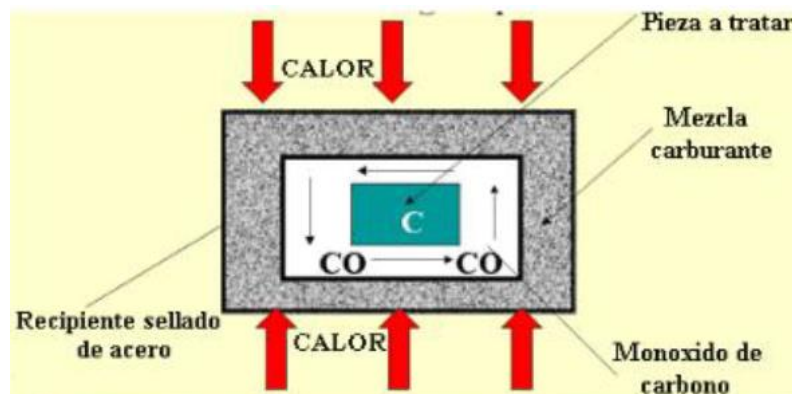
- No es adecuado para producir partes delgadas superficiales cementadas que deben controlarse a tolerancias reducidas; no puede proporcionar el control del carbono superficial.
- Consume mucho tiempo al calentar y enfriar la carga.
- Debido a la variación en la profundidad de la región superficial y al costo de los materiales de cementación, este método por empaquetamiento no se utiliza en piezas que requieren una profundidad de la región externa inferior a 0.7 mm. y cuando las tolerancias son de por lo menos 0.25 mm. (PEREZ P., 1996 pág. 112)

Figura 2.2.6 Cementación sólida



Fuente: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8426.pdf>

Figura 2.2.7 Cementación sólida



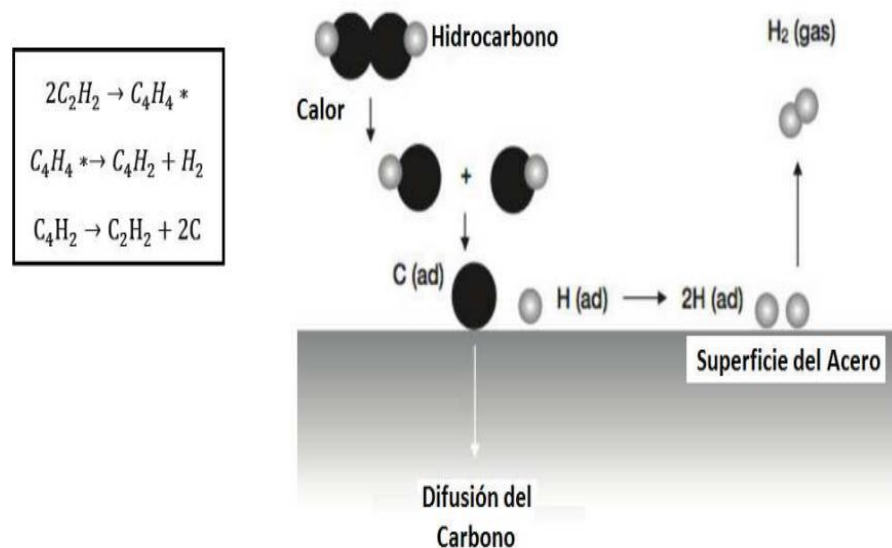
Fuente: (ALEMAN Montaño, 2014)

- **Cementación gaseosa:** La cementación por gas consiste en calentar el acero en contacto con monóxido de carbono y/o un hidrocarburo, que fácilmente se descompone a la temperatura de cementación. Se puede utilizar metano, propano, gas natural o hidrocarburo fluido vaporizado. (PEREZ P., 1996 pág. 113)

El proceso generalmente consta de dos fases: la primera de cementación en ambiente muy carburante, y la segunda, de difusión, a menor temperatura, ligeramente carburante para tener una adecuada distribución del carbono en la superficie de la pieza tratada. (APRAIZ B., 1997 pág. 347)

El empleo del periodo de difusión también produce un trabajo mucho más limpio por disipación del depósito de carbón (hollín) durante el tiempo que el gas no fluye. La cementación por gas permite un manejo más rápido por templado directo, menor costo, alrededores más limpios, más estricto control de calidad, y mayor flexibilidad de operación en comparación con la cementación por material sólido. (PEREZ P., 1996 pág. 114)

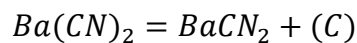
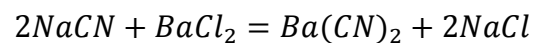
Figura 2.2.8 Cementación gaseosa y reacciones



Fuente: (Diseño e Implementación de un Sistema de Cementación gaseosa para el Tratamiento Superficial de Aceros, 2016)

➤ **Cementación líquida:** La cementación por líquido consiste en colocar a la pieza a cementar en un baño de cianuro fundido, de modo que el carbono se difundirá desde el baño hacia adentro del metal y producirá una parte superficial comparable a la resultante de la cementación por sólidos o por gas. La cementación por líquido puede distinguirse de la cianuración por la composición de la superficie dura producida. Las superficies endurecidas con cianuro son más altas en nitrógeno y más bajas en carbono; lo inverso es cierto para las superficies endurecidas por cementación por líquido. La cementación por líquido permite una capa cementada de hasta 6mm. (PEREZ P., 1996 pág. 114)

En los baños de sales activados con cloruro bórico, se presentan las siguientes reacciones.



Donde (C) representa el carbono que pasa al acero. (APRAIZ B., 1997)

Ventajas:

- Eliminación de oxidación y problemas de hollín.
- Profundidad de la superficie dura y contenido de carbono uniformes.

- Gran rapidez de penetración.
- Reduce el tiempo requerido. (PEREZ P., 1996 pág. 115)

Desventajas:

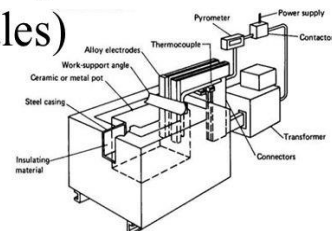
- Las piezas deben lavarse para prevenir la herrumbre.
- Requiere una revisión y ajustes regulares del baño.
- Algunas formas no pueden manejarse porque flotan o llevan excesivas cantidades de sal.
- Las sales del cianuro son venenosas por lo tanto requiere cuidados seguridad. (PEREZ P., 1996 pág. 116)

Figura 2.2.9 Cementación líquida

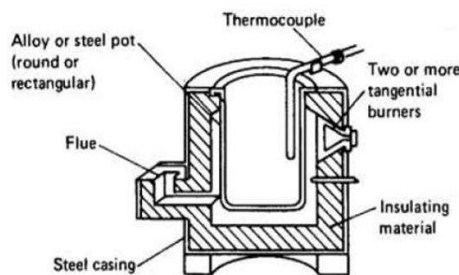
**Carburización Líquida
(Baño de Sales)**



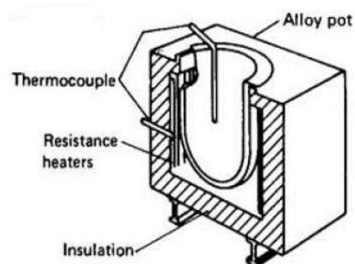
**Tipos de Hornos:
Crisoles**



Con electrodos sumergidos



Calentados con gas o fuel oil



Calentados con resistencia eléctrica

Fuente: <https://slideplayer.es/slide/159197/>

2.2.3 Hornos para tratamientos térmicos

- **Horno para temple**

Los hornos de temple suelen ser de cámara compuesta por ladrillos refractarios, pueden alcanzar una temperatura máxima de 1280 °C. (GUILLERMO E., 2016)

Figura 2.2.10 Horno para temple



Fuente:

https://www.nabertherm.com/produkte/details/es/labor_gluehaerteofen

- **Horno para recocido**

El revenido consiste en recalentar el material para dispersar los átomos, las temperaturas típicas para este proceso están entre los 680 °C y 780°C. (GUILLERMO E., 2016)

Figura 2.2.11 Hornos para tratamiento térmico



Fuente: <https://www.crystec.com/klthsts.htm>

- **Hornos de enfriamiento rápido**

Por lo general se emplea temperaturas entre 800°C y 900°C hasta generar la austenita en el acero. Se busca un enfriamiento rápido luego del recocido para incidir en la estructura del hierro quedando muy dura.

Figura 2.2.12 Hornos de enfriamiento rápido



Fuente: <https://www.crystec.com/klthsts.htm>

Figura 2.2.13 Horno de enfriamiento rápido con vacío



Fuente: <https://www.crystec.com/klthsts.htm>

- **Hornos para revenido**

Luego del enfriamiento rápido se genera acero martensítico es muy duro y frágil a la vez, por ello se tiene que volver a calentar la pieza. Se busca extraer el carbono utilizando temperaturas entre 100 °C y 200 °C.

Figura 2.2.14 Horno de revenido



Fuente: (GUILLERMO E., 2016)

- **Hornos para cementación**

Consisten en generar una atmosfera rica en carbono donde estará la pieza a tratar, se utiliza temperaturas de 900°C a 1000°C generando la absorción de carbono en la superficie.

Figura 2.2.15 Horno de paso continuo y horno de cadenas para carburación de acero



Fuente: (GUILLERMO E., 2016)

Figura 2.2.16 Horno de cementación de acero con tambor rotativo continuo

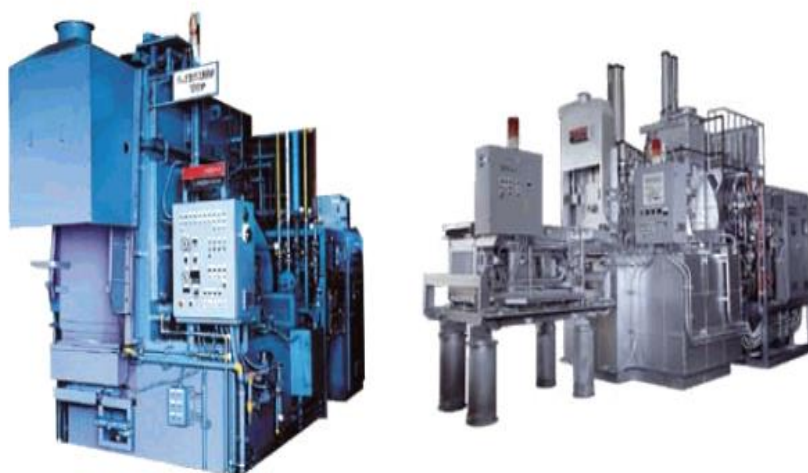


Fuente: (GUILLERMO E., 2016)

- **Hornos para carbonitruración**

Este proceso difunde el nitrógeno a través de la pieza a temperatura de 650°C y 770°C, luego del enfriamiento rápido se forma una capa de nitritos sobre la capa martensítica con contenido de nitrógeno.

Figura 2.2.17 Horno para carbonitrar



Fuente: (GUILLERMO E., 2016)

2.2.4 Acero SAE 1045

El acero SAE 1045 es un material de aplicación universal que posee mediana resistencia mecánica y tenacidad, a su vez es un acero de bajo costo.

Es común someterlo a tratamientos para endurecerlo, también es usado en condición de suministro. Es considerado de baja templabilidad, muestra un incremento de la dureza y resistencia mecánica al ser deformado en frío. (ALEXANDER P., y otros, 2017)

Tabla 2.2.1 Aleación promedio del acero SAE 1045

Carbono	0.45 %
Silicio	0.3 %
Manganeso	0.7 %

Fuente: **Bohler, Aceros.** Manual de Aceros Especiales. Versión MAE 18-108
pág. 28.

Tabla 2.2.2 Características del acero SAE 1045

Estado	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS				
	Diámetro mm.	Límite de fluencia N/mm ²	Resistencia a la tracción N/mm ²	Alargamiento (Lo = 5d) mín. %	Contracción mín. %
Natural	-	370	650	15	35
Recocido	16 - 100	340	650 - 750	17	35
	100 - 250	330	580 - 700	18	-

Fuente: **Bohler, Aceros.** Manual de Aceros Especiales. Versión MAE 18-108
pág. 28.

El suministro del acero SAE 1045 en barra de sección circular presenta una dureza de 193 HB. (BOHLER pág. 28)

Figura 2.2.18 Acero SAE 1045 en barra

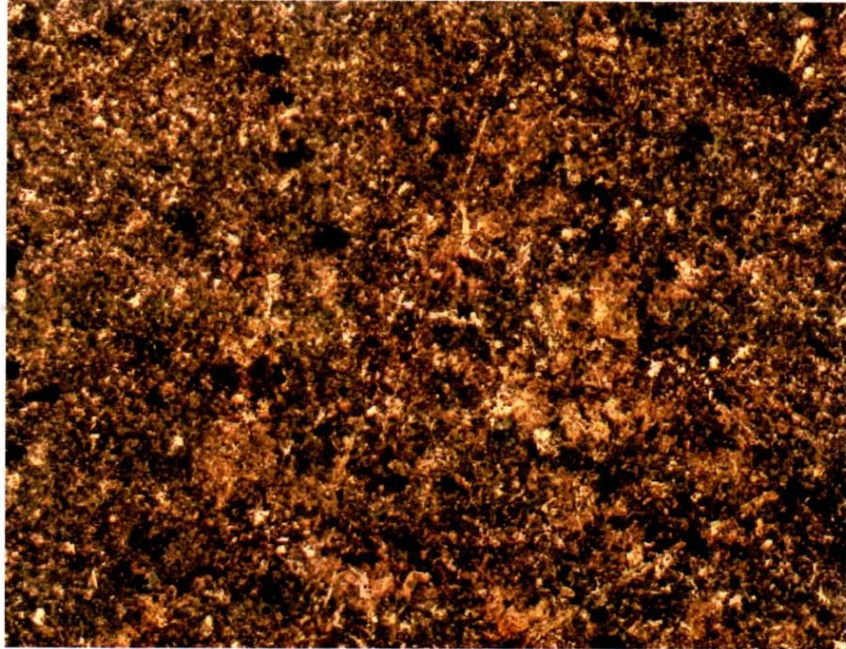


Fuente: http://www.perumetalescorporacion.com/sae_1045.php

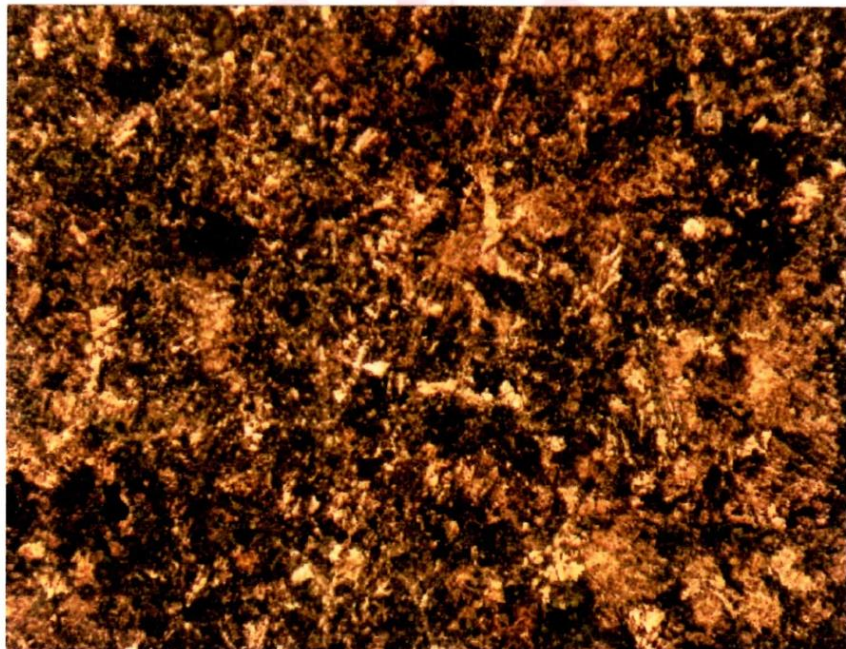
Microestructura del acero SAE 1045

El acero SAE 1045 presenta una matriz perlítica masiva conteniendo ferrita libre dispersa según se evidencia en la Figura 2.2.19 Metalografía del acero SAE 1045 y la Figura 2.2.20 Metalografía del acero SAE 1045.

Figura 2.2.19 Metalografía del acero SAE 1045



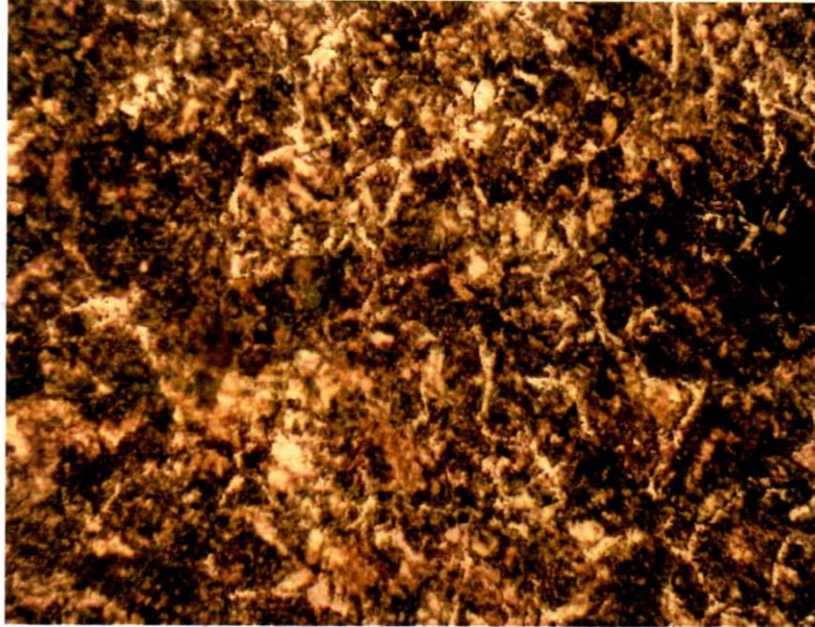
FOTOMICROGRAFIA N° 1 – 100x



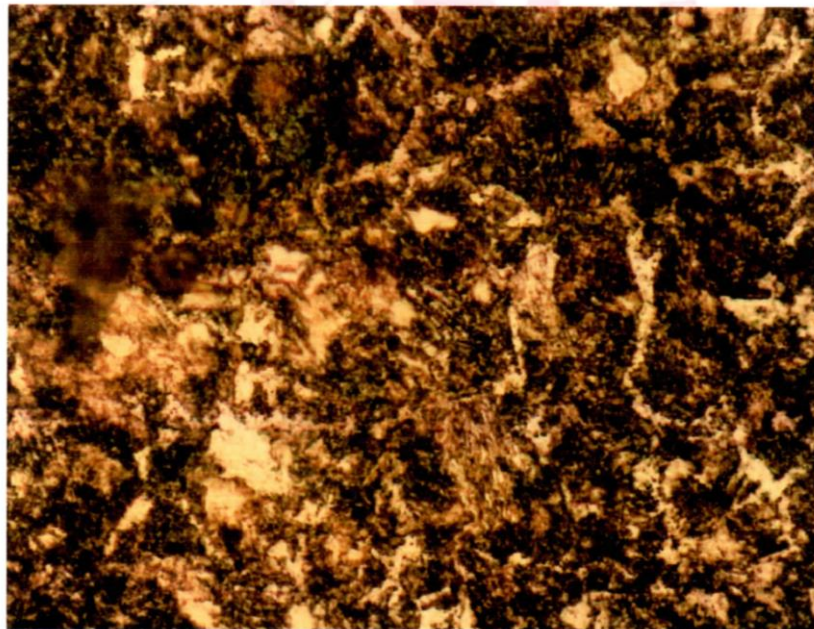
FOTOMICROGRAFIA N° 2 – 200x

Fuente: Anexo X-13 Análisis metalográfico del acero SAE 1045 cementado

Figura 2.2.20 Metalografía del acero SAE 1045



FOTOMICROGRAFIA N° 3 – 500x



FOTOMICROGRAFIA N° 4 – 1000x

Fuente: Anexo X-13 Análisis metalográfico del acero SAE 1045 cementado

2.2.5 Dureza

La dureza es una propiedad vinculada de manera particular a un material por lo cual su definición depende de la apreciación subjetiva de la persona que realiza el análisis, en caso de metales se puede considerar la resistencia a la deformación elástica y plástica. Algunas de las definiciones son: por penetración, rebote, desgaste y rayado. (ZAMBRANO M., 2015)

De las definiciones mencionadas la más relevante en el área de ingeniería es la dureza por penetración. (ZAMBRANO M., 2015)

Los métodos de medición de dureza, en su mayoría, consisten en aplicar una carga en un indentador generando una deformación puntual. Los valores que se puedan hallar están relacionados al método de ensayo de dureza. (ZAMBRANO M., 2015)

Los métodos empleados para medir la dureza pueden clasificarse en:

- **Ensayos estáticos:** La carga que se aplica sobre un indentador es de lenta y estática. Entre estos ensayos están: Brinell, Knoop, Vickers; estos se analizan de acuerdo el área dejada por el indentador. En el caso de la dureza Rockwell, se basa en la profundidad dejada por la huella. (ZAMBRANO M., 2015)

- **Ensayos dinámicos:** la carga que se aplica es de impacto. Uno de los ensayos más usuales es el de Shore, en el cual se deja caer el indentador sobre la muestra midiendo la

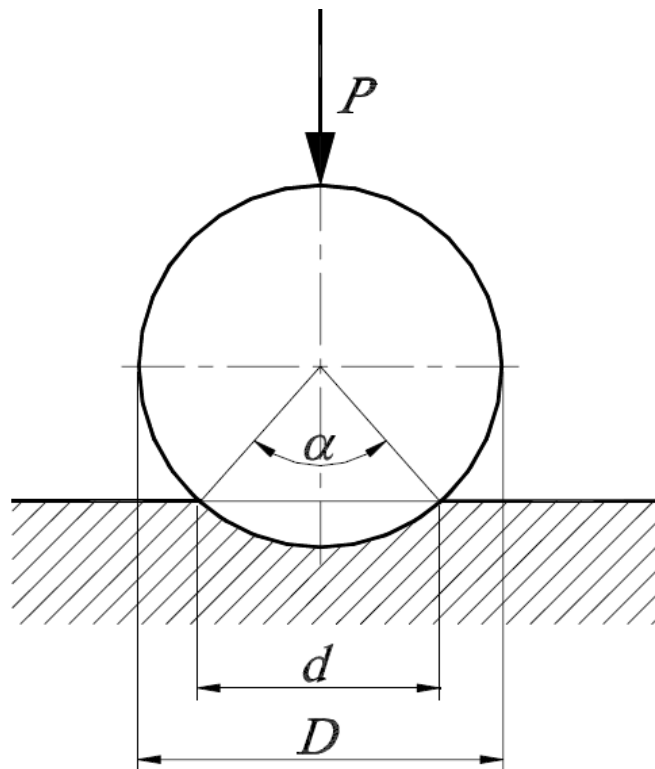
altura luego del impacto la cual esta relacionado al concepto de energía. (ZAMBRANO M., 2015)

Métodos para medir la dureza

Dureza Brinell

El ensayo de dureza Brinell consiste en aplicar en la superficie del material a ensayar con una bola de acero muy duro durante cierto tiempo hasta que se produzca la impresión en forma de casquete esférico correspondiente a la porción de la esfera que penetra. Luego se mide la huella utilizando un microscopio. (APRAIZ B., 1997)

Figura 2.2.21 Procedimiento Brinell



Fuente:

<http://190.105.160.51/~material/materiales/presentaciones/ApunteDureza.pdf>

Precauciones para realizar el ensayo

Se puede mencionar:

- La superficie a ensayar debe ser plana y normal al eje de aplicación de carga.
- La superficie debe estar limpia de óxidos, cascarilla y grasas.
- La distancia del borde de la pieza al centro de la pieza debe ser mayor a cuatro veces el diámetro de la huella.
- El espesor del material debe ser mayor al doble del diámetro de la huella.
- El material debe ser homogéneo. (APRAIZ B., 1997 pág. 486)

Alcance y aplicabilidad del método Brinell

Para materiales cuya dureza Brinell es superior a los 400 se recomienda utilizar penetradores duros (de carburos metálicos).

