

**ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL DEL TRATAMIENTO TERMOQUÍMICO DE
CEMENTACIÓN, TEMPLE Y REVENIDO A TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS
EN UN ACERO 1020**



CHRISTIAN CAMILO RAMÍREZ CORTÉS 20152375018

MIGUEL ÁNGEL RODRIGUEZ PEÑA 20151375033

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD TECNOLÓGICA

PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C.

2016

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA		
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA		
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
Nº DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
Ejecutor 1		
Nombre (s):	Christian Camilo	
Apellido (s):	Ramírez Cortés	
Código:	20152375018	
E-mail:	camilo.0991@gmail.com	
Teléfono fijo:	8005229	
Celular:	3057075820	
Ejecutor 2		
Nombre (s):	Miguel Ángel	
Apellido (s):	Rodríguez Peña	
Código:	20151375033	
E-mail:	nike_mr16@hotmail.com	
Teléfono fijo:	6952247	
Celular:	3193643799	
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL DEL TRATAMIENTO TERMOQUÍMICO DE CEMENTACIÓN, TEMPLE Y REVENIDO A TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS EN UN ACERO 1020	
Duración (estimada):		
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Investigación	
Línea de Investigación de la Facultad*:		
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:		
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Mecánica de materiales, Tratamientos térmicos	
INFORMACIÓN PASANTÍA		
Nombre de la empresa:		
Dirección:		
Teléfonos:		
Correo electrónico:		
Página Web:		
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Director: (Vo. Bo.)		
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	Carlos Arturo Bohórquez Ávila	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor (Vo. Bo.))	Carlos Arturo Bohórquez Ávila	

TABLA DE CONTENIDO:

1. IDENTIFICACIÓN

1.1 TÍTULO

1.2 INTRODUCCIÓN

2. ASPECTOS CIENTÍFICOS TÉCNICOS

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.2 ESTADO DEL ARTE

3. JUSTIFICACIÓN

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

5. MARCO TEÓRICO

5.1 METALES Y ALEACIONES

5.2 ACEROS DE BAJO CONTENIDO DE CARBONO

5.3 ACERO 1020

5.4 TRATAMIENTO TÉRMICO DE CEMENTACIÓN

6. PRESUPUESTO Y FUENTE DE FINANCIACIÓN

7. CRONOGRAMA

8. BIBLIOGRAFÍA

1. IDENTIFICACIÓN

1.1 TÍTULO

ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL DEL TRATAMIENTO TERMOQUÍMICO DE CEMENTACIÓN, TEMPLE Y REVENIDO A TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS EN UN ACERO 1020

1.2 INTRODUCCIÓN

La cementación es un proceso termoquímico que induce a la difusión de carbono en la estructura del hierro con el fin de inducir a la formación de martensita en las capas superficiales del material durante el temple. La formación de estas capas incrementa las propiedades de fuerza y resistencia a la fatiga debido al endurecimiento, en conjunto con fuerzas de compresión superficiales.

Acerca del tratamiento termoquímico de Cementación (también llamado Carburización, dada la precipitación de carburos en la microestructura del material) dice P. Cavaliere en su artículo "*Modeling of the carburizing and nitriding processes*": "*La fase termoquímica del tratamiento consiste en la alta temperatura de la difusión del carbono en una superficie, empezando con una concentración de 0.1-0.2% y llegando hasta una concentración de 0.7-1.2%. Esta superficie puede presentar dos reacciones distintas:*

- a) *La reacción del carbono con una superficie de baja concentración*
- b) *la difusión del carbono en el compuesto base*" [1]

La autora también señala que el tiempo del tratamiento puede ser de varias horas con el fin de mantener el rango de la temperatura algunos grados por debajo de la austenización, esto para evitar problemas con el crecimiento del grano en el material.

Como cita la misma autora: "*El potencial de carbono en la superficie depende de la temperatura y la presión, estos permanecen constantes durante el tratamiento y al mismo tiempo el carbono se difunde en el compuesto base. De esta forma, el perfil de concentración desde la superficie hasta el resto del volumen cambia con*

el tiempo del tratamiento. Tal variación de este perfil depende de dos factores importantes:

- a) La concentración del carbono en la fase austenítica*
- b) el porcentaje de elementos aleantes que influyen la difusión del carbono.*

El endurecimiento final se debe al temple posterior, normalmente llevado a cabo en aceite.” [1]

Como concluye el autor en su artículo, las propiedades mecánicas de las capas que se forman después de llevado a cabo el tratamiento térmico dependen de la concentración de carbono.

