



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Sede Santo Domingo

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Informe del proyecto técnico para obtener el título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**ANÁLISIS DE LOS MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE
ENGRANAJES DE UNA CAJA DE CAMBIOS DE COMPETICIÓN**

Autor

CASTILLO ZURITA MIGUEL EDUARDO

Director

ING. ARTURO FALCONÍ BORJA, *MSc.*

Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador

Julio, 2017

ANÁLISIS DE LOS MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE
ENGRANAJES DE UNA CAJA DE CAMBIOS DE COMPETICIÓN

Ing. Arturo Falconí Borja, *MSc.*

DIRECTOR DE TESIS

APROBADO

Ing. Karina Cuenca Tinoco, *MSc.*

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Jorge Vega Peñafiel, *MSc.*

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Gabriel Obregón Veloz, *MSc.*

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Santo Domingo,.....de.....de 2017.

Autor:	CASTILLO ZURITA MIGUEL EDUARDO
Institución:	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
Título de Tesis:	ANÁLISIS DE LOS MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE ENGRANAJES DE UNA CAJA DE CAMBIOS DE COMPETICIÓN
Fecha:	JULIO, 2017

El contenido del presente trabajo está bajo la responsabilidad del autor, el cual no ha sido plagiado



Miguel Eduardo Castillo Zurita
C.I. 0201914587

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
Sede Santo Domingo

INFORME DEL DIRECTOR

Santo Domingo, 20 de julio de 2017.

Señora Ingeniera.

Karina Cuenca Tinoco, *MSc.*

**COORDINADORA DE FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS UTE SD**

Presente.

Señora Coordinadora

Informo a Usted que el trabajo escrito de titulación realizado por el estudiante: *MIGUEL EDUARDO CASTILLO ZURITA*, cuyo título es: “*ANÁLISIS DE LOS MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE ENGRANAJES DE UNA CAJA DE CAMBIOS DE COMPETICIÓN*”; ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, *el mismo que no ha sido plagiado*, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para fines pertinentes.

Cordialmente,



Ing. Arturo Falconí Borja, *MSc.*
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser un pilar importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. De igual forma, dedico esta tesis con todo el amor y cariño a mi esposa que ha estado junto a mí brindándome su apoyo incondicional.

A mis hijos Miguel y David por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más.

A mis hermanas y hermanos que con sus palabras de aliento no me dejaban decaer para que siempre siguiera adelante llegado a culminar esta etapa de mi vida.

A mis compañeros y amigos, quienes sin esperar nada, a cambio compartieron sus conocimientos, alegría y tristeza.

Miguel Castillo Zurita

Agradecimiento

En primer lugar doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado la fuerza para superar los obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida.

Agradezco el apoyo y confianza de mi madre, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos. A mi esposa por ser parte esencial en mi vida, por apoyarme en las buenas y las malas, sobre todo por su paciencia y amor incondicional.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que les encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Miguel Castillo Zurita

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0201914587
APELLIDO Y NOMBRES:	Miguel Castillo Zurita
DIRECCIÓN:	Shumager y pasaje Luis Molinari casa 20 Mz 7
EMAIL:	Mickey4055@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	02 2710-468
TELÉFONO MOVIL:	0969158314

DATOS DE LA OBRA	
TITULO:	Análisis de los materiales para la fabricación de engranajes de una caja de cambios de competición
AUTOR:	Miguel Castillo Zurita
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Julio 2017
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Arturo Falconí Borja MsC
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Automotriz

RESUMEN:

Con la caracterización del metal y proceso de conformación de los componentes originales de las cajas de cambios, se determina las propiedades mecánicas específicas que debe cumplir un acero para la reproducción de estos componentes. Se ha realizado un estudio de la materia prima que se encuentra de manera comercial en el Ecuador y se ha obtenido varias posibilidades en torno a ésta.

Con el fin de implementar la producción nacional y la tecnología en nuestro país, este documento, resulta ser de valiosa utilidad a técnicos industriales que tengan el enfoque de la mecánica automotriz de competición. Es un primer paso para el desarrollo de tecnologías que en otros países, resultan ser muy comunes, sin embargo en el nuestro tenemos la necesidad, pocos son los entregados a complacer estas necesidades técnicas.