De esta manera se puede decir que a partir de los 400 Brinell es recomendable determinar la dureza a través de métodos como el Rockwell o Vickers. (APRAIZ B., 1997)

Dureza Rockwell

Al igual que en el ensayo Brinell la dureza se determina en función del grado de penetración de la pieza a ensayar a causa de

la acción del penetrador bajo una carga estática dada. (APRAIZ B., 1997)

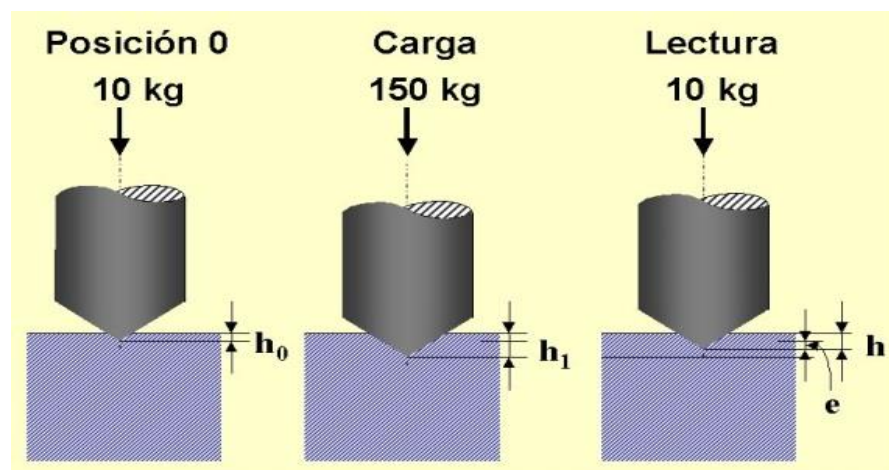
Difiere del ensayo Brinell en que las cargas son menores y los penetradores más pequeños por lo que la imprenta será menor y menos profunda. (APRAIZ B., 1997)

El método Rockwell es ideal para evaluar la dureza de aceros templados y duros. (APRAIZ B., 1997)

El método Rockwell evalúa, a diferencia del método Brinell, la profundidad de la huella. Se aplica dos cargas diferentes, primero una de 10 kg. y luego una mayor de 90 o 140 kg. Dependiendo del tipo de penetrador. (APRAIZ B., 1997)

Los resultados se dan en función a la diferencia de penetración conseguida entre las dos cargas aplicadas. (APRAIZ B., 1997)

Figura 2.2.22 Dureza Rockwell



Fuente: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/pfcm2_7_3.html

Figura 2.2.23 Especificación de penetrador y carga en los distintos ensayos Rockwell

Denominación del ensayo	BOLA					CONO		
	B	E	F	G	K	A	C	D
Diámetro de la bola (mm)	1.590	3.175	1.590	1.590	3.175	-	-	-
Carga (kg)	100	100	60	150	150	60	150	100

Fuente: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/pfcm2_7_3.html

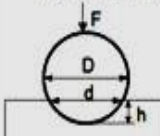
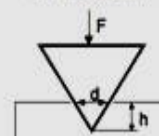
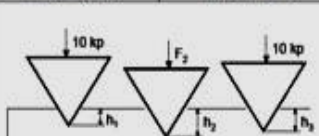
Dureza Vickers

La determinación de la dureza Vickers es similar a la Brinell ya que se obtiene del cociente de la carga aplicada por la superficie de la imprenta. (APRAIZ B., 1997)

Este método se diferencia por usar como elemento de penetración un diamante en forma de pirámide cuadrangular de 136° entre caras. (APRAIZ B., 1997)

Se obtiene resultados que pueden ser comparables entre sí debido a la geometría del elemento penetrador. Puede utilizarse para toda clase de materiales, blandos y duros. (APRAIZ B., 1997)

Figura 2.2.24 Ensayos de dureza

TIPO DE ENSAYO	BRINELL HB	VICKERS HV	ROCKWELL	
			HRB	HRC
Tipo de material	no muy duros	muy duros	blandos	duros
Penetrador	Bola de acero templado	pirámide regular de diamante	bola de acero	cono de acero con punta de diamante
Medida	superficie de la huella	superficie de la huella	profundidad de la huella	
Valor de dureza (resultado del ensayo)	$HB = F/S \text{ (Kp/mm}^2\text{)}$  $S = \pi D h = \pi D \frac{1}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$ Valor dureza igual sólo si $F = K \cdot D^2$	$HV = F/S \text{ (Kp/mm}^2\text{)}$  $S = 4 \cdot \frac{d \cos 45^\circ \cdot h}{2} = \frac{d^2}{2 \sin 68^\circ}$	$HRB = 130 - e$	$HRC = 100 - e$
	 $e = \frac{h_2 - h_1}{0.002}$ (h_2 y h_1 en mm)	Ventajas e inconvenientes Válido para la mayoría de los aceros. Si las deformaciones son pequeñas el margen de error es grande. Hay que medir con un microscopio la diagonal de la huella.		Es más exacto que Brinell pero más caro. Es el ensayo más rápido y sencillo pero también el menos preciso (no mide superficie de la huella, sólo su profundidad). El aparato de medida suele dar ya el resultado (no hace falta medir profundidades).

Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos104/ensayos-materiales/ensayos-materiales.shtml>

2.2.6 Retroexcavadoras

Figura 2.2.25 Retroexcavadora CAT 420D



Fuente: <https://www.europa-mop.com/retroexcavadora-caterpillar/bayern/ts-vi390674/usada.html>

Principio de Funcionamiento

El movimiento que se realiza sobre el material a recoger o levantar es generado a través de la cuchara que es la terminación del brazo hidráulico excavador; la presión es generada cuando el aceite en la bomba hidráulica se transmite hacia los cilindros, permitiendo la salida o entrada del vástago, lo que produce el movimiento del brazo para realizar su función. (CASO S., 2008)

Trabajan atacando del nivel del suelo hacia arriba: con el brazo en la posición correcta cercana a la superficie vertical de la tierra que se va a excavar, se baja el cucharón, se le aplica una fuerza y una tensión para jalar el cucharón hacia arriba. Si la profundidad del corte es la correcta, considerando el tipo de suelo y el tamaño del cucharón, éste estará lleno al llegar a la parte superior. Se llegará a una capacidad óptima de corte cuando se llena el cucharón de la máquina en el menor tiempo posible. (CASO S., 2008 pág. 3)

Fuerzas en el brazo hidráulico de la retroexcavadora

De las diversas posiciones del brazo hidráulico de la retroexcavadora CAT 420D, se obtuvo que la posición en la que realiza su mayor esfuerzo es al recoger la carga. (CASO S., 2008 pág. 9)

Figura.2.2.26 Posición de excavación de la retroexcavadora CAT 420D



Fuente:<http://www.maquinariapesada.global/maquinaria-pesada/retroexcavadoras/36-retroexcavadoras-caterpillar/8-especificaciones-tecnicas-retroexcavadora-caterpillar-420d.html>

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Tratamientos térmicos aplicados al acero SAE 1045

Tratamientos térmicos de temple, criogenia y revenido aplicado al acero SAE 1045

Temple

El temple es un tratamiento térmico con el cual se busca incrementar la dureza y resistencia mecánica del material, tiene

por principio transformar la austenita, mediante el calentamiento y posterior enfriamiento acelerado, en martensita la cual conforma los materiales duros. (ALFONSO G., 2017)

En el temple se distinguen 3 fases muy importantes:

- **Precalentamiento:** El precalentamiento es la etapa inicial del proceso, el cual se realiza para minimizar las tensiones que se generan durante el temple y que pueden manifestar distorsiones y grietas en la pieza. El primer tipo de tensiones son producidas por la expansión térmica que se dan durante el calentamiento y el otro tipo de tensiones son debidas a la disminución de volumen por la transformación de la matriz ferrítica, típica de los aceros en su estado de suministro, a una austenítica. (ALFONSO G., 2017)

- **Austenización:** En esta etapa se transforma la matriz de la pieza en una estructura austenítica. Este proceso depende de la temperatura y el tiempo, estos parámetros están relacionados con la composición química del acero y tamaño de la pieza. La temperatura de austenización se relaciona inversamente proporcional con la tenacidad y directamente proporcional con las propiedades de dureza, resistencia al desgaste y generación de distorsiones. Las altas temperaturas pueden generar cambios dimensionales y grietas. (ALFONSO G., 2017)

- **Enfriamiento:** Es la etapa final del proceso de temple, este debe ser un enfriamiento continuo con la velocidad menos severa posible al igual del medio energético. El énfasis en el medio energético es para minimizar las tensiones y cambios

dimensionales generados por el aumento de volumen al transformarse en una estructura martensítica. El enfriamiento depende de las dimensiones de la pieza a tratar y la dureza que se desea alcanzar. (ALFONSO G., 2017)

Figura 2.3.1 Tratamiento de temple



Fuente: <http://fundicionferrosa.com.pe/wp-content/uploads/2016/05/tratamiento-termico-de-temple-de-agua-ferrosa.jpg>

Revenido

Este tratamiento es complementario al temple, se realiza posterior a éste. La finalidad de este tratamiento es disminuir la dureza que a su vez disminuiría su fragilidad sin influir en demasía en la tenacidad. (ALFONSO G., 2017)

Se puede considerar dos rangos de temperatura para el proceso de revenido:

- **Revenido a temperaturas bajas** (180 – 250°C): a esta temperatura solo se produce un alivio de tensiones. No se produce la transformación de austenita revenida. (ALFONSO G., 2017)
- **Revenido a altas temperaturas** (500 – 550°C): aplicado a aceros de aleación. (ALFONSO G., 2017)

Figura 2.3.2 Revenido



Fuente: <https://materialsdesign.wordpress.com/revenido/>

Criogenia

Este tratamiento utiliza temperaturas bajo cero, la continuación al proceso del templado. Este afecta a todo el material tratado, no solo a su superficie. (ALFONSO G., 2017)

Los tratamientos criogénicos consisten en un descenso lento de la temperatura (2.5°C/min aprox.) desde la temperatura ambiente hasta la temperatura correspondiente al nitrógeno líquido. Se mantiene el material, a baja temperatura, alrededor de 24 horas para luego calentarse hasta la temperatura ambiente. Es importante controlar estos cambios de temperatura para evitar el choque térmico que puede causar efectos de agrietamiento. (ALFONSO G., 2017)

Figura 2.3.3 Refrigeración criogénica

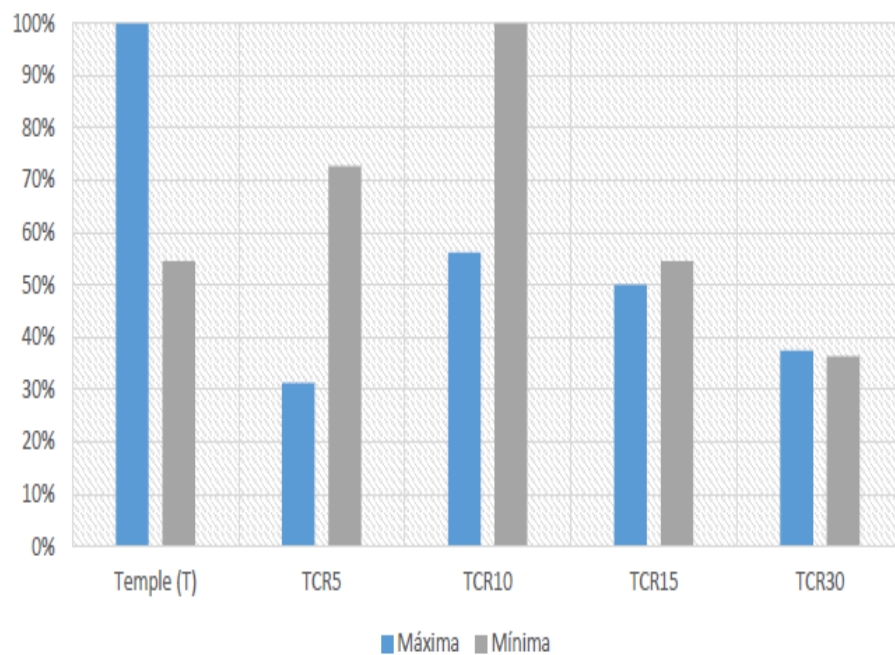


Fuente: <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/149215-Refrigeracion-criogenica-para-operaciones-de-mecanizado-de-alto-valor-anadido.html>

Efectos de aplicar tratamientos térmicos de temple, criogenia y revenido al acero SAE 1045

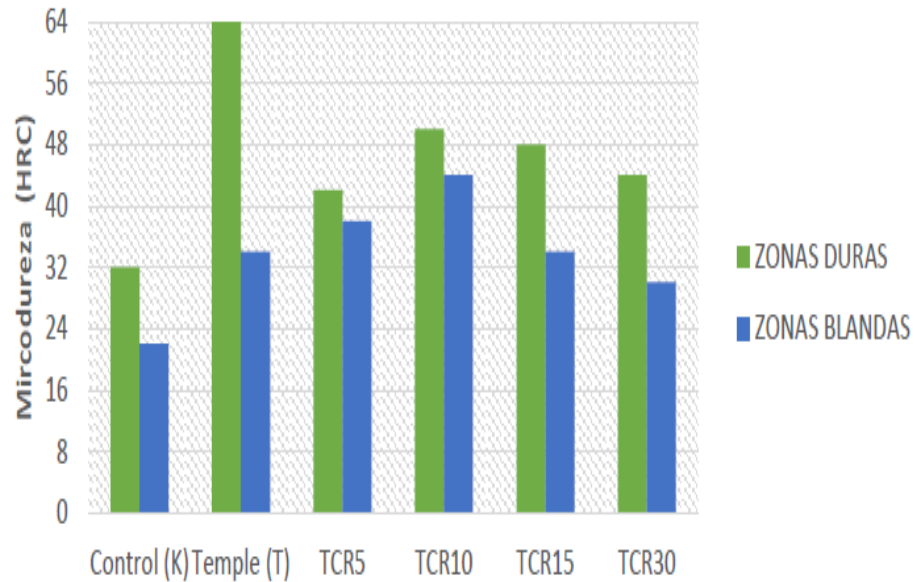
Al aplicar estos tratamientos logramos, según estudios realizados, hay una mejora en las propiedades de resistencia a la tensión, dureza y tenacidad. Sin embargo se requiere controlar los parámetros ya que existe un gran riesgo de fractura en el material. (ALFONSO G., 2017)

Gráfico 2.3.1 Porcentaje de mejora en la dureza



Fuente: (ALFONSO G., 2017)

Gráfico 2.3.2 Valores de dureza

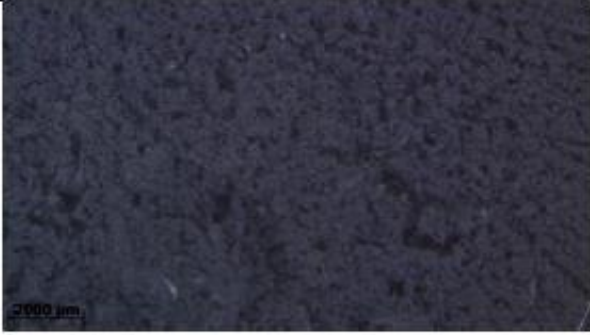
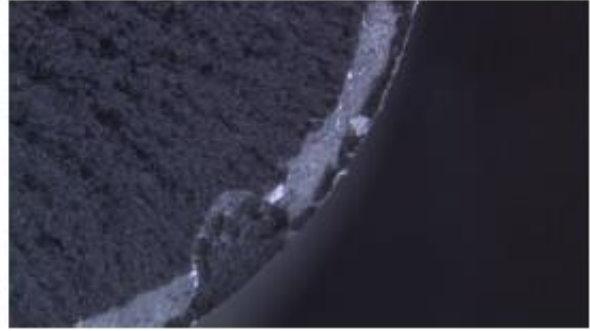
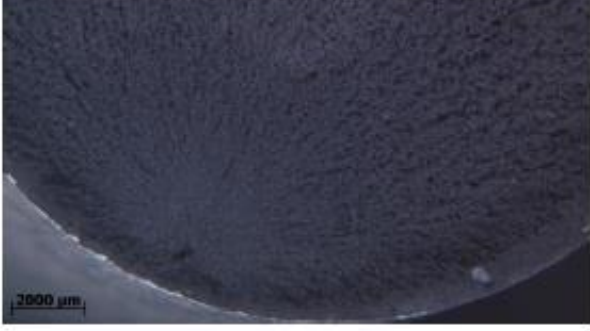


Fuente: (ALFONSO G., 2017)

En el Gráfico 2.3.1 Porcentaje de mejora en la dureza y el Gráfico 2.3.2 Valores de dureza, se muestra como se genera un incremento de los valores de dureza.

La descripción TCR representa a las probetas sometidas a temple, criogenia y revenido mientras el número indica el tiempo, en minutos, del revenido. De estos resultados se aprecia que el mayor valor de dureza obtenido es cuando se aplica solo el temple. Sin embargo podemos apreciar en la Figura 2.3.4 Análisis de falla que en el proceso de temple, en una análisis de falla, se manifiesta fracturas mixtas.