2. ASPECTOS CIENTÍFICOS TÉCNICOS

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la industria se necesitan aceros que tengan una superficie dura, pero que al mismo tiempo logren absorber la energía producto de los impactos. Este tipo de aceros se conocen como “Aceros Doble Fase” (D.P. por sus siglas en inglés) y se obtienen después del tratamiento termoquímico de cementación y el temple posterior.

Los primeros desarrollos de este tipo de aceros provienen de la década de los 70, en la cual se evidenció la falta de practicidad de los materiales existentes en la construcción de automóviles, ya que eran bastante pesados y difíciles de formar, haciendo complicada la producción de secciones para carrocerías automotrices.

Dicho cambio de material obedeció principalmente a la optimización en el consumo de combustible de los automóviles. Aunque los primeros aceros de doble fase desarrollados fueron bien recibidos por la industria de la construcción por tener buenas prestaciones estructurales, en el campo automotriz no fue el caso, ya que perdían demasiada ductilidad y formabilidad.

Los primeros aceros de doble fase cuya estructura cristalina contenía granos de tamaño lo bastante fino como para dejarse formar en chapa con facilidad se desarrollaron después, brindando así la solución a los anteriores problemas de ductilidad y formabilidad que presentaban las primeras series de estos. Desde ese entonces se han desarrollado infinidad de referencias de aceros D.P., dependiendo de la compañía y casi todas destinadas a la industria automotriz, en donde la relación resistencia-bajo peso ha sido un componente predominante, además de resultar en una alternativa bastante económica con respecto a otro tipo de materiales.

La principal característica de estos aceros es la presencia de dos fases en el mismo material. Es decir, una fase con una alta concentración de carbono presente en la superficie, lo cual hace a esta mucho más dura, y una fase con una baja concentración de carbono en el núcleo del material.

Este tipo de aceros se desempeñan de una manera extraordinaria en campos donde los esfuerzos de impacto y de desgaste superficial sean demasiado grandes, como por ejemplo, en la fabricación de partes de transmisión de potencia en diferentes máquinas o en la fabricación de carrocerías para automóviles, por citar solo algunos, en donde el coeficiente de absorción de energía tenga que ser un factor importante para proteger los demás elementos.

El hecho de que este tipo de materiales se puedan obtener a base de aceros con una baja concentración de carbono los hace un objeto de fácil estudio aparte de disminuir de manera significativa sus costos.

2.2 ESTADO DEL ARTE

Los aceros de doble fase son materiales que presentan dos fases distintas en el mismo material, producto de la difusión de carbono en el componente base (material al cual se le hace el tratamiento termoquímico). Dicha difusión de carbono altera de una manera significativa la dureza y la composición química de las dos fases que se presentan en el material. Como dice María Quintana en su

artículo “Propiedades Mecánicas de aceros de fase dual de grano ultrafino”: *“Estos representan una excelente alternativa en la producción de piezas automotrices, que combinan la alta resistencia mecánica, alta resistencia al impacto y una elongación elevada. Además se fabrican con aceros de baja aleación, lo que representa reducción de costos.”*[2]

El desarrollo de este tipo de materiales se originó, según el artículo “Dual Phase Steels” de M.S. Rashid [3] en la década de 1960 en dos lugares distintos y en paralelo, el BISRA (British Iron and Steel Research Association) del reino unido y en Inland Steel Corporation de estados unidos. Ambos intentos se enfocaron principalmente en lograr producir aceros para hacer chapas templando drásticamente aceros de bajo contenido de carbono en temperaturas cercanas a la temperatura crítica. El término “Acero de doble fase” fue acuñado en la década de 1970 para describir los aceros de microestructura ferrítica-martensítica, aunque los aceros de doble fase comúnmente contienen más de dos fases presentes en ellos.

Datos adicionales acerca del desarrollo de los aceros de doble fase pueden ser encontrados en el artículo de S.S. Hansen “The Formability of Dual-Phase Steels”, en el que se explica la razón inicial para el desarrollo de aceros de doble fase para la industria automotriz: *“Los estándares federales obligatorios relacionados con la economía de combustible promedio de la flota de nuevos automóviles junto con la reciente preferencia de los usuarios por automóviles más eficientes en cuanto al consumo de combustible, resultaron en un esfuerzo concertado de los fabricantes estadounidenses de automóviles para reducir el peso de todos los modelos que estaban en producción actualmente. Esta reducción de peso fue lograda gracias a una combinación de reducción de tamaño de los automóviles y la sustitución cada vez mayor de materiales de alto peso y alta resistencia (como el hierro fundido) por metales livianos. Un resultado inicial de estos programas de reducción de peso fue el surgimiento de aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA)”* [4]