El presente proyecto pretende entregar a sus

	<p>lectores parámetros de comparación de aceros para la construcción de componentes de transmisión, detallados de manera técnica, para la aplicación de tecnología adecuada a nuestro entorno y el desarrollo de productos de calidad para los usuarios del servicio.</p>
<p>palabras claves:</p>	<p>Aceros, engranajes, piñonera, mecánica automotriz, trasmisiones.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>The present project aims to deliver to its readers, parameters for comparison of steel for the construction of transmission components, which are detailed in a technical way for the application of an appropriate technology to our environment and the development of quality products for the users of the service.</p> <p>Based in the metal characterization as well as the process of formation of the original components of the gearboxes, it was determined the specific mechanical properties that must meet a steel for the reproduction of these components. To this</p>

	<p>end, a study has been made of the raw material that is sold commercially in Ecuador and it was obtained several possibilities around it.</p> <p>In order to implement the national and technological production in our country, this document, turns out to be a valuable tool to industrial technicians who are focused in automotive mechanics of competition. Definitely, this is a first step in the development of technologies that if we compare with another country, they turn out to be very common. However, this country needs it and few people indeed are really into it specially to satisfy these technical needs.</p>
<p>KEYWORDS</p>	<p>Steels, gears, piñonera, automotive mechanics, transmissions</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



Miguel Eduardo Castillo Zurita
C.I. 0201914587

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **MIGUEL EDUARDO CASTILLO ZURITA**, C.I. 0201914587 autor del proyecto titulado: “**Análisis de los materiales para la fabricación de engranajes de una caja de cambios de competición**” previo a la obtención del título de **INGENIERO AUTOMOTRIZ** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 25 de julio de 2017



Miguel Eduardo Castillo Zurita
C.I. 0201914587

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Portada.....	I
Sustentación y aprobación de los integrantes del tribunal	II
Responsabilidad del autor	III
Informe del director.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento	VI
Formulario de registro bibliográfico	VII
Declaración y autorización.....	X
Índice de contenidos.....	XII
Índice de tablas.....	XVI
Índice de figuras.....	XVII

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	MARCO TEÓRICO	5
2.1.	Los materiales.....	5
2.1.1.	Tipos de materiales.....	5
2.1.1.1.	Metales	5
2.1.1.2.	Polímeros	6
2.1.1.3.	Cerámicos.....	7
2.1.1.4.	Materiales compuestos	7
2.1.1.5.	Materiales eléctricos.....	8
2.1.2.	Propiedades de los materiales.....	8
2.1.2.1.	Propiedades Eléctricas.....	9
2.1.2.2.	Propiedades Mecánicas.	9
2.1.2.3.	Propiedades Térmicas.....	9
2.1.2.4.	Propiedades ópticas.	10
2.1.2.5.	Propiedades acústicas	10
2.1.2.6.	Propiedades magnéticas.....	10
2.1.2.7.	Propiedades químicas	11
2.1.3.	Los metales	11
2.1.3.1.	Propiedades físicas	11

2.1.3.2.	Propiedades mecánicas	12
2.1.3.3.	Enlaces Metálicos	13
2.1.4.	El hierro y el acero	14
2.1.4.1.	El Hierro	15
2.1.4.2.	El Acero.....	16
2.1.5.	Fases o microconstituyentes de los aceros	16
2.1.5.1.	Ferrita	17
2.1.5.2.	Cementita.....	18
2.1.5.3.	Perlita.....	19
2.1.5.4.	Austenita.....	19
2.1.5.5.	Martensita	20
2.1.5.6.	Bainita.....	21
2.1.5.7.	Ledeburita.....	21
2.1.6.	Clasificación de los aceros	22
2.1.7.	Tratamientos térmicos	24
2.1.7.1.	Clasificación de los tratamientos térmicos	24
2.1.7.2.	Tratamientos térmicos	25
2.1.7.3.	Tratamientos termoquímicos.....	26
2.1.7.4.	Los tratamientos termomecánicos.....	28
2.1.8.	Caracterización de los metales	28
2.1.8.1.	Ensayo de tracción.....	29
2.1.8.2.	Ensayos de dureza	31
2.1.8.3.	Ensayos de resiliencia.....	37
2.1.8.4.	Ensayos de fatiga.....	41
2.1.8.5.	El ensayo de fluencia.....	44
III.	METODOLOGÍA	47
3.1.	Metodología.....	47
3.2.	Ensayos y pruebas a realizar.....	47
3.2.1.	Ensayo de tracción.....	47
3.2.1.1.	Condiciones de ensayo	48
3.2.1.2.	Procedimiento.....	49
3.2.2.	Ensayo de dureza.....	51
3.2.2.1.	Condiciones de ensayo	52