Figura 2.3.4 Análisis de falla

TEMPLE	
	Fractura mixta: Dúctil-frágil
TCR5	
	Fractura Frágil
TCR10	
	Fractura Frágil granular

Fuente: (ALFONSO G., 2017)

Tratamiento termoquímico de nitruración gaseosa aplicado al acero SAE 1045

Nitruración

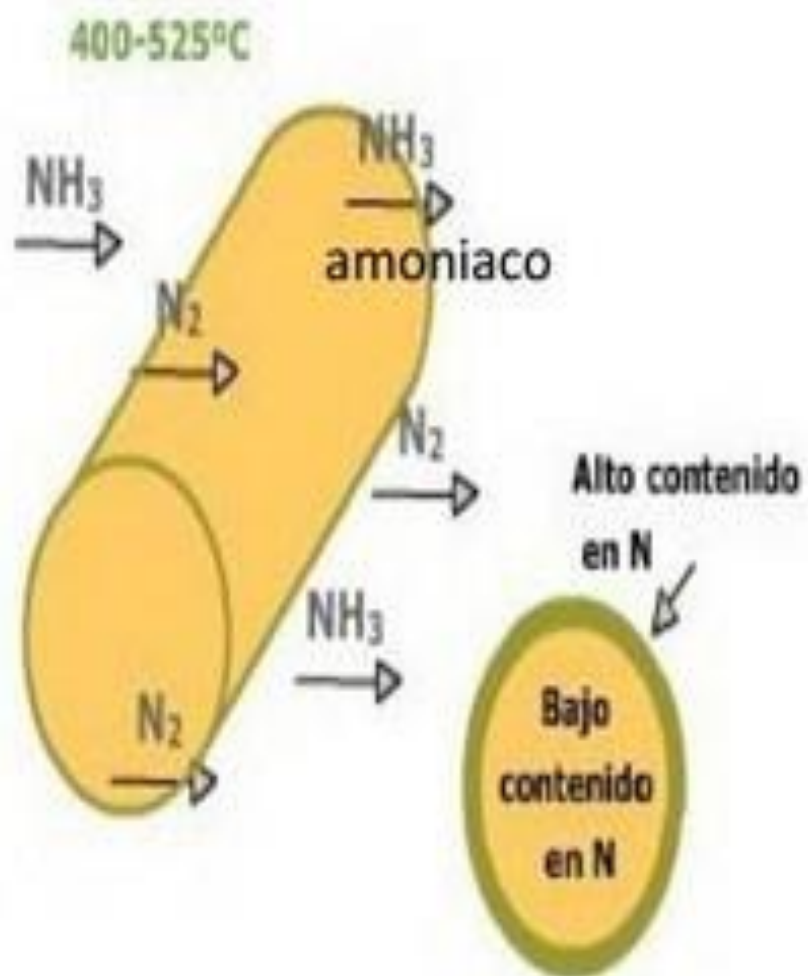
La nitruración es un tratamiento termoquímico que se basa en el ingreso de átomos de nitrógeno en la superficie del material a tratar a fin de incrementar su dureza, se da en un intervalo de temperatura entre 500°C y 590°C. La dureza alcanzable depende de la composición química del material los cuales deben formar nitruros. Mediante este proceso se mejoran propiedades del material tales como: resistencia al desgaste, baja tendencia a formar ralladuras, elevada dureza superficial, etc. (CÓRDOVA V., 2003)

Los resultados por aplicación del tratamiento de nitruración está relacionado a la formación de nitruros estables los cuales dependen de la presencia de elementos en la composición química del material, tales como:

- **Aluminio:** Posee una alta tendencia a la formación de nitruros, es determinante para lograr altos grados de dureza. (CÓRDOVA V., 2003)
- **Cromo:** Este elemento incrementa la resistencia a la tracción, ayuda a incrementar la capa dura y aminora la velocidad crítica del temple. (CÓRDOVA V., 2003)

- **Vanadio:** Aumenta la resistencia al desgaste y disminuye la tenacidad. Incrementa la profundidad de nitruración y el espesor de la capa dura. (CÓRDOVA V., 2003)

Figura 2.3.5 Nitruración gaseosa

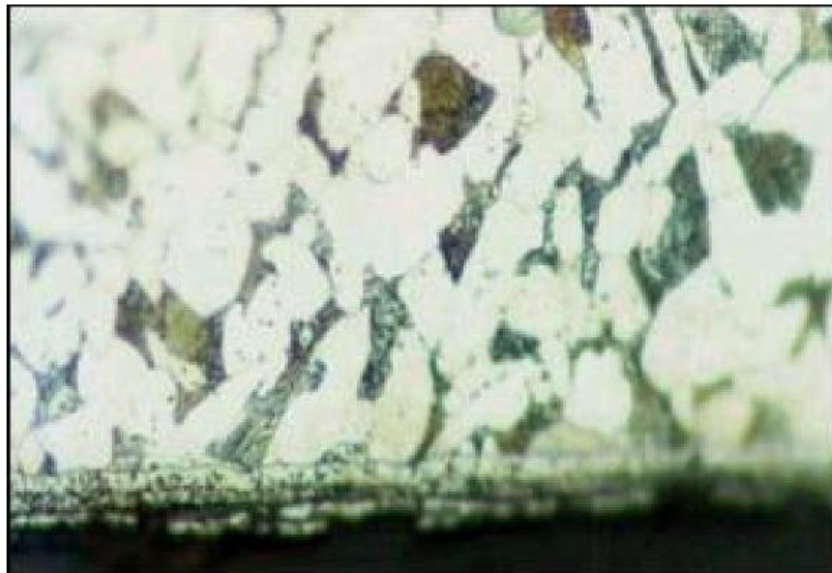


Fuente: <https://tecnoalex.weebly.com/tratamientos-teacutermicos.html>

Efectos de aplicar tratamiento termoquímico de nitruración gaseosa al acero SAE 1045

En la Figura 2.3.6 Análisis metalográfico del acero SAE 1045 sometido a nitruración gaseosa, podemos apreciar la formación de una delgada capa blanca en la superficie del material tratado.

Figura 2.3.6 Análisis metalográfico del acero SAE 1045 sometido a nitruración gaseosa



Fuente: (CÓRDOVA V., 2003)

Para el proceso de nitrurado gaseoso del acero SAE 1045, los datos corresponden a un proceso de nitrurado de 5 horas a 560°C logrando una dureza máxima de 44HRC con un espesor de capa de 0.010mm. (CÓRDOVA V., 2003)

El acero SAE 1045 es un material que carece, en su composición química, de los elementos principales para formar nitruros por lo

cual no es recomendable para este proceso. (CÓRDOVA V., 2003)

2.3.2 Esfuerzos en elementos mecánicos

Los esfuerzos son el resultado de fuerzas aplicadas al material, ya que estos son causantes de deformaciones y fallas en el material. (SALAZAR T., 2007)

Tipos de esfuerzos

- **Esfuerzos normales:** Se da cuando una fuerza es aplicada a lo largo de una barra o perfil estructural. Es decir es la relación entre la fuerza y el área sobre la cual es aplicada. La resistencia esta dado por las dimensiones de la sección de la barra, es decir, a mayor sección tendrá mayor resistencia. (SALAZAR T., 2007)

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

σ : Esfuerzo normal

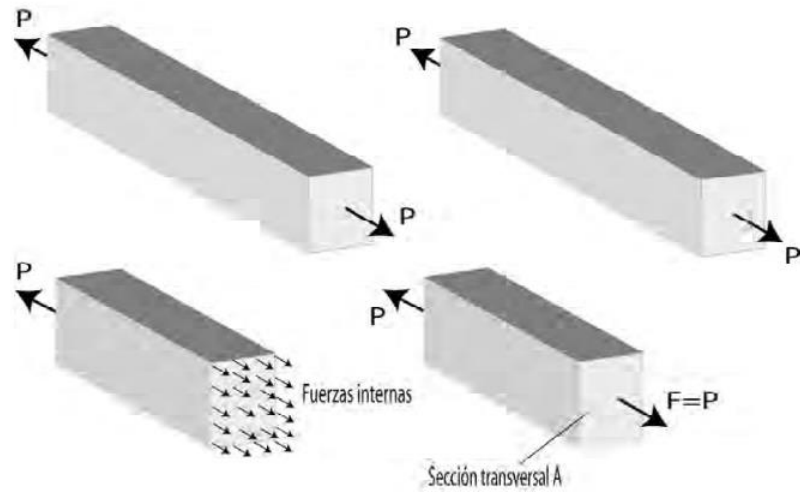
P : Fuerza axial

A : Sección transversal

Unidades del esfuerzo normal:

$\frac{N}{m^2}$ (Sistema internacional) ; $\frac{lb}{in^2}$ (Sistema inglés)

Figura 2.3.7 Esfuerzos normales



Fuente: (SALAZAR T., 2007)

- **Esfuerzos cortantes:** Este tipo de esfuerzo se da cuando la estructura esta sometida a una carga a lo largo de la sección transversal de está dando a lugar a un efecto de corte. (SALAZAR T., 2007)

$$\tau = \frac{V}{A}$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante

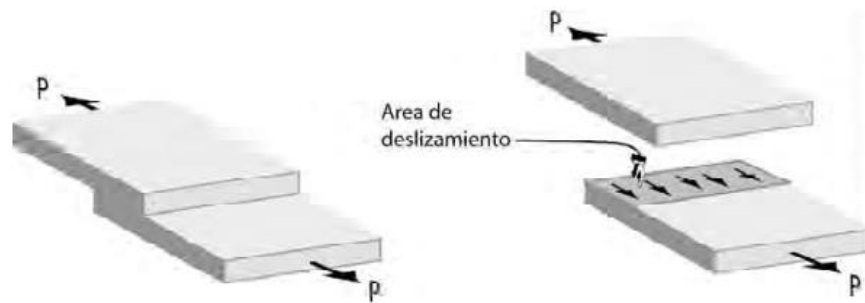
V : Fuerza axial

A : Sección transversal

Unidades del esfuerzo cortante:

$$\frac{N}{m^2} \text{ (Sistema internacional)} \quad ; \quad \frac{lb}{in^2} \text{ (Sistema inglés)}$$

Figura 2.3.8 Esfuerzo cortante



Fuente: (SALAZAR T., 2007)

2.3.3 Desgaste de elementos mecánicos

Desgaste

El desgaste se puede definir como el daño superficial de los materiales luego de efectuar un trabajo con condiciones particulares. Producto de esto se genera pérdida de material en la superficie, modificación en sus dimensiones y tolerancias. (LIZARAZO A., 2015)

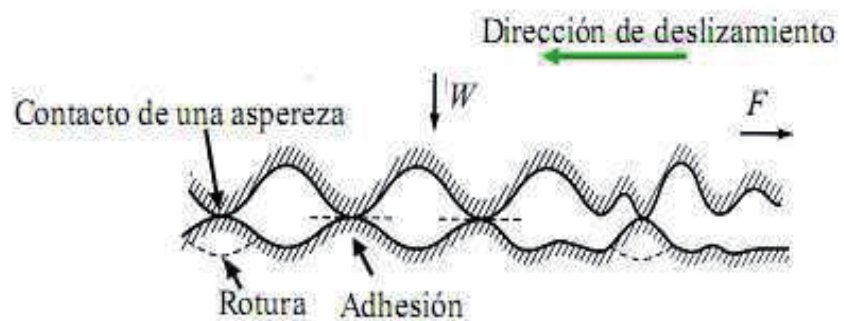
En ingeniería se da mucho el desgaste por deslizamiento de superficies producido por el movimiento relativo entre estas. Las superficies afectadas por este fenómeno pueden ser metálicas o no metálicas. El efecto del desgaste está relacionado a diversos factores tales como: la rugosidad de la superficie, dureza de los materiales, distribución del deslizamiento, propiedades metalúrgicas, etc. (LIZARAZO A., 2015)

Tipos de desgaste

- **Desgaste por adherencia:** refiere al movimiento relativo entre superficies produciendo un deslizamiento entre estas. En este tipo de desgaste suele apreciarse un incremento en la dureza de los elementos debido a la alta presión a la que están sometidos que a su vez esta acompañado de pérdida de las dimensiones. (LIZARAZO A., 2015)

El desgaste manifiesta una deformación plástica la cual causa graves daños en el elemento de menor dureza en contacto. La influencia de la microestructura del material es de gran importancia cuando los elementos están en contacto sin lubricación. (LIZARAZO A., 2015)

Figura 2.3.9 Desgaste por adherencia



Fuente: (ALCÁNTARA B., y otros, 2013)

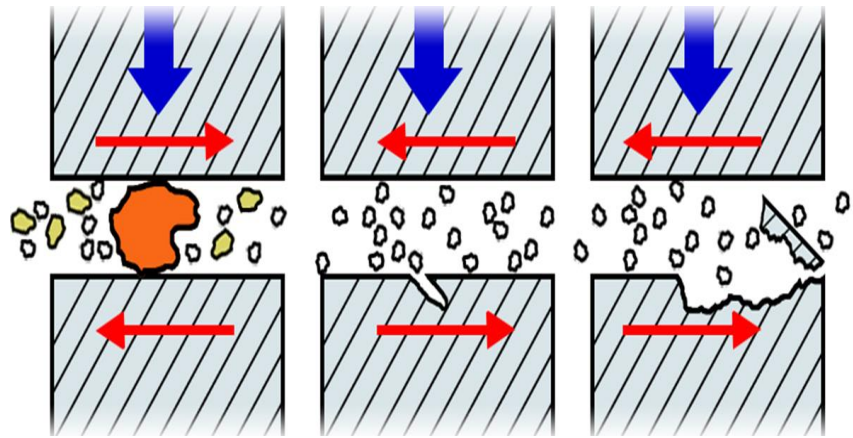
Figura 2.3.10 Desgaste adhesivo



Fuente: <https://www.slideshare.net/mau25cytp3/06-desgastes>

- **Desgaste por abrasión:** Generalmente se da por las partículas que se producen por el efecto de desgaste de las superficies en contacto o por partículas ajenas al trabajo, como son el polvo o arena, que al eliminarse forman ralladuras y surcos en las superficies. (Pautas para el diseño de partes metálicas resistentes al desgaste, 2003)

Figura 2.3.11 Desgaste por abrasión



Fuente: <https://www.datamovilidad.com/productos-y-servicios/micro-filtracin-de-aceites-graves-problemas-la-erosion-y-el-desgaste-abrasivo/24/51>

Figura 2.3.12 Desgaste por abrasión



Fuente: <http://www.tecnosuiza.cl/aplicaciones.php>

- **Desgaste por ludimiento:** Aparece como resultado del movimiento oscilante de las superficies en contacto, este efecto se puede apreciar en máquinas que están bajo efectos de vibración. (Pautas para el diseño de partes metálicas resistentes al desgaste, 2003)

Figura 2.3.13 Desgaste por ludimiento

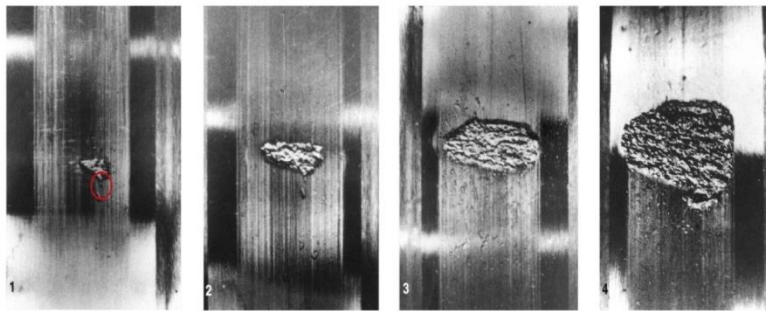


Fuente: <https://slideplayer.es/slide/13896089/>

- **Desgaste por fatiga:** Este tipo de desgaste es de los que más producen desprendimiento de material, es causado por movimientos unidireccionales o de vaivén. Esta relacionado, por lo general, a los rodamientos de bolas o rodillos, engranajes, levas, etc. La pérdida de material se manifiesta en el desprendimiento de la superficie de las piezas o picaduras. Las grietas que se producen por el efecto de fatiga se relaciona con los puntos en los cuales el esfuerzo cortante es máximo, se recomienda, para este

efecto, producir elementos mecánicos con baja carga de contacto y una óptima profundidad de capa endurecida acompañada de un buen acabado superficial. La capa endurecida se puede obtener aplicando los tratamientos de cementación, nitruración, etc. a fin de incrementar la resistencia del material. (Pautas para el diseño de partes metálicas resistentes al desgaste, 2003)

Figura 2.3.14 Desgaste por fatiga

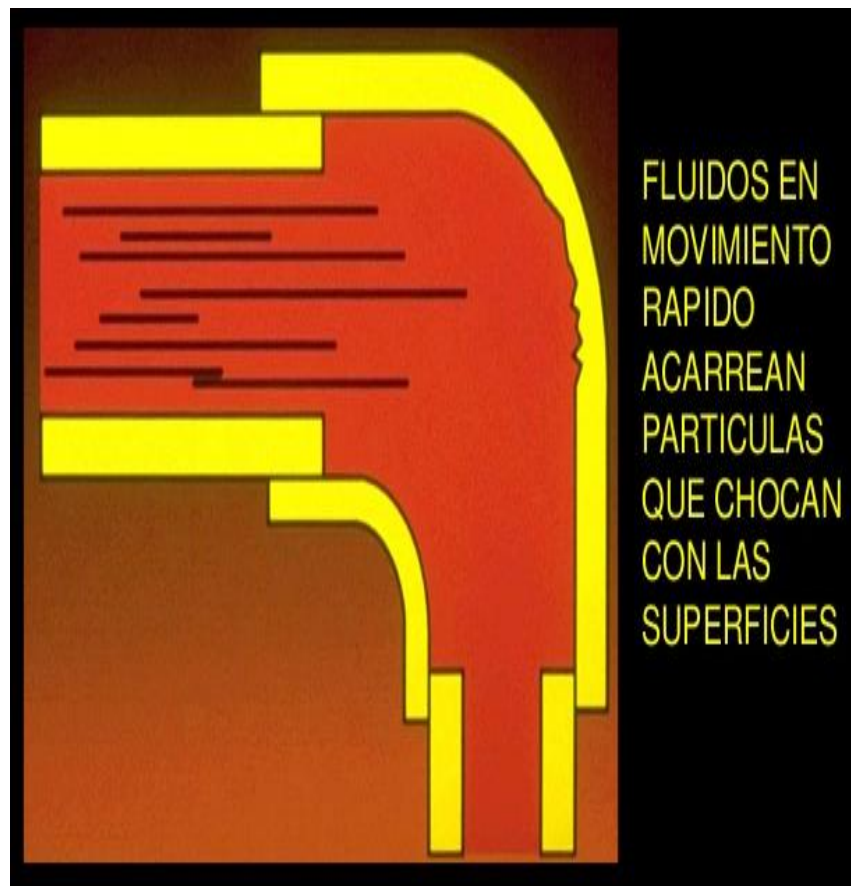


Fuente: <http://evolution.skf.com/es/desarrollo-de-los-danos-por-fatiga-de-contactos-rodantes-en-la-superficie-de-rodamientos/>

- **Desgaste por erosión:** Consiste en la pérdida del volumen del material a causa de la incidencia de partículas sólidas de la superficie. Este tipo de desgaste puede ser causado de manera deliberada cuando se habla de procesos como el arenado en el cual se busca una limpieza superficial, sin embargo, existen casos en los cuales se produce una destrucción como por ejemplo se da en las hélices de turbinas. Este tipo de desgaste está relacionado al ángulo de incidencia de las partículas hacia la superficie de la

pieza. El control de este tipo de desgaste es complejo ya que se requiere controlar el ángulo de incidencia de las partículas, por ello en ocasiones se considera un recubrimiento con materiales como hule a fin de poder ser cambiados como parte de un plan de mantenimiento. (Pautas para el diseño de partes metálicas resistentes al desgaste, 2003)

Figura 2.3.15 Desgaste por erosión por fluidos



Fuente: <https://www.slideshare.net/mau25cyp3/06-desgastes>

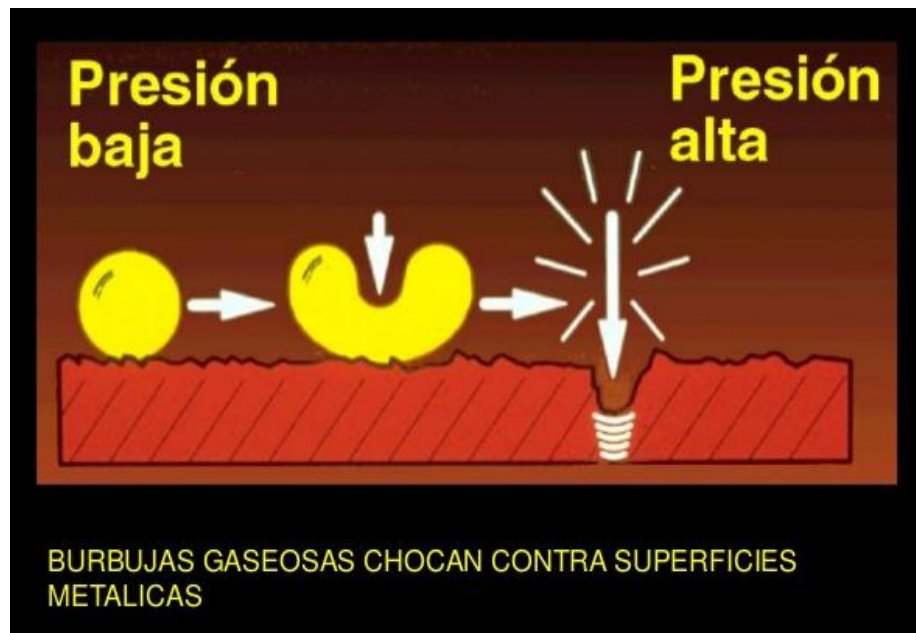
Figura 2.3.16 Desgaste por erosión



Fuente: <https://www.slideshare.net/mau25cytp3/06-desgastes>

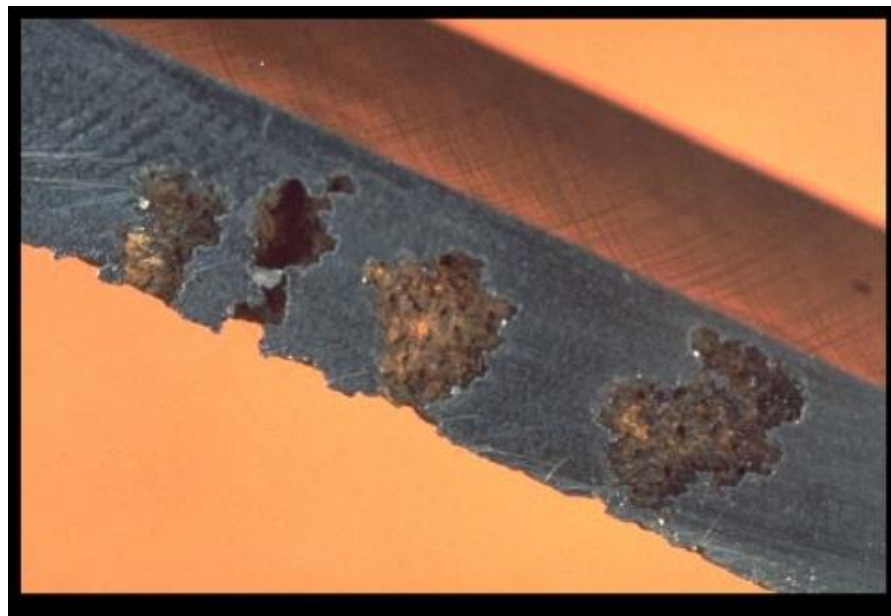
- **Desgaste por cavitación:** La cavitación se da cuando con la formación de burbujas dentro de un medio líquido por el cual puede pasar una partícula sólida. La fuerza del impacto generado, por lo general, supera el punto de fluencia de los metales. Para disminuir este efecto se utilizan metales duros, además deben tener resistencia a la corrosión ya que esto incrementa el efecto de desgaste por cavitación. En ocasiones, para disminuir este efecto se opta por recubrimientos elásticos que puedan absorber el impacto, tales como el poliuretano, caucho, etc. (Pautas para el diseño de partes metálicas resistentes al desgaste, 2003)