Las propiedades de dichos aceros se basan principalmente en el tratamiento termoquímico del cual se obtienen, como dicen Cárdenas E., Rodríguez F. Y otros en su artículo “Estudio De Las Propiedades Mecánicas De Aceros De Doble Fase Mediante El Ensayo Miniatura De Punzonado”: *“Los aceros de fase dual son*

aceros de bajo contenido de carbono que requieren de un tratamiento intercrítico en el dominio de austenita + ferrita seguido de un enfriamiento lo suficientemente rápido como para transformar la austenita en martensita. Las propiedades finales de estos materiales de estos aceros dependen de la fracción volumétrica de sus dos fases constitutivas, ferrita y martensita, que a su vez dependen de su contenido de carbono, de la temperatura del tratamiento intercrítico y de la facilidad de temple.”[5]

El estudio de este tipo de aceros nace de la necesidad de obtener distintas propiedades en un mismo material, lo cual puede ser provechoso para la fabricación de una amplia variedad de elementos para maquinaria. Este tipo de aceros son muy apetecidos en varios campos de la industria, principalmente la automotriz, ya que en componentes como las carrocerías de los automóviles se necesitan materiales que puedan absorber una gran cantidad de energía con una deformación relativamente pequeña y que sean fáciles de conformar. Como dice María Quintana en su artículo: *“Los aceros de doble fase, además de presentar unas excelentes propiedades mecánicas, permiten la reducción de peso, sobre todo en aplicaciones automotrices, debido a la combinación de resistencia y elongación elevadas, excelente respuesta al impacto y, como consecuencia de esto, la posibilidad de utilizar secciones más delgadas.”[2]*

Propiedades adicionales de este tipo de material pueden ser obtenidas del artículo *“The effect of intercritical heat treatment temperature on the tensile properties and work hardening behavior of ferrite–martensite dual phase steel sheets”*, en el cual M. Pouranvari dice: *“Los aceros de fase dual son una rama importante de los aceros de alto esfuerzo vs. baja aleación (HSLA por sus siglas en inglés). Estos materiales tienen una combinación de propiedades mecánicas especiales tales como un alto esfuerzo a la tensión, un alto porcentaje de endurecimiento en las primeras etapas de la deformación plástica así como buena ductilidad, las cuales los distinguen entre los aceros HSLA. Estas propiedades favorables están relacionadas con la microestructura especial de los aceros de doble fase, en la cual la matriz suave de ferrita provee una buena ductilidad, mientras que las partículas duras de martensita juegan el papel de soporte de carga.”[6]*

Con respecto al tratamiento térmico del cual se obtienen dichos aceros, P. Cavaliere nos dice: *“La carburización es un proceso termoquímico que induce a la difusión de carbono en la estructura del hierro con el fin de inducir a la formación de martensita en las capas superficiales del material durante el temple. LA formación de estas capas lleva al incremento de las propiedades de esfuerzo y fatiga debido al endurecimiento, en conjunto con un estado de compresión superficial”...* *“Entonces, las propiedades mecánicas de las capas superficiales dependen de su composición química. En particular, la concentración de carbono puede variar la presencia de martensita, austenita residual y bainita. Los esfuerzos residuales dependen también de la concentración de carbono, siendo estos relacionados con la formación de martensita, que conlleva a esfuerzos de compresión en la superficie.”*[1]

El tratamiento intercrítico es la manera más simple de mejorar los aceros de baja aleación (los cuales tienen una concentración de carbono menor al 0.2%) a aceros con microestructura de doble fase con una combinación superior de esfuerzo y ductilidad. Esto involucra un temple a una temperatura comprendida entre el rango de las temperaturas intercríticas AC1 y AC3. En este tratamiento intercrítico la austenita se transforma en martensita, obteniendo como resultado una estructura de Martensita y Ferrita.

Dado que el tratamiento térmico lleva un enfriamiento bastante rápido, es común que se obtengan tensiones que pueden llegar a ser perjudiciales para las propiedades mecánicas del material. Es por esto que se recomienda hacer un posterior revenido al material, el cual ayudará a que tales tensiones desaparezcan de la fase superficial, haciendo menos frágil dicha fase.