3.2.2.2.	Procedimiento.....	54
3.2.3.	Metalografía.....	55
3.2.3.1.	Condiciones de ensayo.....	55
3.2.3.2.	Procedimiento.....	56
3.2.3.3.	Resultados del Equipo de micrografía.....	56
IV.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	58
4.1.	Caracterización del acero para fabricación de componentes de transmisiones para competición.....	58
4.1.1.	Análisis de resultados.....	58
4.1.1.1.	Análisis de Ensayo de Tracción.....	58
4.1.1.2.	Análisis de ensayo de dureza.....	58
4.1.1.3.	Análisis de Micrografía.....	59
4.2.	Selección de aceros.....	60
4.2.1.	Ivan Bohman C.A.....	60
4.2.1.1.	Aplicaciones.....	61
4.2.1.2.	Propiedades mecánicas.....	62
4.2.1.3.	Tratamiento térmico.....	62
4.2.1.3.1.	Recocido blando.....	62
4.2.1.3.2.	Alivio de tensiones.....	62
4.2.1.3.3.	Temple.....	62
4.2.1.3.4.	Revenido.....	63
4.2.1.3.5.	Nitruración.....	63
4.2.1.3.6.	Aplicaciones.....	64
4.2.1.4.	Tratamiento térmico.....	64
4.2.1.4.1.	Recocido blando.....	64
4.2.1.4.2.	Alivio de tensiones.....	64
4.2.1.4.3.	Temple.....	65
4.2.1.4.4.	Revenido.....	65
4.2.1.4.5.	Nitruración.....	65
4.2.1.4.6.	Aplicaciones.....	66
4.2.1.5.	Tratamiento térmico.....	67
4.2.1.5.1.	Recocido blando.....	67
4.2.2.	Bohler.....	67

4.2.2.1.	Aplicaciones	67
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación según AISI-SAE varios tipos de aceros	23
Tabla 2.	Valores resultantes de los ensayos de tracción para algunas aleaciones metálicas	31
Tabla 3.	Valores del parámetro Q que se deben utilizar en el ensayo de la dureza Brinell de distintos materiales metálicos	33
Tabla 4.	Modalidades del ensayo Rockwell	35
Tabla 5.	Factores a aplicar para corregir el límite de fatiga de piezas de acero tratadas con diferentes valores de la resistencia a la tracción, R_m , y con distintos estados de rugosidad superficial.....	44
Tabla 6.	Pin-Loaded tension test specimen with 50-mm Gage Length.....	48
Tabla 7.	Resultados.....	51
Tabla 8.	Escalas de dureza Rockwell con sus correspondientes cargas, tipo de indentador y aplicaciones típicas.....	52
Tabla 9.	Resultado durómetro	55
Tabla 10.	Resultados obtenidos en el ensayo de tracción.....	58
Tabla 11.	Acero Bonificado para Maquinaria IBCA: 705.....	61
Tabla 12.	Propiedades mecánicas	62
Tabla 13.	Acero Bonificado para Maquinaria IBCA: 709.....	63
Tabla 14.	Propiedades mecánicas	64
Tabla 15.	Acero Bonificado para Maquinaria IBCA: 7210.....	66
Tabla 16.	Propiedades mecánicas	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.	Apriete de muelas en torno.....	1
Fig. 2.	Trabajo de torno	2
Fig. 3.	Taladro de precisión	2
Fig. 4.	Eje Motriz.....	3
Fig. 5.	Elaboración de engranaje	4
Fig. 6.	Materiales metálicos.....	6
Fig. 7.	Materiales polímeros	6
Fig. 8.	Materiales Cerámicos	7
Fig. 9.	Materiales Compuestos (Fibra de carbono y fibra de vidrio).....	7
Fig. 10.	Chips electrónico	8
Fig. 11.	Configuraciones cristalinas formadas por enlaces metálicos	13
Fig. 12.	Diagrama Hierro – Carbono y sus Fases Constituyentes	15
Fig. 13.	Diagrama Hierro – Carbono y sus Fases Constituyentes	17
Fig. 14.	Microscopia de ferrita.....	18
Fig. 15.	Microscopia de cementita.....	18
Fig. 16.	Microscopia de Perlita y su Estructura.....	19
Fig. 17.	Microscopía Austenita.....	20
Fig. 18.	Microscopía Martensita.....	20
Fig. 19.	Microscopía Bainita.....	21
Fig. 20.	Microscopía Ledeburita.....	21
Fig. 21.	Clasificación de aceros	23
Fig. 22.	Equipo para ensayos de tracción	29
Fig. 23.	Diagrama Fuerza – Elongación	30
Fig. 25.	Conversión aproximada entre los valores de las durezas Vickers y Brinell para aceros	34
Fig. 26.	Relaciones entre la dureza Vickers y las durezas HRA, HRB y HRC para aceros.....	36
Fig. 27.	Esquema de un péndulo Charpy (a) y detalle de la probeta (b).....	38
Fig. 28.	Representación esquemática de los modos de fractura que pueden aparecer en aleaciones metálicas: fractura frágil (a) y fractura dúctil (b)	39