Figura 2.3.17 Desgaste por cavitación



Fuente: <https://www.slideshare.net/mau25cytp3/06-desgastes>

Figura 2.3.18 Picaduras por cavitación



Fuente: <https://www.slideshare.net/mau25cytp3/06-desgastes>

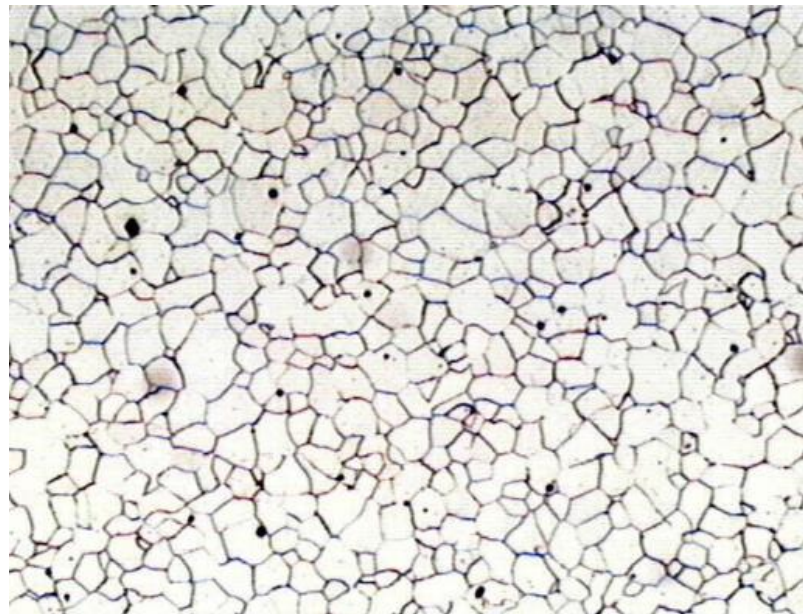
2.3.4 Microestructura de los aceros

En los aceros podemos reconocer las siguientes microestructuras:

- **Ferrita:**

Es considerado como hierro puro. La ferrita es la fase mas blanda y dúctil, tiene una dureza de 95 Vickers y una resistencia a la tracción de 28 kg/mm². En aceros con menos de 0.6 %C, la ferrita puede aparecer como granos mezclados con perlita; formando una red, en los aceros con 0.6 a 0.85 %C aparece en forma de agujas. La ferrita se observa al microscopio como granos poligonales claros. (MEJÍA P., 2007)

Figura 2.3.19 Microestructura de ferrita

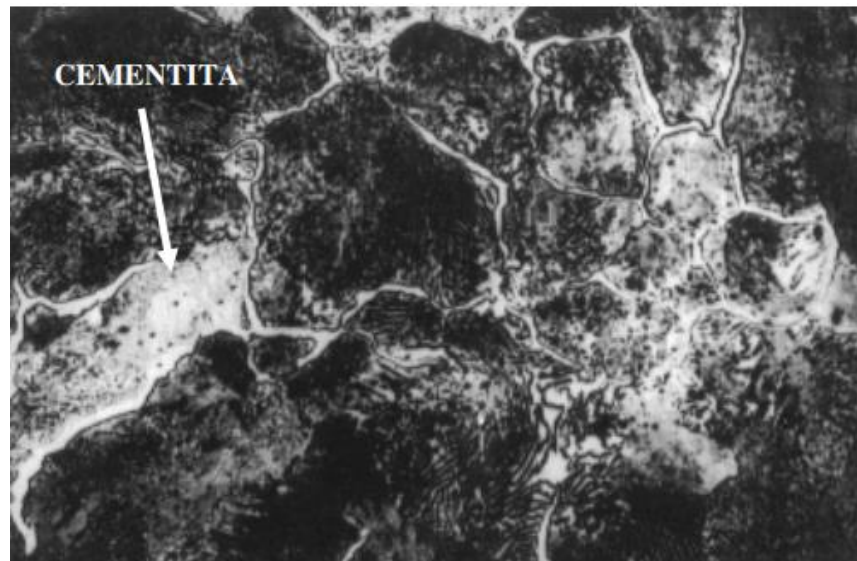


Fuente: (MEJÍA P., 2007)

- **Cementita:**

Se le denomina así al carburo de hierro Fe_3C , este microconstituyente es el mas duro, alcanzando una dureza de 700 HB sin embargo presenta una gran fragilidad. (MEJÍA P., 2007)

Figura 2.3.20 Microestructura de cementita

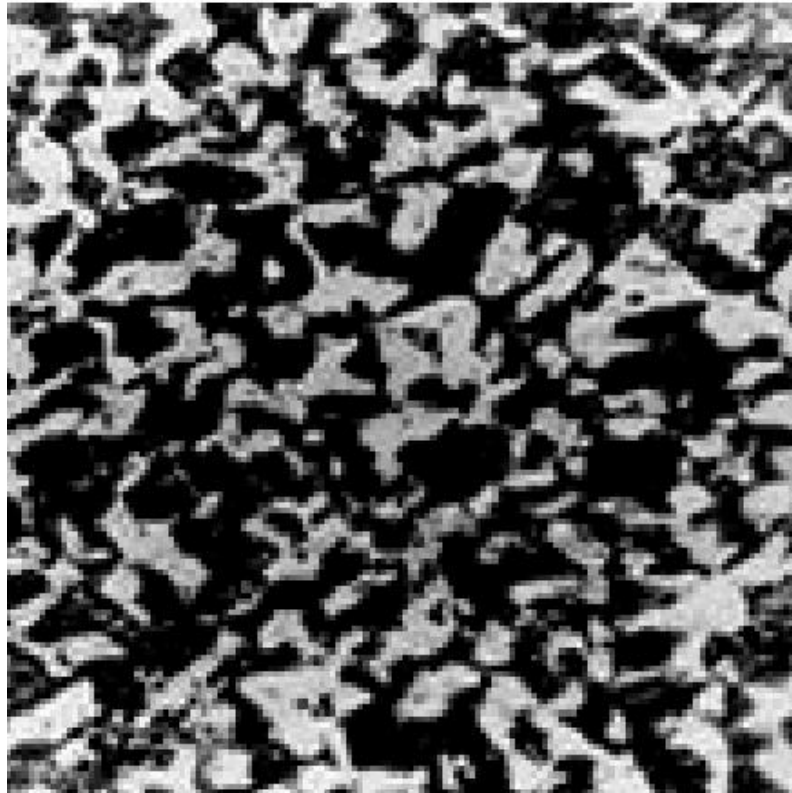


Fuente: (MEJÍA P., 2007)

- **Perlita:**

Microestructura conformada por 88% de ferrita y 12% de cementita con 0.77% de carbono. Tiene una dureza de 250 HB, resistencia a la tracción de 80 kg/mm^2 . Esta microestructura por lo general aparece por el enfriamiento lento de la austenita, si el enfriamiento es rápido se genera la sorbita y al someter la perlita laminar a un recocido obtenemos la perlita globular. (MEJÍA P., 2007)

Figura 2.3.21 Microestructura de perlita

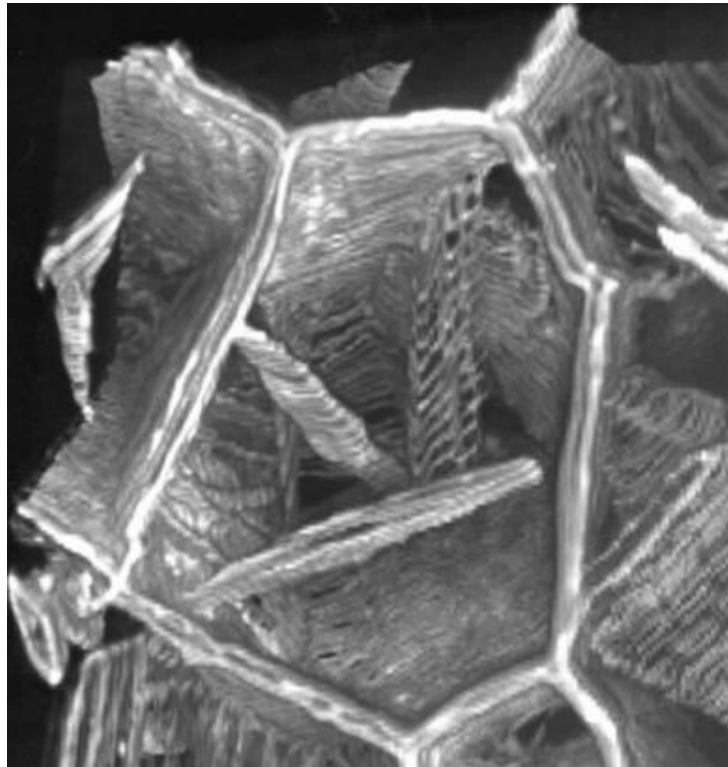


Fuente: (MEJÍA P., 2007)

- **Austenita:**

Es el más denso de los microconstituyentes, esta formado por una solución sólida de carbono inserto en hierro gamma. La austenita esta formado por granos cúbicos centrados en las caras, tiene una dureza de 305 Vickers, resistencia a la tracción de 100kg/mm^2 y no es magnética.

Figura 2.3.22 Microestructura de austenita



Fuente: (MEJÍA P., 2007)

Para visualizar la austenita se disuelve con agua regia en glicerina apareciendo como granos poligonales. (MEJÍA P., 2007)

- **Martensita:**

Esta conformada por una solución sobresaturada de carbono o carburo de hierro en ferrita y se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros desde su fase austenítica a altas temperaturas. El contenido de carbono suele aumentar hasta 1% de carbono, la martensita tiene una dureza de 50 a 68 HRC, resistencia a la tracción 170 a 250 kg/mm² y es muy frágil. (MEJÍA P., 2007)

Figura 2.3.23 Microestructura de martensita

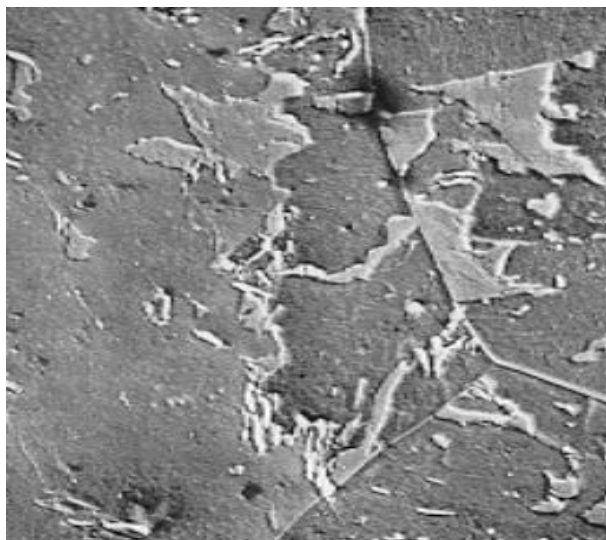


Fuente: (MEJÍA P., 2007)

- **Bainita:**

Proviene de la transformación isotérmica de la austenita, tiene una dureza entre 40 y 60 HRC.

Figura 2.3.24 Microestructura de bainita



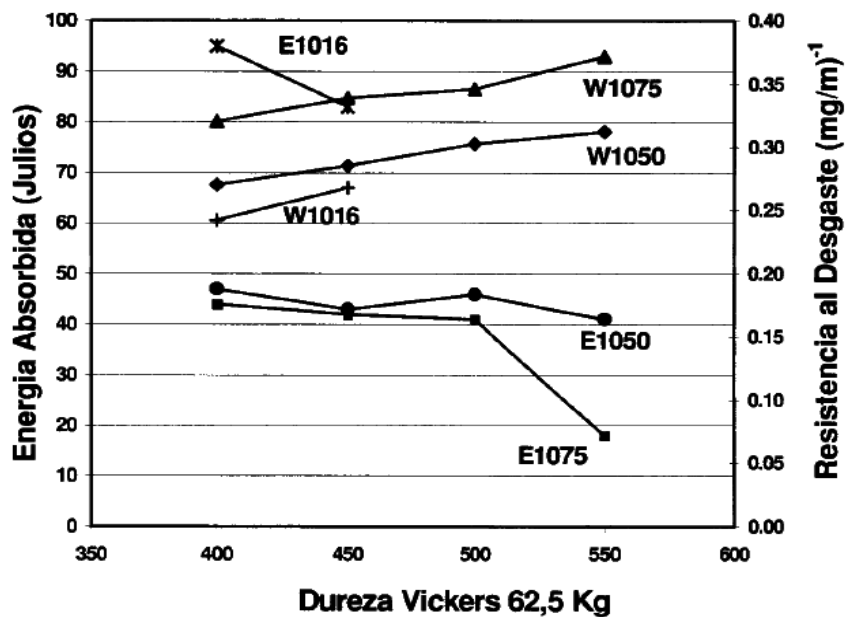
Fuente: (MEJÍA P., 2007)

2.3.5 Relación entre desgaste y dureza

La fabricación de piezas mecánicas que estarán sometidas a efectos de desgaste, es algo inherente a la ingeniería, para ello se han diseñado una amplia diversidad de materiales con propiedades particulares para realizar una determinada función. Adicional al diseño de materiales, están los tratamientos térmicos y termoquímicos que buscan mejorar las propiedades de los materiales incidiendo en la microestructura de los mismos. (Relación entre desgaste y tenacidad para algunos aceros al carbono templados y revenidos a iguales niveles de dureza, 2000)

Una forma de disminuir el efecto del desgaste es incrementando la dureza del material, ya que, esta propiedad refiere a la resistencia del material a ser penetrado por otro cuerpo.

Gráfico 2.3.3 Resistencia al desgaste y energía absorbida vs. dureza Vickers



Fuente: (Relación entre desgaste y tenacidad para algunos aceros al carbono templados y revenidos a iguales niveles de dureza, 2000)

En el Gráfico 2.3.3 Resistencia al desgaste y energía absorbida vs. dureza Vickers se aprecia la relación de resistencia al desgaste, dureza y adicionalmente, la energía absorbida de tres aceros al carbono que fueron sometidos a tratamiento superficial. El gráfico tiene la siguiente descripción:

E : línea que representa la energía absorbida del acero (Julios)

W : línea que representa el desgaste del acero (mg/m^{-1})

Se logra apreciar que los aceros AISI 1016, AISI 1050 Y AISI 1075 poseen una pendiente ascendente al relacionar dureza y desgaste. Así mismo, el acero AISI 1050 es el que menos a perdido la capacidad de absorción de energía. (Relación entre desgaste y tenacidad para algunos aceros al carbono templados y revenidos a iguales niveles de dureza, 2000)

La prueba realizada a estos aceros es un ensayo de desgaste abrasivo que constó de una banda abrasiva de grano AFS 120 sobre la cual se deslizaba la probeta y se aplicó una carga de 2 kgf. (Relación entre desgaste y tenacidad para algunos aceros al carbono templados y revenidos a iguales niveles de dureza, 2000)

2.4 Definiciones de términos básicos

Brazo hidráulico de retroexcavadora: Ubicado en la parte posterior de la máquina, comprende: la pluma, el brazo, la pala o cucharón, la base, los cilindros hidráulicos y todo el equipo que origina su movimiento como las mangueras, válvulas y conectores parte del circuito hidráulico. (CASO S., 2008 pág. 5)

Tratamiento termoquímico de cementación: La cementación es un tratamiento termoquímico que consiste en aumentar el contenido de carbono en la superficie de la pieza de acero, rodeándolas con un medio carburante, y manteniendo todo el conjunto, durante cierto tiempo a elevada temperatura. (PEREZ P., 1996 pág. 103)

Cucharón de retroexcavadora: Estructura de acero cuya función es excavar la superficie y recoger el material de excavación. Se ubica en la parte exterior de la retroexcavadora, al final del brazo hidráulico. (CASO S., 2008)

Dureza: Resistencia a la indentación permanente bajo cargas estáticas o dinámicas. (ZAMBRANO M., 2015)

Pines: Componente mecánico de conexión en las articulaciones del brazo hidráulico.

CAPÍTULO III VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Identificación y definición de variables

Variable Independiente:

Tratamiento Termoquímico de cementación

Variable Dependiente:

Dureza de pines de acero SAE 1045.

3.2 Operacionalización de variables

Tabla 3.2.1 Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR	INSTRUMENTO
Dureza de pines de acero SAE 1045	Parámetros de fabricación de pines de acero SAE 1045	Características de los pines de acero SAE 1045	Formulas de diseño
	Costo de fabricación de pines de acero SAE 1045	Precio de pines de acero SAE 1045	Catálogos Cotizaciones
Tratamiento termoquímico de cementación			

Fuente: Elaboración propia

3.3 Hipótesis

Hipótesis general:

El tratamiento termoquímico de cementación incidirá en la dureza de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D.

Hipótesis específicas:

1. El tratamiento termoquímico de cementación influye en la microestructura de los pines de acero SAE 1045.
2. El tratamiento termoquímico de cementación influye en el costo de fabricación de pines de acero SAE 1045.

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y nivel de investigación

Tipo: Aplicada

Nivel: Descriptivo

4.1.1 Parámetros de diseño

Tabla 4.1.1 Parámetros de diseño

DIMENSION	UNIDAD DE MEDIDA
DUREZA	Rockwell C (HRC)
LONGITUD	Metro (m)
ESFUERZO	Mega pascales (MPa)

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Etapas del diseño

- Conocer las características del acero SAE 1045.
- Determinar los parámetros para la fabricación de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D.
- Aplicación del tratamiento termoquímico de cementación en pines de acero SAE 1045.
- Describir la influencia del tratamiento termoquímico de cementación en la dureza de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D.
- Analizar la microestructura de los pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D.
- Determinar los costos de fabricación de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D aplicando el tratamiento termoquímico de cementación.

4.1.3 Ingeniería de detalle

La investigación tomó en cuenta las dimensiones que brinda el fabricante de la retroexcavadora CAT 420 D, ya que los componentes mecánicos están estandarizados por éste.

Los pines evaluados consideran esas dimensiones, sin embargo, el material de fabricación es el acero SAE 1045.

Dimensiones del pin

Longitud = 0.359 m

Diámetro = 0.0449 m

Figura 4.1.1 Pin de marca CTP para Retroexcavadora CAT 420 D



Fuente: Elaboración propia

Dimensiones de la bocina

Diámetro interior = 0.0452 m

Diámetro exterior = 0.058 m

Altura = 0.0364 m

Figura 4.1.2 Bocina de marca CTP para retroexcavadora CAT 420 D



Fuente: Elaboración propia

Los pines evaluados forman parte de una articulación mecánica conformada por el pin (barra de sección circular) y bocinas.

Figura 4.1.3 Referencia de articulación mecánica de pin y bocina, marca CTP, para retroexcavadora CAT 420 D



Fuente: Elaboración propia

Dureza en pin de acero SAE 1045

Para el análisis de la dureza a se tomó como las siguientes consideraciones:

- Se realizó un análisis a la dureza de pines suministrados por el proveedor de marca CTP, los cuales son una marca alternativa a la los del fabricante, el cual tiene la dureza de 60 HRC como se puede apreciar en los ensayos de dureza realizado en el Anexo X-2 : Ensayo de dureza en pin de acero.