3. JUSTIFICACIÓN

El estudio de aceros de doble fase es un aspecto crucial en el día de hoy en todos los campos de la ingeniería mecánica y en la ciencia de materiales, ya que, como ha quedado demostrado, son de extrema utilidad en el conformado de piezas de utilización diaria y en varios componentes de maquinaria que requieren de

propiedades mecánicas diversas en el mismo material. En la Universidad Distrital no se ha hecho un estudio de este tipo de materiales, lo cual nos lleva a introducirnos en este campo analizando el comportamiento de un acero con bajo contenido de carbono como es el AISI 1020, que se caracteriza por ser un acero económico y muy fácil de conseguir, lo cual podría aumentar las posibilidades de su utilización en distintos campos de la industria mecánica.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizará el presente estudio, titulado “Influencia Del Tratamiento Termoquímico De Cementación Y Temple A Temperaturas Intercríticas En Un Acero 1020” en el cual se realizarán distintas pruebas entre las cuales sobresalen la de dureza superficial y las espectrometrías para diversas muestras de dicho material, entre las cuales se buscará observar la difusión de carbono en el compuesto base dependiendo del tratamiento termoquímico de cementación en presencia de una atmósfera controlada para tal fin.

Al final de dicho estudio se entregará un trabajo con los datos necesarios para aumentar los conocimientos que posee la universidad acerca de este tema, lo cual podrá abrir campo para distintos estudios en diversos materiales de esta clase.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener un acero de doble fase a partir de una barra de acero 1020 de diámetro $\frac{3}{4}$ " por medio del tratamiento termoquímico de cementación y temple para el estudio de su micrografía correspondiente. Dicha microestructura se evaluará en términos de fases encontradas y su composición química por medio de un estudio con SEM. Posteriormente a dicho material se le hará un revenido y se estudiará, de nuevo, su microestructura para observar las fases y componentes presentes.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✦ Elaborar un estudio de durezas de acuerdo con varias muestras del material posteriormente tratado.
- ✦ Elaborar un estudio de micrografía (S.E.M) en las muestras tratadas para observar la profundidad de la capa en la que se distribuyó el carbono.
- ✦ Establecer la cantidad de carbono presente en las fases del material después del tratamiento termoquímico.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 METALES Y ALEACIONES

Los metales y aleaciones poseen muchas propiedades útiles, por lo que representan gran aplicación en los diseños de ingeniería. El hierro y sus aleaciones (principalmente el acero) suponen aproximadamente el noventa por ciento de la producción mundial de metales, fundamentalmente por la combinación de buena resistencia, tenacidad y ductilidad a un coste relativamente bajo. Cada metal tiene propiedades especiales para su uso en diseños de ingeniería y su elección resulta del análisis comparativo de costos con otros metales y materiales.

5.2 ACEROS DE BAJO CONTENIDO DE CARBONO

Los aceros de bajo contenido de carbono son aquellos que tienen una concentración del 0.05% - 0.20% de carbono. Son materiales que no adquieren una dureza sensible con un temple común, aunque son fáciles de conformar.

Este tipo de aceros se utilizan ampliamente en aplicaciones estructurales dada su fácil formabilidad, y se utilizan en una amplia variedad de partes para maquinaria

5.3 ACERO 1020

El 1020 es un acero de mayor fortaleza que el 1018 y menos fácil de conformar [6]. Responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. La soldabilidad es adecuada. Por su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para elementos de maquinaria.

Propiedades mecánicas:

Dureza: 111 HB

Esfuerzo de fluencia: 205 MPa (29700 PSI)

Esfuerzo máximo: 380 MPa (55100 PSI)

Elongación: 25%

Reducción de área: 50%

Módulo de elasticidad: 205 GPa (29700 KSI)

Maquinabilidad: 72% (AISI 1212 = 100%)

Composición Química:

0.18 – 0.23 % C

0.30 – 0.60 % Mn

0.04 % P máx

0.05 % S máx

5.4 TRATAMIENTO TÉRMICO DE CEMENTACIÓN

La cementación es un tratamiento termoquímico por medio del cual se hace un enriquecimiento de carbono en la capa superficial de una pieza (carburización) o de carbono y nitrógeno (carbonitruración) por difusión con temple posterior.

Para este fin se pueden utilizar distintos tipos de agentes de carburización, ya sean sólidos (polvos o granulados), líquidos (baño de sales) o gaseosos en

atmósferas controladas. Dependiendo del agente utilizado, el tratamiento se llama carburización por polvos, baño de sales o por gas.

Los materiales más aptos para la cementación suelen ser aceros con bajo contenido de carbono (comúnmente menor a 0.25%) que muestran una capa superficial dura y resistente al desgaste después de la cementación. Debido a que después de dicho tratamiento se presentan estados internos de compresión en la capa superficial, esta posee también una resistencia a la fatiga más alta, mientras que el material del núcleo se caracteriza por su buena tenacidad.