Figura 4.1.4 Ensayo de dureza de pin CTP

2.	DE LA MUESTRA	Se identificó según el cliente, como: Un (01) pin de acero de 44,9 mm de Øi y 359 mm de longitud Marca : CTP Código : 1545279 Uso : Componente mecánico de brazo hidráulico de retroexcavadora														
3.	EQUIPOS UTILIZADOS	• Durómetro digital Rockwell, marca MITUTOYO.														
4.	CONDICIONES DE ENSAYO	T. : 19 °C H.R. : 81 %														
5.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	• Norma ASTM E 18														
6.	RESULTADOS	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">LECTURAS (HRC)</th> <th rowspan="2">DUREZA PROMEDIO (HRC)</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>59,7</td> <td>59,8</td> <td>60,2</td> <td>60,5</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table>	LECTURAS (HRC)				DUREZA PROMEDIO (HRC)	1	2	3	4	59,7	59,8	60,2	60,5	60
LECTURAS (HRC)				DUREZA PROMEDIO (HRC)												
1	2	3	4													
59,7	59,8	60,2	60,5	60												

Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería
Mecánica – Laboratorio de Mecánica

- Se analizó la dureza de las bocinas, de marca CTP, las cuales están en contacto con el pin, se obtuvo una dureza de 61 HRC con lo cual se obtiene una dureza ligeramente mayor al pin como se puede apreciar en el Anexo X-3 : Ensayo de dureza en bocina.

Figura 4.1.5 Ensayo de dureza de bocina CTP

2.	DE LA MUESTRA	<p>Se identificó según el cliente, como:</p> <p>Una (01) bocina de acero de 45,2 mm de Øi; 58 mm de Øe y 36,4 mm de altura</p> <p>Marca : CTP Código : 20531731 Uso : Componente mecánico de brazo hidráulico de retroexcavadora</p>														
3.	EQUIPOS UTILIZADOS	<ul style="list-style-type: none"> • Durómetro digital Rockwell, marca MITUTOYO. 														
4.	CONDICIONES DE ENSAYO	<p>T. : 19 °C H.R. : 81 %</p>														
5.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	<ul style="list-style-type: none"> • Norma ASTM E 18 														
6.	<p>RESULTADOS</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="4">LECTURAS (HRC)</th> <th rowspan="2">DUREZA PROMEDIO (HRC)</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>60,4</td> <td>60,3</td> <td>60,3</td> <td>61,3</td> <td>61</td> </tr> </tbody> </table>		LECTURAS (HRC)				DUREZA PROMEDIO (HRC)	1	2	3	4	60,4	60,3	60,3	61,3	61
LECTURAS (HRC)				DUREZA PROMEDIO (HRC)												
1	2	3	4													
60,4	60,3	60,3	61,3	61												

Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería
Mecánica – Laboratorio de Mecánica

Estimación de la dureza requerida para pin de acero SAE 1045

Para realizar la estimación de la dureza requerida en los pines de acero SAE 1045 se consideró el estudio de comportamiento al desgaste en pasadores fabricados de acero AISI 1045, con el cual se logra encontrar la relación de fuerza y dureza mediante la siguiente fórmula, (ALCÁNTARA B., y otros, 2013):

$$HV = -243.452 + 0.0327563xPn \quad \text{Ec. 4.3}$$

La fórmula contempla las siguientes consideraciones:

- El tiempo de trabajo es en base a un año considerando 8 horas de trabajo diario lo cual da lugar a 2920 horas.

Luego:

HV : Dureza Vickers

Pn : Fuerza (N)

Aplicando tenemos:

$$Pn = 32700 \text{ N}$$

$$HV = 828 \text{ HV} \approx 64.5 \text{ HRC}$$

(ALCÁNTARA B., y otros, 2013)

Tabla 4.1.2 Estimación de las horas de trabajo en función de la dureza

DUREZA (HRC)	HORAS
64.5	2920
62	2807
60	2716
45	2037
43	1947

Fuente: Elaboración propia

Tratamiento termoquímico de cementación en pines de acero SAE 1045

➤ Ley de Fick aplicado a la cementación

Se consideró los siguientes datos:

Tabla 4.1.3 Coeficiente de difusión

Diffusing Species	Host Metal	$D_0(m^2/s)$	Activation Energy Q_d		Calculated Values	
			kJ/mol	$eV/atom$	$T(^{\circ}C)$	$D(m^2/s)$
Fe	α -Fe (BCC)	2.8×10^{-4}	251	2.60	500	3.0×10^{-21}
					900	1.8×10^{-15}
Fe	γ -Fe (FCC)	5.0×10^{-5}	284	2.94	900	1.1×10^{-17}
					1100	7.8×10^{-16}
C	α -Fe	6.2×10^{-7}	80	0.83	500	2.4×10^{-12}
					900	1.7×10^{-10}
C	γ -Fe	2.3×10^{-5}	148	1.53	900	5.9×10^{-12}
					1100	5.3×10^{-11}
Cu	Cu	7.8×10^{-5}	211	2.19	500	4.2×10^{-19}
Zn	Cu	2.4×10^{-5}	189	1.96	500	4.0×10^{-18}
Al	Al	2.3×10^{-4}	144	1.49	500	4.2×10^{-14}
Cu	Al	6.5×10^{-5}	136	1.41	500	4.1×10^{-14}
Mg	Al	1.2×10^{-4}	131	1.35	500	1.9×10^{-13}
Cu	Ni	2.7×10^{-5}	256	2.65	500	1.3×10^{-22}

Fuente:

<http://www.iim.unam.mx/mbizarro/Difusion%20en%20solidos.pdf>

$$D = D_0 x e^{\frac{-Q}{RT}}$$

$$Q = 148 \text{ KJ/mol}$$

$$R = 8.31 \times 10^{-3} \text{ KJ/K.mol}$$

$$T = 1198 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$D_0 = 2.3 \times 10^{-5} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

$$\text{Por lo tanto: } D = 8.04 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\frac{C_s - C_x}{C_s - C_0} = \text{Fer}\left(\frac{x}{2\sqrt{DT}}\right)$$

Donde:

$$x = 0.8 \text{ mm.}$$

$$T = \text{tiempo} = 1\text{h} = 3600 \text{ s}$$

$$D = 8.04 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$C_0 = 0.45 \%$$

$$C_s = 0.55 \%$$

$$\frac{x}{2\sqrt{DT}} = 2.35$$

Figura 4.1.6 Función error

$\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$	Fer (z)	$\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$	Fer (z)	$\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$	Fer (z)	$\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$	Fer (z)
0	0	0.40	0.4284	0.85	0.7707	1.6	0.9763
0.023	0.0282	0.45	0.4755	0.90	0.7970	1.7	0.9838
0.05	0.0564	0.50	0.55205	0.95	0.8209	1.8	0.9891
0.10	0.1125	0.55	0.5633	1.0	0.8427	1.9	0.9928
0.15	0.1680	0.60	0.6039	1.1	0.8802	2.0	0.9953
0.20	0.2227	0.65	0.6420	1.2	0.9103	2.2	0.9981
0.25	0.2763	0.70	0.6778	1.3	0.9340	2.4	0.9993
0.30	0.3286	0.75	0.7112	1.4	0.9523	2.6	0.9998
0.35	0.3794	0.80	0.7421	1.5	0.9661	2.8	0.9999

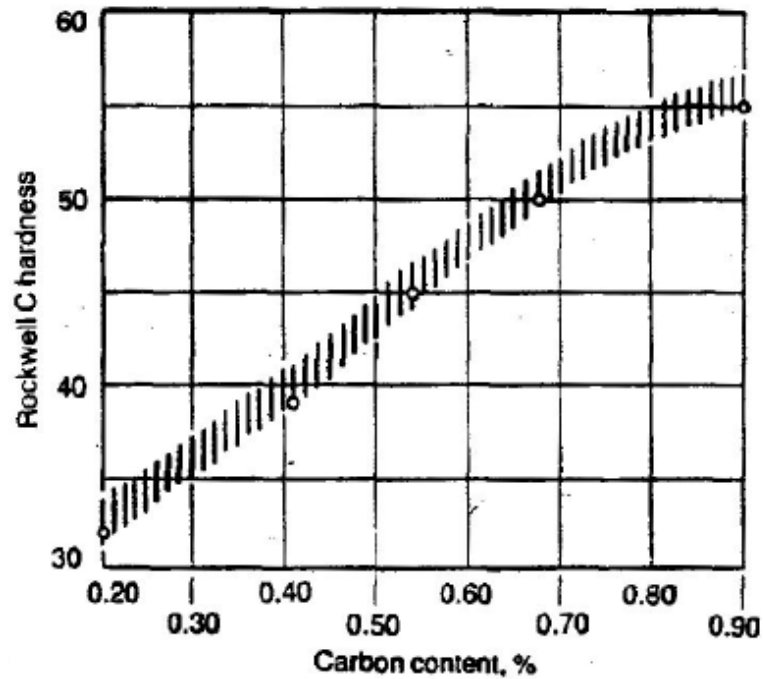
Fuente: (ALEMAN Montaño, 2014)

Interpolando obtenemos:

$$\frac{2.4 - 2.35}{2.4 - 2.2} = \frac{0.9993 - X}{0.9993 - 0.9981}$$

$$X = 0.999 = \text{Fer}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

Figura 4.1.7 Relación de porcentaje de carbono y dureza en elementos templados



Fuente: Estructura y propiedades de las aleaciones-Facultad de ingeniería-UNLP

Por lo tanto:

$$C_x = 0.451\%$$

Apreciando que coincide con el porcentaje de carbono del material ya que se considero el espesor total de la capa de cementado.

Al someter al tratamiento termoquímico de cementación a los pines de acero SAE 1045 se obtuvo lo siguiente:

Figura 4.1.8 Análisis metalográfico a pin de acero SAE 1045



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica

Laboratorio de Mecánica – Lab. N° 4

<p><u>INFORME TECNICO</u> Lb4-0149-2019</p> <p>ANÁLISIS METALOGRAFICO A BARRA CILINDRICA DE ACERO</p> <p>SOLICITANTE : ARTHUR EMERSON LLANOS OJEDA REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 105330 FECHA : Lima, 14 de Febrero de 2019</p>	
1.	<p>ANTECEDENTES</p> <p>Se recibió una (01) barra cilíndrica de acero, con la finalidad de realizarle análisis metalográfico.</p>
2.	<p>DE LA MUESTRA</p> <p>Se identificó según el cliente, como:</p> <p>Una (01) barra cilíndrica de acero SAE 1045 de 45 mm de Ø, con tratamiento termoquímico de cementación</p> <p>Tesis : "TRATAMIENTO TERMOQUÍMICO DE CEMENTACIÓN Y SU INCIDENCIA EN LA DUREZA DE PINES DE ACERO SAE 1045 PARA BRAZO HIDRÁULICO DE RETROEXCAVADORA CAT 420 D"</p>
3.	<p>EQUIPOS UTILIZADOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Microscopio Estereoscópico, marca CARL ZEISS. • Microscopio Metalográfico, marca CARL ZEISS. • Equipos para desbaste y pulido, marca STRUERS. • Abrasivos para desbaste, marca STRUERS • Abrasivo para pulido, marca STRUERS • Cámara Fotográfica con dispositivo macro.
4.	<p>CONDICIONES DE ENSAYO</p> <p>T. : 28 °C H.R. : 69 %</p>
5.	<p>PROCEDIMIENTO DE ENSAYO</p> <ul style="list-style-type: none"> •ASTM E 3 : "Preparación de muestras metalográficas" •ASTM E 407 : "Microataque de metales" •ASTM E 112 : "Determinación del tamaño de grano cristalino" <p>MANUALES TECNICOS: ASM METALS HAND BOOK: "ACEROS" ASM METALS HAND BOOK: "METALOGRAFÍA" ASM METALS HAND BOOK: "ATLAS DE MICROESTRUCTURA " ASM METALS HAND BOOK: "PROTECCIÓN SUPERFICIAL MEDIANTE PROCESOS TERMOQUÍMICOS"</p>



Av. Túpac Amaru 210 – Lima 25, Perú
 ☎ Teléfono: 381-3833 / 481-1070 Anexo 4413 / ✉ Email: laboratorio_4@outlook.com

Fuente: Anexo X-13 Análisis metalográfico del acero SAE 1045 cementado

Figura 4.1.9 Resultados de análisis metalográfico a pin de acero SAE 1045



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica

Laboratorio de Mecánica – Lab. N° 4

Lb4-0149-2019

RESULTADOS			
El análisis metalográfico se realizó en toda la sección transversal de la barra cilíndrica, obteniéndose los siguientes resultados:			
ZONA	ESTADO MICROESTRUCTURAL	TAMAÑO GRANO ASTM	FOTO MICROGRAFIA (Anexo)
Núcleo de la barra	- Matriz perlítica masiva, conteniendo ferrita libre en límites de grano austenítico y compuestos intermetálicos precipitados.	9	1, 2, 3, 4
Intermedio núcleo – superficie	- Matriz perlítica masiva, conteniendo ferrita libre dispersa, en menor porcentaje y compuestos intermetálicos precipitados.	8	5, 6, 7, 8
Superficie de la barra	- Matriz martensítica acircular hasta una capa superficial media de 0,8 mm.	7 - 8	9, 10, 11, 12
De los resultados obtenidos, es posible concluir lo siguiente:			
<ol style="list-style-type: none"> 1. La citada barra cilíndrica, posee protección superficial con estado microestructural martensítico, probablemente realizado mediante procesos termoquímicos hasta una profundidad media de 0,8 mm. 			
* Código de autenticación : XIXA CXLIX MAUR TTIT			



ING. BERNABÉ TARAZONA BERMÚDEZ
 CIP. 61907
 Jefe del Laboratorio de Mecánica – Lab. N°4

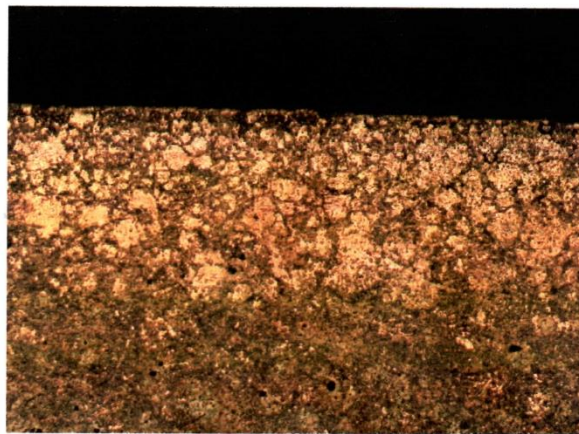
Fuente: Anexo X-13 Análisis metalográfico del acero SAE 1045 cementado

La microestructura del pin de acero presenta un cambio en su superficie evidenciando formación de martensita, ya que después del cementado este se acompañó de tratamientos de temple y revenido.

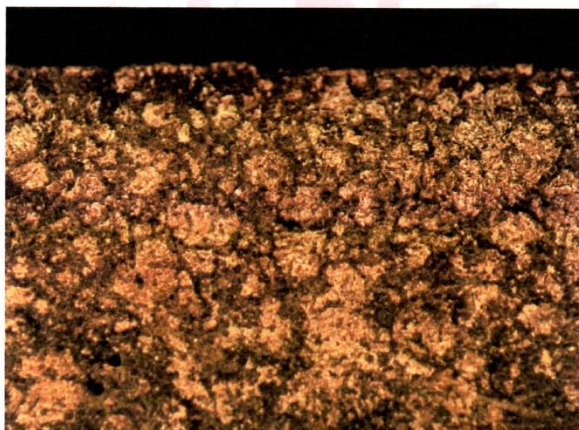
Figura 4.1.10 Microestructura de la superficie del acero SAE 1045



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Mecánica
Laboratorio de Mecánica – Lab. N° 4



FOTOMICROGRAFIA N° 9 – 100x



FOTOMICROGRAFIA N° 10 – 200x



Av. Túpac Amaru 210 – Lima 25, Perú
☎ Teléfono: 381-3833 / 481-1070 Anexo 4413 / ✉ Email: laboratorio_4@outlook.com

Fuente: Anexo X-13 Análisis metalográfico del acero SAE 1045 cementado

Figura 4.1.11 Micrografía a la superficie del pin de acero SAE 1045



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Mecánica
Laboratorio de Mecánica – Lab. N° 4



FOTOMICROGRAFIA N° 11 – 500x



FOTOMICROGRAFIA N° 12 – 1000x



Av. Túpac Amaru 210 – Lima 25, Perú
☎ Teléfono: 381-3833 / 481-1070 Anexo 4413 / ✉ Email: laboratorio_4@outlook.com

Fuente: Anexo X-13 Análisis metalográfico del acero SAE 1045 cementado

Resistencia al desgaste en relación a la dureza

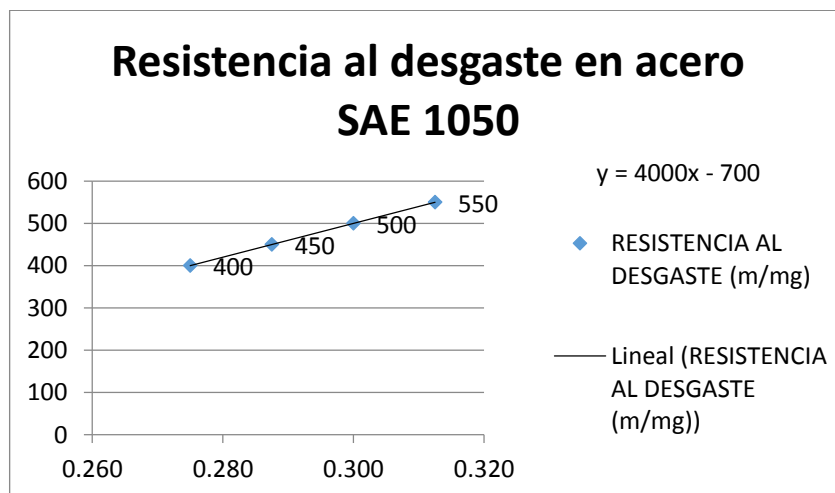
Según estudios realizados en acero SAE 1050 que posee características similares al acero SAE 1045 en niveles de carbono, la resistencia al desgaste se incrementa al incrementar la dureza superficial de la pieza sometida a tal efecto.

Tabla 4.1.4 Relación de dureza y desgaste

DUREZA (HV)	RESISTENCIA AL DESGASTE (m/mg)
400	0.275
450	0.2875
500	0.3
550	0.3125

Fuente: Elaboración propia (Relación entre desgaste y tenacidad para algunos aceros al carbono templados y revenidos a iguales niveles de dureza, 2000)

Gráfico 4.1.1 Resistencia al desgaste en acero SAE 1050



Fuente: Elaboración propia (Relación entre desgaste y tenacidad para algunos aceros al carbono templados y revenidos a iguales niveles de dureza, 2000)

Tensión máxima de contacto entre pin y bocina

Una de las exigencias a las cuales están sometidos los pines de retroexcavadora CAT 420, en material SAE 1045, es el contacto que surge entre el pin y bocina, los cuales realizan la transmisión de fuerza derivada de los pistones del brazo hidráulico de la retroexcavadora.

Para la evaluación de la tensión se tomó en cuenta estudios realizados en referencia a pasadores de sección circular, en el cual se plasmó la siguiente ecuación: (Fricción y desgaste en elementos circulares empleados en pasadores, 2009)

$$\sigma_{max} = 0.418x \sqrt{\frac{F_n \times E}{l} \times \frac{R_2 - R_1}{R_2 \times R_1}} \quad \text{Ec. 4.1}$$

Donde:

σ_{max} : Tensión máxima de contacto (N/m^2)

F_n : Fuerza nominal (N)

R_1 : Radio del pin (m)

R_2 : Radio de bocina (m)

l : Longitud de la zona de contacto en el pin (m)

E : Modulo de elasticidad (N/m^2)

Datos:

$$F_n = 32,7 \times 10^3 \text{ N}$$

$$R_1 = 0,0225 \text{ m}$$

$$R_2 = 0,02265 \text{ m}$$

$$l = 0,0364 \text{ m}$$

$$E = 200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

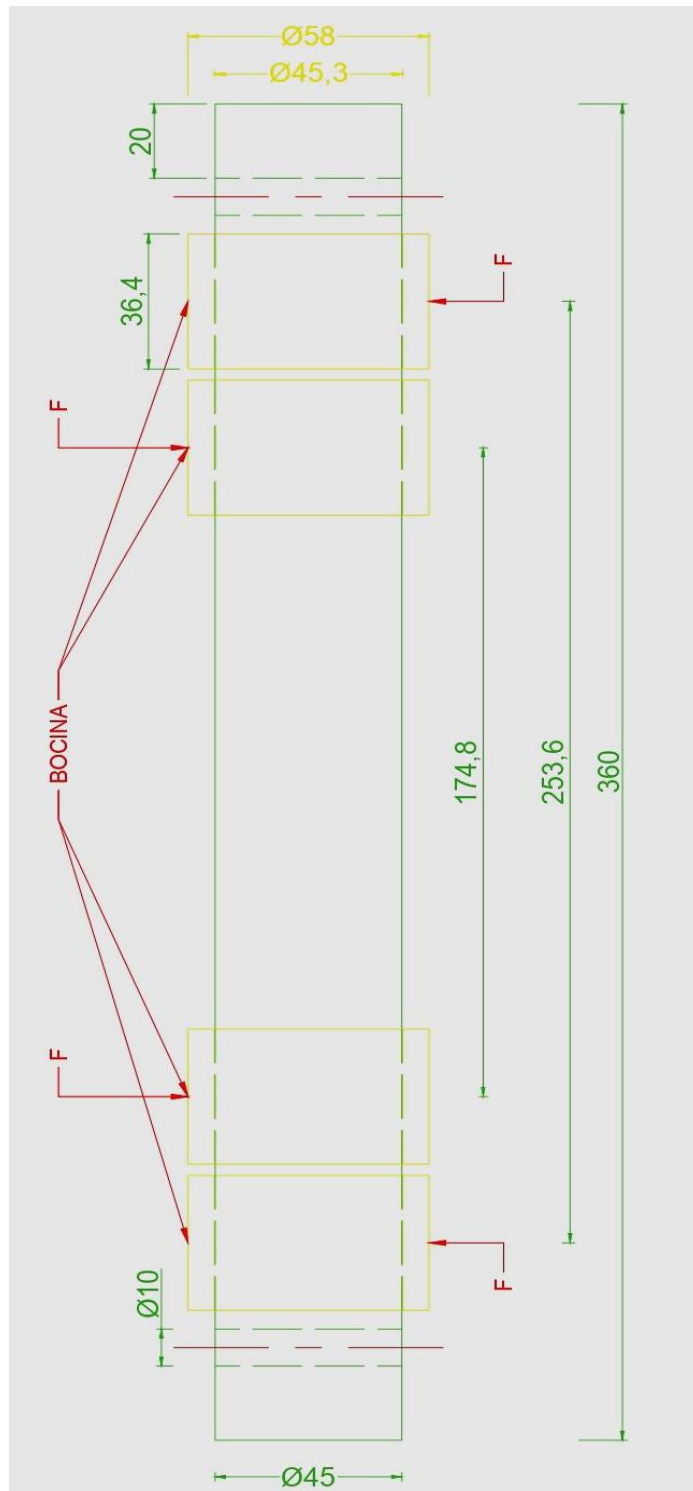
Los datos a considerar provienen de las dimensiones que ha estandarizado el fabricante así mismo de la ficha técnica de la maquina retroexcavadora CAT 420D como se muestra en el Anexo X-6: Especificaciones técnicas de retroexcavadora 420 D.

Por lo tanto:

$$\sigma_{max} = 96124641.13 \text{ N/m}^2 \approx 97 \text{ MPa}$$

Cálculo de esfuerzos

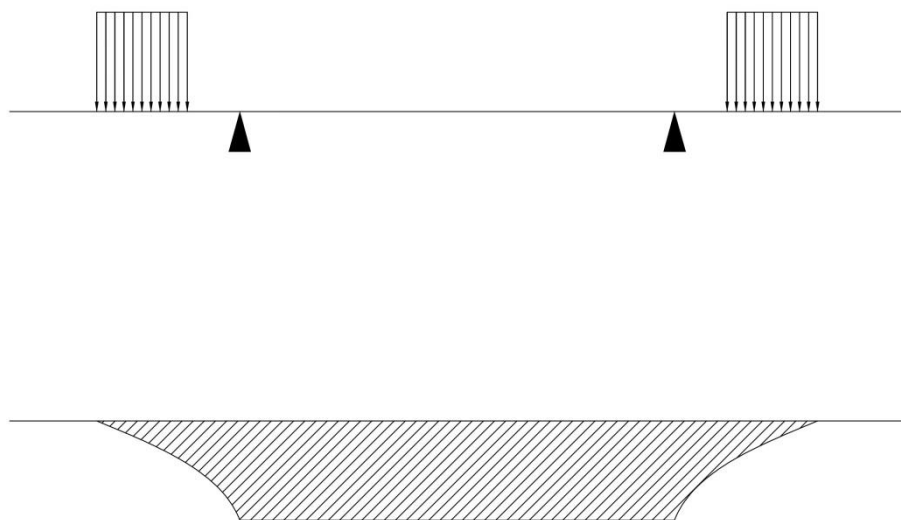
Figura 4.1.12 Pin y bocina



Fuente: Elaboración propia

La Figura 4.1.12 Pin y bocina muestra las dimensiones del pin y las bocinas con las cuales esta en contacto, la transmisión de fuerza será mediante las bocinas.

Figura 4.1.13 Esquema de fuerzas y momento flector



Fuente: Elaboración propia

La Figura 4.1.13 Esquema de fuerzas y momento flector se presenta las fuerzas relevantes y diagrama de momento flector.

Luego de tener las dimensiones y analizar el esquema se aplicó las fórmulas correspondientes para la evaluación de esfuerzos. (CASO S., 2008)

$$\sigma_f = \frac{32 \times M_{fmax}}{\pi \times d^3} \quad \text{Ec. 4.2}$$

σ_f : Esfuerzo de flexión

M_{fmax} : Momento flector máximo

d : Diámetro del pin

Datos:

$$M_{fmax} = 32,7 \times 10^3 \text{ N} \times 0,0395 \text{ m} \approx 1300 \text{ Nm}$$

$$d = 0.045 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$\sigma_f = 145313484.4 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \approx 146 \text{ MPa}$$

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{370 \text{ MPa}}{146 \text{ MPa}} = 2.53$$

Esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{F_n}{A} \quad \text{Ec. 4.3}$$

$$F_n = 32,7 \times 10^3 \text{ N}$$

$$A = 1.195 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Por lo tanto:

$$\tau = 27364016.74 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \approx 28 \text{ MPa}$$

4.1.4 Análisis de costos

Costo de fabricación de pines con método de cementación

Tabla 4.1.5 Cuadro de costos de producción

CUADRO DE COSTO PARA 64 UNIDADES	
costo de material	\$ 719.08
costo de mecanizado	\$ 960.00
costo de cementación	\$ 1,077.00
logística	\$ 50.00
COSTO TOTAL	\$ 2,806.08

CUADRO DE PRECIO UNITARIO	
costo unitario	\$ 43.84
Margen de ganancia (20%)	\$ 8.77
sub total	\$ 52.61
I.G.V. 18%	\$ 9.47
PRECIO VENTA	\$ 62.08

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4.1.5 Cuadro de costos de producción fue elaborado en función a las cotizaciones de proveedores de servicios de tratamiento de cementación y mecanizado (Anexo X-10: Costo de servicio de cementación de pines, Anexo X-9: Costo de material y Anexo X-11 Cotización del servicio de mecanizado).

Asimismo el precio unitario de pines suministrado por el fabricante Caterpillar es \$ 261.2 el cual fue obtenido de la empresa Ferreyros, la cual es proveedora de repuestos originales. Anexo X-12: Costo de pin suministrado por el fabricante

4.2 Población y muestra

Estudio de sujeto único. Población y muestra coinciden.

4.3 Técnicas e instrumentos de la recolección de la información documental

Se utilizó la técnica documental y empírica.

Tabla 4.3.1 Recolección de datos

TECNICA	INSTRUMENTOS
Documental	Ficha bibliográfica
Empírica	Ensayos de durómetro

Fuente: Elaboración propia

4.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información de campo

No aplica a esta investigación.

4.5 Análisis y procesamiento de datos

No aplica a esta investigación.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Cementación sólida para pin de acero SAE 1045

Se obtuvo una dureza de 62 HRC con un espesor de capa cementada de 0.68mm. (Cementación Sólida de un acero al Carbono AISI/SAE 1045, 2015)

Figura 5.1.1 Probeta de acero SAE 1045 sometida a cementación sólida



Fuente: (Cementación Sólida de un acero al Carbono AISI/SAE 1045, 2015)

5.2 Cementación líquida para pin de acero SAE 1045

Se obtuvo una dureza de 43 HRC a 44 HRC con un espesor de capa cementada de 0.6mm. a 0.8mm.(Anexo X-7 : Certificado de cementado líquido)

Figura 5.2.1 Cementación líquida de pin de acero SAE 1045



Fuente: Elaboración propia

5.3 Cementación gaseosa para pin de acero SAE 1045

Se obtuvo una dureza de 45 HRC con un espesor de capa cementada de 0.6mm. a 0.8mm.(Anexo X-8: Certificado de cementado gaseoso)

Figura 5.3.1 Cementación gaseosa



Tabla 5.3.1 Tratamientos de cementación aplicados

TRATAMIENTO TERMOQUIMICO APLICADO	GRADO DE DUREZA	CAPA CEMENTADA
Cementación sólida	62 HRC	0.00068 m
Cementación líquida	43 HRC – 44 HRC	0.0006 m – 0.0008 m
Cementación gaseosa	45 HRC	0.0006 m – 0.0008 m

Fuente: Elaboración propia

5.4 Microestructura del pin de acero SAE 1045

La microestructura cambió luego del tratamiento termoquímico de cementación obteniendo:

- Núcleo de la barra: Contiene perlita y ferrita libre, con un tamaño de grano N° 9.
- Intermedio del núcleo y superficie: Contiene perlita y ferrita libre, con un tamaño de grano N° 8.
- Superficie: Matriz martensítica acircular, capa superficial de 0.8 mm.

5.5 Esfuerzo máximo de flexión

$$\sigma_f = 145313484.4 \frac{N}{m^2} \approx 146 \text{ MPa}$$

5.6 Esfuerzo máximo a corte

$$\tau = 27364016.74 \frac{N}{m^2} \approx 28 \text{ MPa}$$

5.7 Tensión máxima entre pin y bocina

$$\sigma_{max} = 96124641.13 \frac{N}{m^2} \approx 97 \text{ MPa}$$

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contratación de la hipótesis

En base a los resultados hallados:

El tratamiento termoquímico de cementación incidió en la dureza de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D generando un incremento de esta propiedad, logrando un cambio de 193 HB (Dureza Brinell) hasta un valor de 44 HRC y 62 HRC (Dureza Rockwell C).

El tratamiento termoquímico influyó en la microestructura de los pines de acero SAE 1045 ya que al incrementar la concentración de carbono en la superficie la cantidad de estructura martensítica también se incrementó, logrando una mejora en la dureza e incrementar la resistencia al desgaste. Uno de los efectos favorables del proceso de cementación es que la estructura interna conserva su tenacidad la cual es importante en el caso de los pines.

El tratamiento termoquímico de cementación influyó en el costo de fabricación de pines de acero SAE 1045 ya que se pudo contrastar el costo total de fabricación de pines de acero SAE 1045 con los pines suministrados por el fabricante de la retroexcavadora logrando apreciarse una gran diferencia.

6.2 Contrastación de los resultados con estudios similares

Se aplicó el tratamiento termoquímico de cementación gaseoso y líquido obteniendo una dureza entre los 43 HRC y 45 HRC lo cual evidencia un incremento en la dureza de los pines SAE 1045, Sin embargo en la revista Informador técnico - volumen 79 – año 2015, en el capítulo Cementación sólida a un acero al carbono AISI/SAE 1045, realiza los ensayos de aplicación de un ciclo de cementado a un acero SAE 1045 logrando resultados favorables al elevar la dureza del material, logrando una dureza de 62 HRC. (Cementación Sólida de un acero al Carbono AISI/SAE 1045, 2015)

6.3 Responsabilidad ética

La investigación propone la aplicación del tratamiento termoquímico de cementación, sin embargo, no se puede realizar sin contemplar las normas de seguridad y salud ocupacional los cuales son mencionados en la norma: NTP-ISO 45001:2018 Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo. Requisitos con orientación para su uso. 1a Edición.

Se considera que la cementación es un proceso que contempla la manipulación de objetos que están a altas temperaturas por lo cual se debe emplear los equipos de protección adecuados según indica la norma.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

En base a los resultados hallados se concluye que el tratamiento termoquímico de cementación incide en la dureza de los pines de acero SAE 1045 generando un incremento ya que el acero SAE 1045 se suministra en una dureza de 193 HB y con la aplicación de la cementación sólida se obtiene una dureza de 62 HRC.

Al aplicar la cementación en los pines de acero SAE 1045 se influye en la microestructura del material logrando obtener martensita que es una de las microestructuras esenciales para incrementar la dureza en la pieza. Dicha propiedad esta ligada a la resistencia al desgaste por lo cual también se vio incrementada. Asimismo se realizó un análisis de esfuerzos en los pines a fin de comprobar su resistencia ante ellos considerando un factor de seguridad de 2.2.

En relación a la dureza se pudo analizar que está incrementa la resistencia al desgaste de los aceros. Asimismo, se pudo estimar una duración de 1947 horas de trabajo de los pines de acero SAE 1045 cementados.

La cementación es un tratamiento termoquímico económico por lo que influye en los costos de fabricación de pines de acero SAE 1045 logrando que estos tengan un precio reducido con respecto a los pines ofrecidos por el fabricante de retroexcavadora CAT 420D. Los pines de acero SAE 1045 resultaron tener un precio de \$62.08 mientras que los del fabricante cuestan \$261.2 generando una diferencia de \$199.12.

CAPÍTULO VIII

RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso del tratamiento termoquímico de cementación ya que es un proceso con resultados positivos cuando se requiere incrementar la dureza, la que genera mayor incremento es la cementación sólida sin embargo los otros tipos de cementación también generan resultados positivos y de buena apariencia superficial. Si se decide utilizar la cementación líquida se recomienda tener el cuidado debido con los gases que se emanan ya que resultan ser nocivos para la salud debido a la presencia de cianuro en el proceso.

La cementación es un proceso que depende de la atmosfera carburante y también del tiempo de exposición, si se desea mayor cambio en la microestructura se sugiere incrementar el tiempo de exposición con la finalidad de tener una superficie con mayor concentración de carbono la cual dará paso a la generación de martensita luego del proceso de temple.

Los costos de fabricación de los pines SAE 1045 se redujeron considerablemente, sin embargo, estos costos están en función de proveedores por lo que se recomienda realizar el tratamiento de cementación con equipos propios a fin de reducir aun mas el costo de la producción de pines.

CAPÍTULO IX

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÁNTARA B., Dayanis, FERNÁNDEZ C., Tomás Hernaldo y RODRÍGUEZ G., Isnel. 2013. *Comportamiento Al Desgaste En Pasadores Fabricados de Acero Aisi 1045.* Saarbrücken : Editorial Academica Española, 2013.

ALEMAN Montaño, R. 2014. *Evaluación del proceso de endurecimiento superficial de un acero SAE 1020 mediante carburización sólida y posterior temple y revenido.* Facultad de ingeniería de procesos, Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa : s.n., 2014. Tesis de grado.

ALEXANDER P., Willian y RAMOS R., Gustavo. 2017. *Análisis de las propiedades mecánicas de tensión, tenacidad y dureza de un acero SAE 1045 mediante los procesos de tratamiento térmico de temple, criogenia y revenido.* Facultad Tecnológica de Ingeniería Mecánica, Universidad Distrital Francisco José Caldas. Bogota : s.n., 2017. Tesis de grado.

ALFONSO G., Nicolas. 2017. *Análisis de la resistencia a la tensión y dureza de un acero SAE 1045 sometido a diferentes tratamientos térmicos: temple, criogenia y revenido a 400 °C.* Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá : s.n., 2017. Tesis.

APRAIZ B., José. 1997. *Tratamientos Térmicos de los Aceros.* 9. Madrid : LIMUSA, 1997.

BOHLER, Aceros. Manual de Aceros Especiales. Versión MAE 18-108 pág. 28.

CASO S., Mirella Delmira. 2008. *Brazo Excavador Compacto.* Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima : s.n., 2008. Tesis de titulación.

Cementación Sólida de un acero al Carbono AISI/SAE 1045.
BELLAIZA, Leonardo, y otros. 2015. 2, Calí : s.n., 2015, Memorias I Simposio de Materiales Poliméricos, Vol. 79.

CÓRDOVA V., Sheila. 2003. *Proceso de nitruración gaseosa en los aceros SAE 4340, SAE 4140, SAE 0-1, SAE 1045.* Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima : s.n., 2003. Tesis de grado.

Diseño e Implementación de un Sistema de Cementación gaseosa para el Tratamiento Superficial de Aceros. **RÍOS, Oscar, y otros. 2016.** 8, Medellín : s.n., 2016, Revista Colombiana de Materiales.

ESPINOZA M., Ciro. 2010. *Metodología de la investigación tecnológica.* Huancayo : s.n., 2010.

Fricción y desgaste en elementos circulares empleados en pasadores. **ALCÁNTARA B., D., FERNÁNDEZ C., T. y RODRIGUEZ G., I. 2009.** 2, Holguín-Cuba : s.n., 2009, Vol. 12.

GUILLERMO E., Alejandro. 2016. *Estudio de los procesos de tratamientos superficiales y térmicos para piezas realizadas por fabricación mecánica.* Escuela técnica superior de náutica,

máquinas y radioelectrónica naval, Universidad de la Laguna. Santa Cruz de Tenerife : s.n., 2016. Trabajo de fin de grado.

LIZARAZO A., Pedro Javier. 2015. *Evaluación de la resistencia al desgaste y a la corrosión de aceros bainíticos aleados con boro.* INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA . Bogotá : s.n., 2015. Tesis de grado.

MANCHA G., Salvatore. 2006. *Diseño de un ciclo de cementado y tratamiento térmico de arcos de candado en acero SAE 1022.* Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima : s.n., 2006. Tesis de grado.

MEDIAN S., Edwin Alberto y CASTELLANOS L., Raúl Andrés. 2015. *Análisis fractográfico de un acero al carbono sae 1045 sometido a cargas de tensión, flexión e impacto.* Universidad Francisco José Caldas. Bogotá : s.n., 2015. Tesis de grado.

MEJÍA P., Erick Alexander. 2007. *Compilación de microestructuras de piezas de acero al carbono de uso frecuente en El Salvador.* Facultad de ingeniería y arquitectura, Universidad centroamericana José Simeón Cañas. Antiguo Cuscatlán : s.n., 2007. Tesis de grado.

Pautas para el diseño de partes metálicas resistentes al desgaste.
SAMPÉN A., Luis. 2003. 2, 2003, Industrial data, Vol. 6.

PEREZ P., Juan Antonio. 1996. *Tratamientos Térmicos de los Aceros.* Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolas de los Garza : s.n., 1996. pág. 103, Tesis de Maestrando.

Relación entre desgaste y tenacidad para algunos aceros al carbono templados y revenidos a iguales niveles de dureza.

SIERRA R., Horacio, y otros. 2000. Medellín : s.n., 2000, Revista universidad EAFIT.

SALAZAR T., Jorge Eduardo. 2007. *Resistencia de materiales básica para estidiantes de ingeniería.* PRIMERA EDICIÓN. Manizales : Centro de publicaciones de la Universidad Nacional de Colombia, 2007.

ZAMBRANO M., Luis Felipe. 2015. *Determinación de la correlación entre los parámetros del ensayo de dureza Meyer y el comportamiento ante el desgaste abrasivo de diferentes metales.* Ciencias de la energía y mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Sangolquí : s.n., 2015. Tesis.