El nivel de contenido de carbono en la capa superficial se ajusta con la adecuada selección del medio de carburización, mientras que la temperatura y el tiempo que dure este proceso ejercen una influencia mínima. La temperatura usual de a la que se lleva a cabo la carburización se haya entre los 850 y los 950°C.

El contenido de carbono más favorable para la templabilidad de la capa superficial es de aprox. 0,60 - 0,80%. Los baños de sales usuales permiten obtener contenidos de carbono de 0,5%, 0,8% y 1,1% en la capa superficial.

El término profundidad de carburización define la distancia vertical desde la superficie de una pieza carburizada hasta el punto en el que el contenido de carbono aún se ajusta a un límite la profundidad de cementación es decir, la distancia vertical desde la superficie hasta un punto en el que la dureza se encuentra aún dentro de un límite específico.

6. PRESUPUESTO Y FUENTE DE FINANCIACIÓN

El presente proyecto tendrá una duración aproximada de cuatro meses, la financiación económica del proyecto corre por parte de los ejecutores. Cabe aclarar que los costos de los materiales y procesos que se van a utilizar son estimaciones basadas en cotizaciones de distintas fuentes y están sujetos a modificaciones.

Elemento	Costo (\$)
Acero AISI 1020	\$ 50.000
Cementación y Temple	\$ 80.000
Revenido	\$ 30.000
Corte transversal en cortadora metalográfica	\$ 20.000*
Micrografía en microscópio electrónico	\$ 50.000*
Estudio de componentes (SEM)	\$ 150.000
Papelería, Impresiones	\$ 60.000
Costo Total	\$ 440.000

7. CRONOGRAMA

FASE	TAREAS	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
FASE DOCUMENTAL	Recopilación de información	X					
	Definición del problema Planteamiento de Objetivos	X					
FASE EXPERIMENTAL	Compra del acero		X				
	Búsqueda en laboratorios de la facultad para establecer capacidad para ataque de probetas, micrografías y cortes con cortadora metalográfica		X				
	Búsqueda de empresa de tratamientos térmicos para Cementación y Temple	X	X				
	Búsqueda de posible laboratorio para espectrometría		X				

	Elaboración de Acero Doble fase con su posterior revenido			X			
FASE DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	Elaboración de pruebas de Micro-dureza y micrografías			X			
	Recopilación y análisis de resultados				X	X	
	Posibles modificaciones y correcciones a los datos finales obtenidos					X	
FASE DE ELABORACIÓN DE PRODUCTOS FINALES	Desarrollo de un documento de grado						X

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] P. Cavaliere, G. Zavarise, M. Perillo, “*Modeling of the carburizing and nitriding processes*”, University of Salento, Via per Arnesano. Lecce, Italia. Junio de 2009.

[2] QINTANA, María; GONZALES, Roberto; VERDEJA, Luis, *Propiedades Mecánicas De Aceros De Fase Dual De Grano Ultrafino*, XVI Congreso Internacional Anual De La SOMIM, Nuevo León, México, 2010

[3] RASHID, M.S., *Dual Phase Steels*, General Motors Research Laboratories, Metallurgy Department, Warren, Michigan, Agosto de 1981.

[4] S.S. Hansen, *The Formability of Dual Phase Steels*, Bethlehem Steel Corporation, Bethlehem, Pennsylvania. American Society For Metals (ASM), Applied Metalworking, Vol.2. Enero de 1982.

[5] CÁRDENAS E., RODRÍGUEZ F. y otros, *Estudio de las propiedades mecánicas de aceros de doble fase mediante el ensayo miniatura de Punzonado*, anales de la mecánica de la fractura, 26 vol.1, E.P.S. de Ingeniería de Gijón, universidad de Oviedo.

[6] P. Movahed, S. Kolahgara, S.P.H. Marashia, M. Pouranvari N. Parvina, *The effect of intercritical heat treatment temperature on the tensile properties and work*

hardening behavior of ferrite–martensite dual phase steel sheets, Mining and Metallurgical Engineering Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran and Materials and Metallurgical Engineering Department, School of Engineering, Islamic Azad University, Dezful Branch, Dezful, Iran, 2009.

[7] M. Gilberto, R. Christian, “*Influencia Del Tratamiento Termoquímico De Cementación Y Temple A Temperaturas Intercríticas En Un Acero 1020*”, Universidad Distrital, Facultad Tecnológica, Proyecto curricular de Tecnología e Ingeniería Mecánica. 2014.