CAPÍTULO X

ANEXOS

Anexo X-1 Matriz de consistencia

"TRATAMIENTO TERMOQUIMICO DE CEMENTACION Y SU INCIDENCIA EN LA DUREZA DE PINES DE ACERO SAE 1045 PARA BRAZO HIDRAULICO DE RETROEXCAVADORA CAT 420D"						
Planteamiento del Problema			Variables e Hipotesis		Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos	
Realidad Problemática	Formulación del Problema	Objetivos de la Investigación	Variables	Hipotesis	Diseño de la investigación	
<p>Las maquinas retroexcavadoras son fundamentales para las labores de construcción por lo que realizan trabajos aplicando fuerzas de gran magnitud, es por ello que sus elementos mecánicos también están expuestos a ellos. Uno de estos elementos son los pines del brazo hidráulico que articulan y transmiten la fuerza de los pistones hidráulicos.</p> <p>Los pines están expuestos, por lo general, a fuerzas radiales y al efecto de desgaste por lo tanto deben tener propiedades especiales y una de ellas es la dureza que contrarresta el efecto de desgaste y tener una buena resistencia mecánica para soportar los esfuerzos de las fuerzas radiales, ante esto se emplean aceros especiales que por lo general tienen un precio elevado al igual que los pines ofrecidos por el fabricante de la máquina retroexcavadora.</p> <p>Con un adecuado tratamiento termoquímico se puede lograr que materiales como el acero SAE 1045, pueda ser empleado como pin de brazo hidráulico de retroexcavadora al mejorar su dureza superficial y así soportar los efectos del desgaste, como caso particular en las retroexcavadoras CAT 420D.</p> <p>El acero SAE 1045 es un acero con un costo bajo en el mercado por lo que se busca que, sea considerado como una opción ideal y rentable para cumplir la función de pin de brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D.</p>	<p><u>Problema General</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿En qué medida un tratamiento termoquímico de cementación incide en la dureza de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D? <p><u>Problemas Especificos</u></p> <p>¿Cuál es la influencia del tratamiento termoquímico de cementación en la microestructura de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D?</p> <p>¿Cuál es la influencia del tratamiento termoquímico de cementación en el costo de fabricación de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D?</p>	<p><u>Objetivo General</u></p> <p>Determinar la incidencia del tratamiento termoquímico de cementación en la dureza de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D.</p> <p><u>Objetivos Especificos</u></p> <p>Determinar la influencia del tratamiento termoquímico de cementación en la microestructura de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D.</p> <p>Determinar la influencia del tratamiento termoquímico de cementación en el costo de fabricación de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D</p>	<p>VI: Tratamiento Termoquímico de cementación</p> <p>VD: Dureza de pines de acero SAE 1045</p>	<p><u>Hipotesis General</u></p> <p>El tratamiento termoquímico de cementación incidirá en la dureza de pines de acero SAE 1045 para brazo hidráulico de retroexcavadora CAT 420D.</p> <p><u>Hipotesis Especificos</u></p> <p>El tratamiento termoquímico de cementación influye en la microestructura de los pines de acero SAE 1045.</p> <p>El tratamiento termoquímico de cementación influye en el costo de fabricación de pines de acero SAE 1045.</p>	<p>Técnica documental</p> <p>Técnica empírica</p>	<p><u>Tipo de investigación:</u></p> <p>- Aplicada</p> <p><u>Nivel de investigación:</u></p> <p>- Descriptivo</p>

Anexo X-2 : Ensayo de dureza en pin de acero



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Mecánica
 Laboratorio de Mecánica – Lab. N° 4

INFORME TECNICO
 Lb4-1208-2018

ENSAYO DE DUREZA EN PIN DE ACERO

SOLICITANTE : **ARTHUR EMERSON LLANOS OJEDA**

REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 104859

FECHA : Lima, 12 de Octubre de 2018

1.	ANTECEDENTES	Se recibió un (01) pin de acero con la finalidad de realizarle ensayo de dureza.															
2.	DE LA MUESTRA	Se identificó según el cliente, como: Un (01) pin de acero de 44,9 mm de Øl y 359 mm de longitud Marca : CTP Código : 1545279 Uso : Componente mecánico de brazo hidráulico de retroexcavadora															
3.	EQUIPOS UTILIZADOS	• Durómetro digital Rockwell, marca MITUTOYO.															
4.	CONDICIONES DE ENSAYO	T. : 19 °C H.R. : 81 %															
5.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	• Norma ASTM E 18															
6.	RESULTADOS	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">LECTURAS (HRC)</th> <th>DUREZA PROMEDIO (HRC)</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>59,7</td> <td>59,8</td> <td>60,2</td> <td>60,5</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table>	LECTURAS (HRC)				DUREZA PROMEDIO (HRC)	1	2	3	4		59,7	59,8	60,2	60,5	60
LECTURAS (HRC)				DUREZA PROMEDIO (HRC)													
1	2	3	4														
59,7	59,8	60,2	60,5	60													
* Código de autenticación : DCLXXXII MCCVIII TAPI TTTT																	


JEFATUNIC: BERNABÉ TARAZONA BERMÚDEZ
 CIP. 61907
 Jefe del Laboratorio de Mecánica – Lab. N°4

Anexo X-3 : Ensayo de dureza en bocina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica

Laboratorio de Mecánica – Lab. N° 4

INFORME TECNICO
Lb4-1207-2018

ENSAYO DE DUREZA EN BOCINA DE ACERO

SOLICITANTE : **ARTHUR EMERSON LLANOS OJEDA**

REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 104859

FECHA : Lima, 12 de Octubre de 2018

1.	ANTECEDENTES	Se recibió una (01) bocina de acero con la finalidad de realizarle ensayo de dureza.														
2.	DE LA MUESTRA	Se identificó según el cliente, como: Una (01) bocina de acero de 45,2 mm de Øi; 58 mm de Øe y 36,4 mm de altura Marca : CTP Código : 20531731 Uso : Componente mecánico de brazo hidráulico de retroexcavadora														
3.	EQUIPOS UTILIZADOS	• Durómetro digital Rockwell, marca MITUTOYO.														
4.	CONDICIONES DE ENSAYO	T. : 19 °C H.R.: 81 %														
5.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	• Norma ASTM E 18														
6.	RESULTADOS	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">LECTURAS (HRC)</th> <th rowspan="2">DUREZA PROMEDIO (HRC)</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>60,4</td> <td>60,3</td> <td>60,3</td> <td>61,3</td> <td>61</td> </tr> </tbody> </table>	LECTURAS (HRC)				DUREZA PROMEDIO (HRC)	1	2	3	4	60,4	60,3	60,3	61,3	61
LECTURAS (HRC)				DUREZA PROMEDIO (HRC)												
1	2	3	4													
60,4	60,3	60,3	61,3	61												
* Código de autenticación : DCLXXXII MCCVII TAPI FHT																


ING. BERNABÉ TARAZONA BERMÚDEZ
 CIP. 61907
 Jefe del Laboratorio de Mecánica – Lab. N°4

Anexo X-4 Reporte metalográfico de cementación gaseosa



**LABORATORIO DE ENSAYOS NO
DESTRUCTIVOS**

Av. Arambides 2025, Lima 14 - PERU Telf: (511) 471-1066
Email: comercial@endecot-ndt.pe Web: www.endecot-ndt.pe



REPORTE METALOGRAFICO					
ORDEN DE SERVICIOS-END		: 0519		REPORTE: 0557-01-MET	
1. DATOS GENERALES					
Cliente		: ARTUR LLANOS OJEDA			
Lugar de Ensayo		: ENDECOT-NDT SAC			
Fecha de Ensayo		: 19 de Diciembre del 2018.			
2. CARACTERÍSTICAS DEL ELEMENTO ENSAYADO					
Denominación		: barra redonda de diámetro 45mm.	Material	: Acero SAE 1045 cementado gaseosa	
Serie / Código		: -----	Espesor	: -----	
3. CONDICIÓN DEL ENSAYO					
Micrografía	<input checked="" type="checkbox"/>	Toma directa	<input checked="" type="checkbox"/>	Replicas <input type="checkbox"/>	
Macrografía	<input type="checkbox"/>	Toma directa	<input type="checkbox"/>		
Tiempo de ataque : 50 segundos					
4. NORMAS Y/O CODIGOS D E ENSAYO					
Norma de Ensayo		: ASTM E3 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. ASTM E 407 Standard Practice for Microetching Metal and Alloys			
Norma de Calificación (ref.):		: -----			
5. EQUIPOS, ACCESORIOS E INSUMOS UTILIZADOS (Marca /Código/Serie)					
Microscopio		: Microscopio Metalográfico MM-02	Reactivo de ataque	: Nital 20%	
Cámara fotográfica		: Cámara Digital Kodak C 713	Replica metalografía	: -----	
6. RESULTADOS DEL ENSAYO:					
DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO					
Nº	Ubicación	Valores de Medición (mm)		Promedio (mm)	Observación
1	Barra de cementación Gaseosa	M1	0.15 mm	0.15 mm	-----
		M2	0.14 mm		
		M3	0.14 mm		
		M4	0.15 mm		
Total: un (01) barra redonda de diámetro 45mm de cementación gaseosa					
Nota: Las fotografías muestran los detalles de los análisis realizados					
Nomenclatura:					
M: Punto de medición					
Fecha de Emisión: Lima, 20 de Diciembre del 2018.					
Responsable			Supervisor Cliente		

Anexo X-5 Reporte metalográfico de cementación líquida



**LABORATORIO DE ENSAYOS NO
DESTRUCTIVOS**

Av. Arenales 2925, Lima 14 - PERÚ - Telf: +5111471-1066
Email: comercial@endecot-ndt.pe - Web: www.endecot-ndt.pe

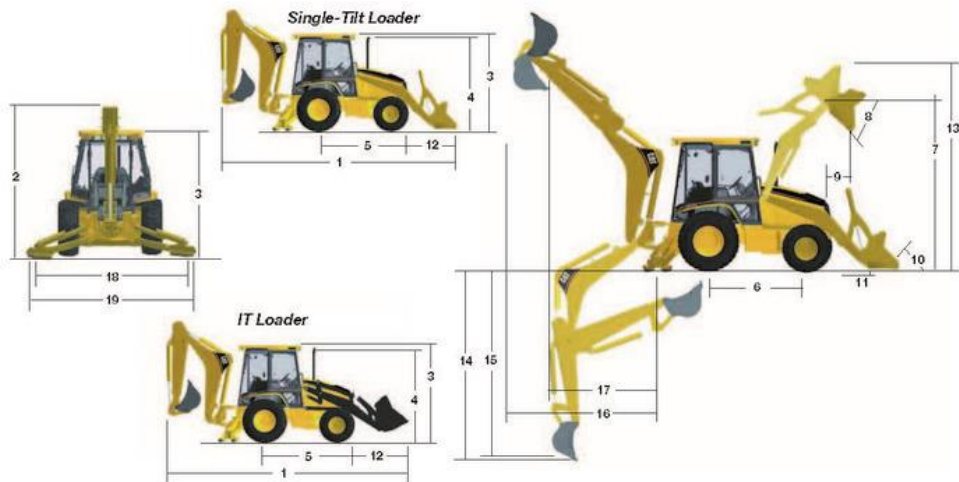


REPORTE METALOGRAFICO					
ORDEN DE SERVICIOS-END	: 0519	REPORTE:	0557-02-MET		
1. DATOS GENERALES					
Cliente	: ARTUR LLANOS OJEDA				
Lugar de Ensayo	: ENDECOT-NDT SAC				
Fecha de Ensayo	: 19 de Diciembre del 2018.				
2. CARACTERÍSTICAS DEL ELEMENTO ENSAYADO					
Denominación	: barra redonda de diámetro 45mm.	Material	: Acero SAE 1045 cementado liquida		
Serie / Código	: -----	Espesor	: -----		
3. CONDICIÓN DEL ENSAYO					
Micrografía	<input checked="" type="checkbox"/>	Toma directa	<input checked="" type="checkbox"/>	Replicas <input type="checkbox"/>	
Macrografía	<input type="checkbox"/>	Toma directa	<input type="checkbox"/>		
Tiempo de ataque : 50 segundos					
4. NORMAS Y/O CODIGOS D E ENSAYO					
Norma de Ensayo	: ASTM E3 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. ASTM E 407 Standard Practice for Microetching Metal and Alloys				
Norma de Calificación (ref.):	: -----				
5. EQUIPOS, ACCESORIOS E INSUMOS UTILIZADOS (Marca /Código/Serie)					
Microscopio	: Microscopio Metalográfico MM-02	Reactivo de ataque	: Nital 20%		
Cámara fotográfica	: Cámara Digital Kodak C 713	Replica metalografía	: -----		
6. RESULTADOS DEL ENSAYO:					
DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO					
Nº	Ubicación	Valores de Medición (mm)		Promedio (mm)	Observación
1	Barra de cementación	M1	0.07 mm	0.07 mm	-----
		M2	0.06 mm		
	Gaseosa	M3	0.06 mm		
		M4	0.07 mm		
Total: un (01) barra redonda de diámetro 45mm de cementación gaseosa					
Nota: Las fotografías muestran los detalles de los análisis realizados					
Nomenclatura:					
M: Punto de medición					
Fecha de Emisión: Lima, 20 de Diciembre del 2018.					
Responsable			Supervisor Cliente		

Anexo X-6: Especificaciones técnicas de retroexcavadora 420 D

Backhoe Dimensions and Performance

	Standard Stick	Extendible Stick Retracted	Extendible Stick Extended
(14) Digging depth, SAE (max)	4390 mm/14 ft 5 in	4465 mm/14 ft 8 in	5510 mm/18 ft 1 in
(15) Digging depth, 2 ft flat bottom	4362 mm/14 ft 4 in	4432 mm/14 ft 7 in	5474 mm/18 ft 0 in
Reach from rear axle centerline at ground line	6740 mm/22 ft 1 in	6795 mm/22 ft 4 in	7765 mm/25 ft 6 in
(16) Reach from swing pivot at ground line	5650 mm/18 ft 6 in	5705 mm/18 ft 9 in	6675 mm/21 ft 11 in
Maximum operating height	5450 mm/17 ft 11 in	5470 mm/17 ft 11 in	6140 mm/20 ft 2 in
Loading height	3613 mm/11 ft 10 in	3630 mm/11 ft 11 in	4175 mm/13 ft 8 in
(17) Loading reach	1732 mm/5 ft 8 in	1819 mm/6 ft 0 in	2736 mm/9 ft 0 in
Swing arc	180°	180°	180°
Bucket rotation	205°	205°	205°
(18) Stabilizer spread, operating position (center of pad)	3219 mm/10 ft 7 in	3219 mm/10 ft 7 in	3219 mm/10 ft 7 in
(19) Stabilizer spread, operating position (outside edge of pad)	3689 mm/12 ft 1 in	3689 mm/12 ft 1 in	3689 mm/12 ft 1 in
Stabilizer spread, transport position	2352 mm/7 ft 9 in	2352 mm/7 ft 9 in	2352 mm/7 ft 9 in
Bucket dig force	65.4 kN/14,712 lb	64.8 kN/14,586 lb	64.8 kN/14,586 lb
Stick dig force	38.2 kN/8,593 lb	37.5 kN/8,421 lb	27.5 kN/6,188 lb



Anexo X-7 : Certificado de cementado líquido

voestalpine High Performance Metals del Perú S.A.

CONSTANCIA 17843/2018

SOLICITADO POR : ARTHUR LLANOS OJEDA
RUC :
FECHA : miércoles, 24 de octubre de 2018

Estimado Cliente:

Por la presente se deja constancia que se realizó el Servicio de Tratamiento Térmico de CEMENTACION, según documento interno OT Nro. 393805 con Boleta Electrónica BB060002047 (24/10/2018) del lunes, 22 de octubre de 2018.

En los siguientes términos:

DENOMINACION DE LA PIEZA	:	PIN
TOTAL PIEZAS	:	1
PESO TOTAL	:	2.28 Kg.
PROFUNDIDAD	:	0.6 - 0.8 mm
MATERIAL ACERO	:	1045 (*)
DUREZA DESEADA	:	MAXIMA
DUREZA OBTENIDA	:	43 - 44 HRC (**)

(*) Según especificaciones dadas por el cliente.

(**) La dureza obtenida corresponde al promedio del ensayo realizado.

Observaciones.

Este documento garantiza que el tratamiento térmico se realizó dentro de los parámetros normales y bajo supervisión técnica, en las instalaciones de voestalpine High Performance Metals del Perú S.A.

Atentamente,


Voestalpine High Performance
Metals del Perú S.A.
Christian Benítez Aguirre
Asistente de Producción

Of. Principal: Calle Luis Castro Rancero 777 Lima 01 - Perú
Ventas: 619-3232 / Administración: 619-3250 / Tratamientos Térmicos: 619-3240
Asesoría: 619-3251 / Soldaduras: 619-3248 / Control de Materiales: 619-3252
Sucursal ATE: Av. Nicolás Aylón 2158 Zona Industrial Santa Lucía - Ate / 619-3247
Sucursal LOS OLIVOS: Av. Carlos Izaguirre 1347 - Los Olivos / 619-3231
Sucursal AREQUIPA: Calle Angamos 204 Urb. María Isabel - Arequipa / (051) 28-2884
www.bohlerperu.com / E-mail: ventas@bohlerperu.com
Representantes en: HUANCAYO - PIURA

voestalpine
ONE STEP AHEAD.

Anexo X-8: Certificado de cementado gaseoso

http://192.168.1.173:3000/Miembros/Logistico/Tratamiento/Forma...



INFORME
PED2018003983

ENSAYO DE DUREZA - LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD																				
Solicitado por: LLANOS OJEDA ARTHUR EMERSON																				
Dirección: MAGNOLIAS 2-MZ C LT 30 SAN MARTIN DE PORRES																				
Fecha de Emisión: 23 de Octubre de 2018																				
Condiciones de la Pieza Tratada Térmicamente Tipo de Acero: SAE 1045 Tratamiento Térmico: Cementación 0.6-0.8 mm															Ensayo de Dureza 					
Condiciones de Ensayo Equipo: PETRI Modelo: PETRI F-26 Tipo de Ensayo: DUREZA ROCKWELL C. Norma de Referencia: ASTM E18-15 Fecha de Ejecución: 22 de Octubre de 2018 Temperatura de Trabajo: Condiciones Normales															Descripción: 01 PIEZA MUESTREO NTP - ISO 2859-1 Cantidad Piezas: 1 Muestreo: 1					
Resultados de Ensayo de Dureza																				
Muestra		Mediciones (HRC)																		
Descripción	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
PIEZA	45.0																			
Obs.Muestra:																				
Observación:																				
Se expide el presente documento para los fines que crea conveniente																				
Atentamente Area de Trabajo: Laboratorio de Control de Calidad															Corporacion Sudamericana de Aceros Especiales S.A.C.  Ing. Terehuaco Ortiz Salcedo Jefe de Planta de Tratamientos Térmicos					

Anexo X-9: Costo de material

voestalpine High Performance Metals del Perú S.A.
R.U.C. 20100036101
 Los Chinos Barrera 101 (Sector Miraflores) Lima - Perú
 Sucursal: Calle Luis Cabero Roca 177, Lima

COTIZACIÓN 14 0126681 JCP

FECHA : 24/10/2018
 HORA : 12:20p.m
 MONEDA : Dólares

CONDICIONES DE PAG : VENTA AL CONTADO

VENDEDOR: OFICINA LIM

ENTREGAR EN

CONTACTO

TELEF:

Visitenos en : www.bohlerperu.com
www.voestalpine.com/highperformancemetals/peru/es/

VALIDEZ DE LA OFERTA: 7 DIAS
 SALVO PREVIA VENTA
(En caso de pedido, indicar N° de cotización)

SEÑOR (ES): ARTUR LLANOS
 CON: 00000 - 03 AG: 2%+
 Lima
 LIMA, LIMA, LIMA

R.U.C.
 TELEF.

SOLICITANTE:

E-MAIL:

Agradecemos su interés, nos es grato ofrecerle lo siguiente:

N° CÓDIGO PZAS DESCRIPCIÓN DE LA MERCADERIA

1	1-41-0936	4	AC: H-1045 RED Barra 50mm x 6030mm
2	1-61-2022	5	AC: H-1045 Tref RED Barra 44.45mm x 5800mm

IMPORTE

CANTIDAD	VALOR UN TOTAL ITEM	719.08
4.00 pz *	179.77	719.08
5.00 pz *	158.82	794.08

OBS:

TELÉFONOS:

Ventas: 619-3232
 Planta-TT: 619-3240
 Administ.: 619-3250
 Ate: 619-3247
 Arequipa: (054)28-2884
 L. Norte: 619-3231

ventas@bohlerperu.com
creditos.peru@voestalpine.com
trading@bohlerperu.com
arequipa@bohlerperu.com

La compra o aprobación de la
 orden, implica la aceptación de las
 Condiciones Generales del Servicio
 o términos de www.bohlerperu.com

JULISSA CASTRO P.
 Dpto. de Ventas

Directo: 619-3232 Anexo 173
 Telef: Rpm Vtas
 E-mail: julissa.castro@bohlerperu.com

TOTAL DESCUENTO: US\$ 0.00

V. VTA APROX: US\$ 1,513.16

IGV: 18% US\$ 272.37

TOTAL NETO APROX US\$ 1,785.53

REG PERCEPCIÓN 2%+ US\$ 0.00

TOTAL A PAGAR APROX US\$ 1,785.53

EL VALOR APROXIMADO PUEDE VARIAR DE ACUERDO AL PESO REAL DE BALANZA

Preparado por: **JULISSA CASTRO P.**

voestalpine

Enviar copia del abono al siguiente e-mail, para registro del pago:
 correo electrónico: [creditos.peru@voetalpine.com](mailto:creditos.peru@voestalpine.com)
 Telef: 619-3244 619-3243 RPM #545611

Los cotizaciones quedan sujetas a la autorización de la tasa de venta.

Anexo X-10: Costo de servicio de cementación de pines

http://192.168.1.173:3000/Miembros/CRM/FormatoImpresion/F...



RUC: 20603426780

COTIZACION N°: CT2018009638

Miércoles, 24 de Octubre del 2018

Oficina Principal: Av. Precursores Nro. 324 Dpto. 302 Int. Edif. A Urb. Las Leyendas San Miguel
 Almacén Principal: Av. Oscar R. Benavides 1244 - Ex Colonial 44084442

RUC :		DATOS GENERALES			
CLIENTE: 44084442 - LLANOS OJEDA ARTHUR EMERSON DIRECCION: MAGNOLIAS 2-MZ C LT 30 SAN MARTIN DE PORRES FORMA PAGO: - CONTADO RESPONSABLE		AGENCIA: Lima USUARIO:			
N° Código	Servicio	Pieza	Peso	PUNIT	V.VENTA
1	TT010180 Cementación 0.6-0.8 mm 201-700 Kg	50	250.00	12.64	3.159.59
Detracción: 10%		SUBTOTAL: MN		3,159.59	
		IGV: MN		568.73	
		NETO: MN		3,728.31	
DATOS DEL SERVICIO					
Material: SAE 1045		Doc. Ref.:			
Descripción: 50 PINES		Req. Probeta: NO		Temple al Agua: NO	
Tratamiento: Cementación 0.6-0.8 mm		Profundidad:			
OBSERVACIONES			INSPECCIÓN		
DEFORMACION A RIESGO DEL CLIENTE (Todos los servicios - aparece por defecto) Sobremedida o Tol. Maquinado: 0			Sin Observación		
Zona Medición:					
Acabado Final: Arenado					
Teléfono Lima: 01 - 7198989 / 982562758			Teléfono Arequipa: 054 - 601000 / 054 - 600627		
Cuenta Corriente en Dólares Banco de Crédito: 191-2504550-1-94 Cuenta CCI: 00219100250455019454			Cuenta Corriente en Dólares Interbank: 417-300144420-0 Interbank CCI: 003-417-003001444200-35		
Cuenta Corriente en Soles Banco de Crédito: 191-2478630-0-65 Cuenta CCI: 00219100247863006557			Cuenta Corriente en Soles Interbank: 417-300144421-9 Interbank CCI: 003-417-003001444219-35		
Pasado los 30 días útiles de recogido el material, no habrá lugar a reclamo					

Anexo X-11 Cotización del servicio de mecanizado

RUC.20562684485



Diseño.
Mantenimiento De Máquinas Industriales.
Fabricación En Acero Inoxidable-304-316.
Maestranza y Servicios de Torno, Fresa,
Soldadura en Tig.

26 de Diciembre del 2018

COTIZACIÓN N° 01018-18

Señores.

Atención : SR. ARTHUR LLANOS

Estimado reciba nuestro cordial saludo a la vez hacerle llegar nuestra cotización de lo siguiente:

<u>CANT</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PRECIO UNITARIO SOLES</u>	<u>PRECIO TOTAL SOLES</u>
50	Servicio de fabricación de pines paralelos Ø 45mm x 450mm Long, con 02 agujeros de Ø 10mm en ambos extremos según plano.	50.00	2,500.00

CONDICIONES COMERCIALES:

- ✓ Tiempo de entrega : 5 Días Útiles
- ✓ Tipo de Moneda : Soles
- ✓ Los precios no incluyen IGV : 18%
- ✓ Cuenta BCP : 191-2220601-122
- ✓ Cuenta detracción banco de la nación : 00-057-039876
- ✓ Forma de Pago : 30 Días Útiles

A la espera de su pronta respuesta y la confianza que nos brinda.

Atentamente,

Víctor Tamara
Gerente General

Av. Universitaria 3746 -Los Olivos
Telf: (01)6073744 Cel.: 969072925 - 993709125

Email: vitalaservicios@gmail.com

Anexo X-12: Costo de pin suministrado por el fabricante

Ferreyros S.A.
 Jr. Cristóbal de Peralta Norte No. 820
 Urb. San Idelfonso, Santiago de Surco - Lima, Perú
 T 626-4000 / F 626-4507

Ferreyros CAT

COTIZACIÓN NRO. 230872106 PÁG. 1

LÍNEA 22 DE UNA EMPRESA FERREYROS

VENTAS CASH 9999999
 AV. CRISTÓBAL DE PERALTA NORTE 820
 REFERENCIA
 ATN. VENTAS DE STOCK

VALIDEZ DE LA OFERTA HASTA EL 22 DE OCT DE 2016

NRO. ITEM	CANT. COTT	PRO. PARTE	DESCRIPCION	VALOR DE VENTA UNITARIO USA BRUTO	MOSC. CTO.	VALOR DE VENTA UNITARIO USA NETO	VALOR DE VENTA TOTAL USA NETO	VALOR DE VENTA UNITARIO S/ NETO	VALOR DE VENTA TOTAL S/ NETO	RAM. PDR.
1	1	000	PIN			221.36	221.36	752.62	752.62	
				VALOR DE VENTA USA		221.36	221.36	VALOR VENTA S/	752.62	
				VALOR I.G.V USA		39.84	39.84	VALOR I.G.V S/	135.47	
				PRECIO DE VENTA USA		261.20	261.20	PRECIO DE VENTA S/	888.09	

-SE HAN PROMULGADO NORMAS QUE PROHIBEN Y SANCIONAN LA MINERIA ILEGAL. LOS BIENES Y/O SERVICIOS DETALLADOS EN ESTE COMPROBANTE NO PODRAN SER DESTINADOS NI DIRECTA NI INDIRECTAMENTE A UNA ACTIVIDAD CONSIDERADA DE MINERIA ILEGAL.

Los precios de ventas en soles son referenciales y han sido calculados utilizando el tipo de cambio venta de s/. 3.40, vigente en el banco de crédito del Perú a la fecha de la presente cotización. La facturación se realizará en dólares americanos y podrá ser pagada en soles al tipo de cambio venta vigente en el banco de crédito en el día de su cancelación (resolución cambiaria 830.90.07/90 art. 7).

TIEMPO DE ATENCIÓN - DIAS DE ENTREGA - (COTIZACIÓN)

	STOCK A NIVEL NACIONAL			IMPORTACION AEREA (*)		
NORMALIDAD DE VENTA	EN STOCK	EN SUCURSAL	MIAMI	EELU	FUEGA DE EELU	
STOCK	INMEDIATO	1 - 3	3 - 7	6 - 10	10 - 20	
ENTREGA DIFERIDA	-	-	8 - 12	10 - 20	15 - 45	

El tiempo de atención de los repuestos no disponibles a nivel nacional están sujetos a:

- Disponibilidad de Fabrica.
- (*) Repuestos con peso y volumen excesivo deberían ser importados via marítima. Coordinar el plazo de entrega con su Representante de venta
- Repuestos inflables ser importados via marítima (30 - 40 días)
- Coordinar el tiempo de atención de otras líneas con su Representante de Ventas.

REPRESENTANTE DE VENTAS : WALTER D. VILELA BECERRA 0001

Anexo X-13 Análisis metalográfico del acero SAE 1045 cementado



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica

Laboratorio de Mecánica – Lab. N° 4

INFORME TECNICO
Lb4-0149-2019

**ANÁLISIS METALGRÁFICO A BARRA
CILÍNDRICA DE ACERO**

SOLICITANTE : **ARTHUR EMERSON LLANOS OJEDA**

REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 105330

FECHA : Lima, 14 de Febrero de 2019

1.	ANTECEDENTES	Se recibió una (01) barra cilíndrica de acero, con la finalidad de realizarle análisis metalográfico.
2.	DE LA MUESTRA	Se identificó según el cliente, como: Una (01) barra cilíndrica de acero SAE 1045 de 45 mm de Ø, con tratamiento termoquímico de cementación Tesis : "TRATAMIENTO TERMOQUÍMICO DE CEMENTACIÓN Y SU INCIDENCIA EN LA DUREZA DE PINES DE ACERO SAE 1045 PARA BRAZO HIDRÁULICO DE RETROEXCAVADORA CAT 420 D"
3.	EQUIPOS UTILIZADOS	<ul style="list-style-type: none"> • Microscopio Estereoscópico, marca CARL ZEISS. • Microscopio Metalográfico, marca CARL ZEISS. • Equipos para desbaste y pulido, marca STRUERS. • Abrasivos para desbaste, marca STRUERS • Abrasivo para pulido, marca STRUERS • Cámara Fotográfica con dispositivo macro.
4.	CONDICIONES DE ENSAYO	T. : 28 °C H.R. : 69 %
5.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	<ul style="list-style-type: none"> •ASTM E 3 : "Preparación de muestras metalográficas" •ASTM E 407 : "Microataque de metales" •ASTM E 112 : "Determinación del tamaño de grano cristalino" <p>MANUALES TECNICOS: ASM METALS HAND BOOK: "ACEROS" ASM METALS HAND BOOK: "METALOGRAFÍA" ASM METALS HAND BOOK: "ATLAS DE MICROESTRUCTURA " ASM METALS HAND BOOK: "PROTECCIÓN SUPERFICIAL MEDIANTE PROCESOS TERMOQUÍMICOS"</p>

Av. Túpac Amaru 210 – Lima 25, Perú
 ☎ Teléfono: 381-3833 / 481-1070 Anexo 4413 / ✉ Email: laboratorio_4@outlook.com





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica

Laboratorio de Mecánica – Lab. N° 4

Lb4-0149-2019

ZONA	ESTADO MICROESTRUCTURAL	TAMAÑO GRANO ASTM	FOTO MICROGRAFIA (Anexo)
Núcleo de la barra	- Matriz perlítica masiva, conteniendo ferrita libre en límites de grano austenítico y compuestos intermetálicos precipitados.	9	1, 2, 3, 4
Intermedio núcleo – superficie	- Matriz perlítica masiva, conteniendo ferrita libre dispersa, en menor porcentaje y compuestos intermetálicos precipitados.	8	5, 6, 7, 8
Superficie de la barra	- Matriz martensítica acircular hasta una capa superficial media de 0,8 mm.	7 - 8	9, 10, 11, 12

De los resultados obtenidos, es posible concluir lo siguiente:

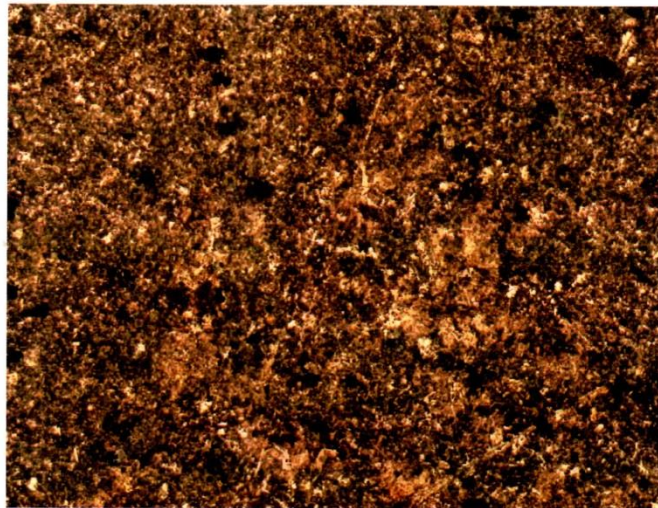
1. La citada barra cilíndrica, posee protección superficial con estado microestructural martensítico, probablemente realizado mediante procesos termoquímicos hasta una profundidad media de 0,8 mm.

* Código de autenticación : XIXA CXLIX MAUR TTIT

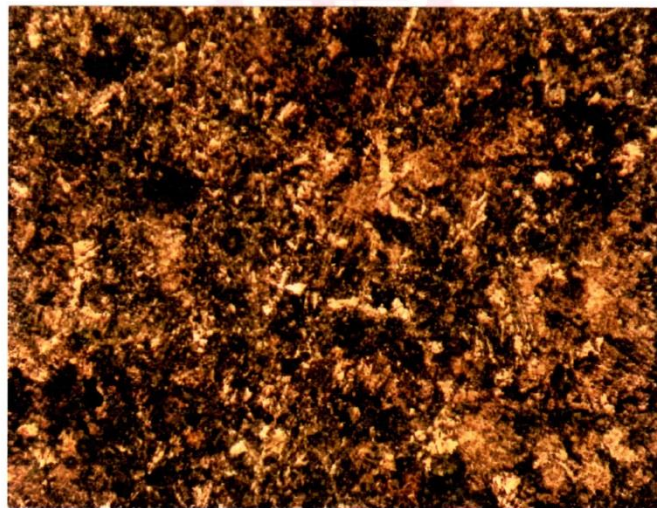

BERNABÉ TARAZONA BERMÚDEZ
CIP. 61907
Jefe del Laboratorio de Mecánica – Lab. N°4



A N E X O

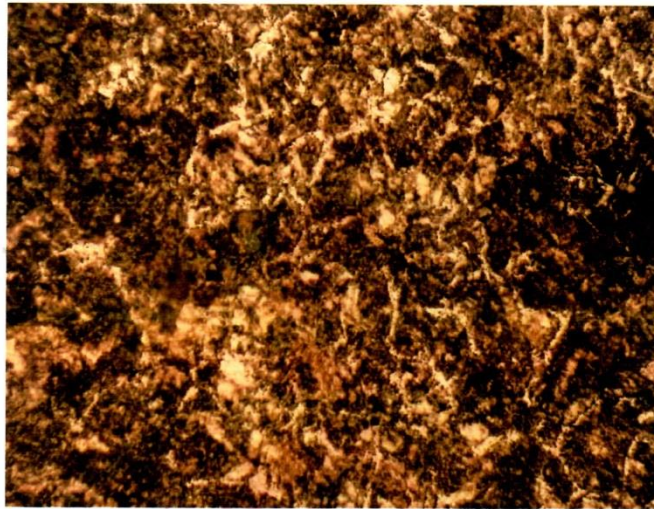


FOTOMICROGRAFIA N° 1 – 100x

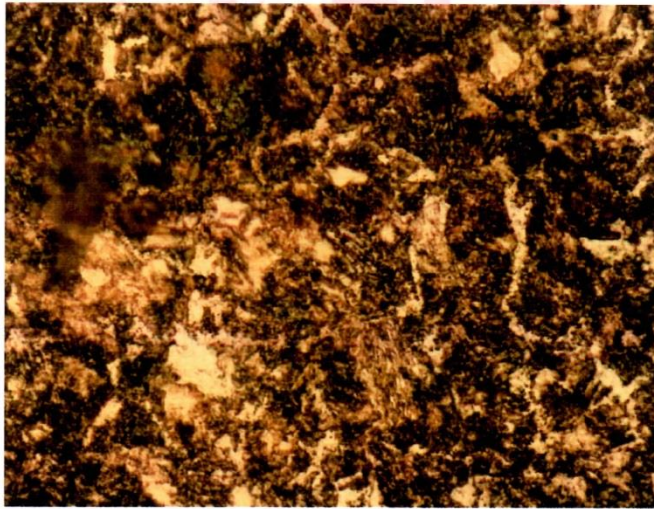


FOTOMICROGRAFIA N° 2 – 200x





FOTOMICROGRAFIA N° 3 – 500x



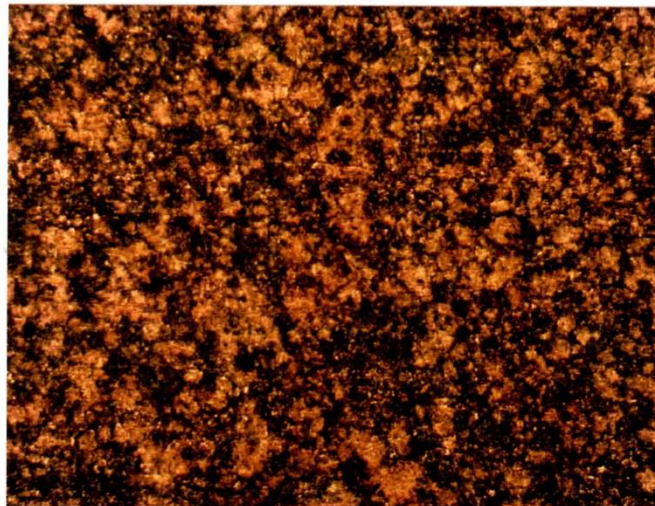
FOTOMICROGRAFIA N° 4 – 1000x



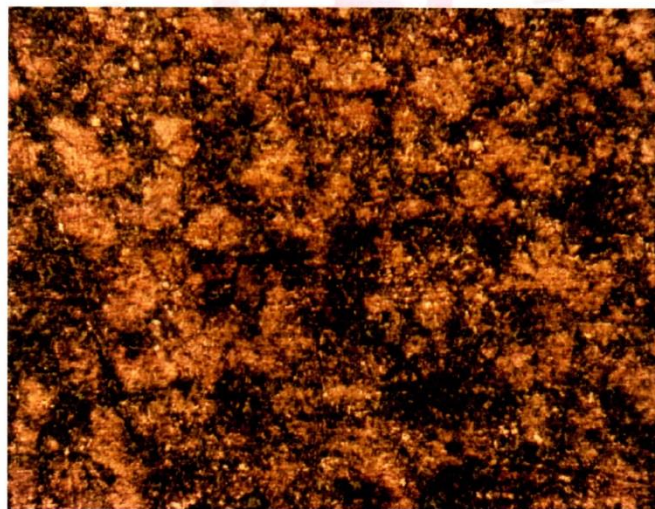


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica
Laboratorio de Mecánica – Lab. N° 4



FOTOMICROGRAFIA N° 5 – 100x



FOTOMICROGRAFIA N° 6 – 200x



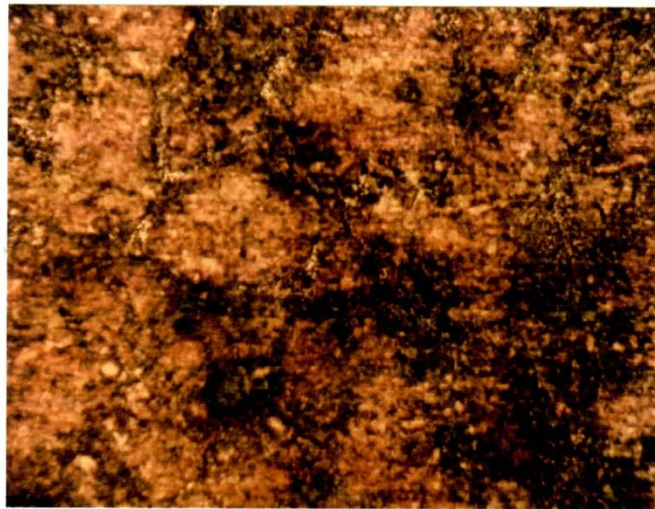
Av. Túpac Amaru 210 – Lima 25, Perú
☎ Teléfono: 381-3833 / 481-1070 Anexo 4413 / ✉ Email: laboratorio_4@outlook.com



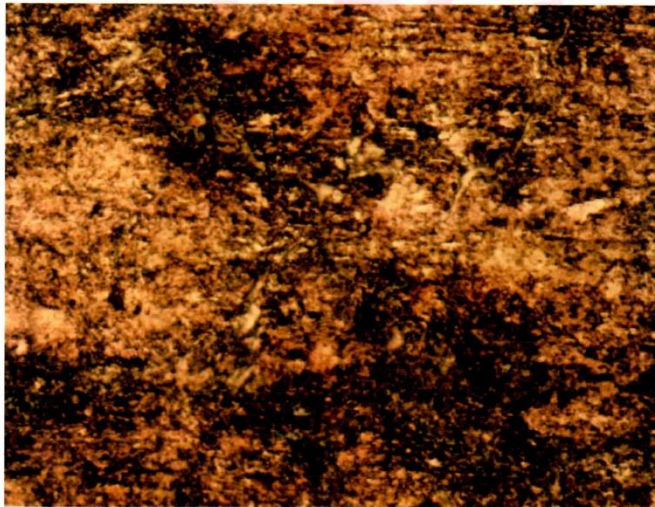
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica

Laboratorio de Mecánica – Lab. N° 4



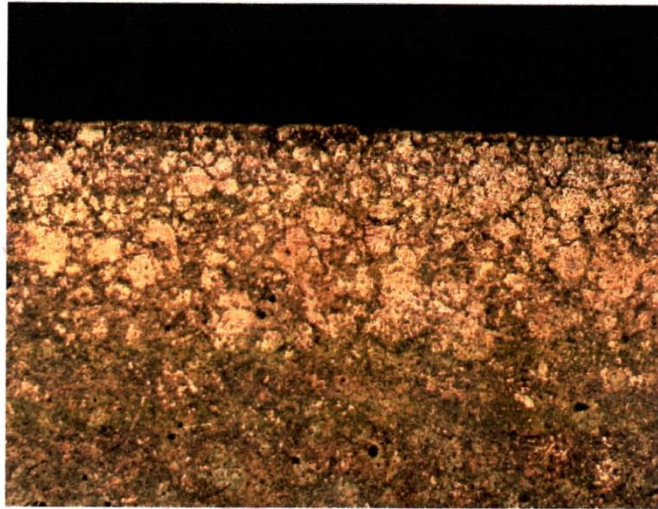
FOTOMICROGRAFIA N° 7 – 500x



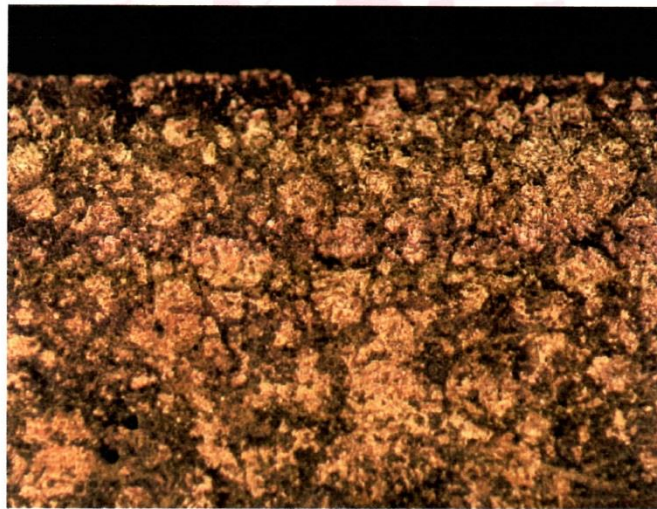
FOTOMICROGRAFIA N° 8 – 1000x



Av. Túpac Amaru 210 – Lima 25, Perú
☎ Teléfono: 381-3833 / 481-1070 Anexo 4413 / ✉ Email: laboratorio_4@outlook.com



FOTOMICROGRAFIA N° 9 – 100x



FOTOMICROGRAFIA N° 10 – 200x





FOTOMICROGRAFIA N° 11 – 500x



FOTOMICROGRAFIA N° 12 – 1000x