Fig. 29.	Curvas de variación con la temperatura de la energía absorbida en la fractura de una aleación con estructura h.c.p. (la de magnesio), de otra con estructura c.c.c. (el latón) y una tercera c.c.f (el acero).....	40
Fig. 30.	Efecto de la anisotropía sobre la resiliencia. En los casos (a) y (b) la distribución de las interfaces de cohesión débil, que aparecen marcadas con trazo fino, dificultan el avance la fisura mientras que en la (c) lo favorecen.....	41
Fig. 31.	Tipos de curvas S-N que aparecen para distintos materiales metálicos.....	42
Fig. 32.	Relación entre el límite de fatiga, s_e , y la resistencia a la tracción, R_m , para diferentes aleaciones metálicas.....	43
Fig. 33.	Curva de fluencia de un material metálico (a) y efecto de la variación de los parámetros del ensayo sobre la curva de fluencia (b).....	45
Fig. 34.	Pin-Loaded tension test specimen with 50-mm Gage Length.....	48
Fig. 35.	Eje motriz.....	48
Fig. 36.	Eje.....	49
Fig. 37.	Máquina de ensayo.....	49
Fig. 38.	Ensayo de tracción.....	50
Fig. 39.	Eje.....	51
Fig. 40.	Durómetro.....	52
Fig. 41.	Medición de dureza.....	53
Fig. 42.	Verificación de dureza.....	53
Fig. 43.	Dureza de Rockwell.....	54
Fig. 45.	Microscopio metalográfico.....	56
Fig. 46.	Microestructura del acero a 50 micrómetros de profundidad de la superficie del diente. Atacado con Nital2, 400X.....	57
Fig. 47.	Microestructura del acero a 400 micrómetros de profundidad de la superficie del diente. Atacado con Nital2, 400X.....	57
Fig. 48.	Distribución de esfuerzos entre dos engranajes.....	60
Fig. 49.	Distancia desde el extremo templado, mm.....	63
Fig. 50.	Distancia desde el extremo templado, mm.....	65
Fig. 51.	Acero Bonificado para Maquinaria SAE 4340.....	67
Fig. 52.	Tratamiento térmico.....	68

Fig. 53.	Acero Bonificado para Maquinaria SAE 4140.....	68
Fig. 54.	Tratamiento térmico	69
Fig. 55.	Acero Bonificado para Maquinaria SAE 3115.....	70
Fig. 56.	Acero Aleado al Cromo – Manganeso Bohler E 410.....	71
Fig. 57.	Tratamiento térmico	71

I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de mejoras en los vehículos lleva a la búsqueda de soluciones tecnológicas, y la implementación de procesos de fabricación de componentes en los vehículos. Es así que, para la fabricación de piñonería y ejes de la transmisión, adecuados a un circuito o ruta específicos, generarán un aumento sustancial, en las prestaciones de los vehículos automotores.

La geografía de Ecuador y las características de forma de las carreteras, que posee el país, comprometen a los componentes de transmisión, a tener una gran fiabilidad y un adecuado diseño para el trabajo a estas condiciones, y más aún cuando se va a someter a un vehículo a las exigencias de un circuito de carreras.

Un ejemplo práctico es la necesidad de torque y velocidad final de los coches que participan en las carreras de Yahuarcocha. El circuito de Yahuarcocha en la provincia de Imbabura, demanda alto torque en curvas específicas, al ser curvas muy cerradas. A la vez, por sus características de recta principal alargada, demanda una velocidad final que permita obtener ventajas al momento de adelantar.

En el medio industrial no existen técnicos capacitados o arriesgados, hasta cierto punto, que fabriquen componentes de transmisiones manuales vehiculares. Posiblemente la complejidad y los ajustes precisos sean la causa, sin embargo hay pocas personas que han puesto este conocimiento a prueba.



Fig. 1. Apriete de muelas en torno

Utillaje y equipos para fabricación de ejes y piñones en cajas de cambios (Mortajadora)

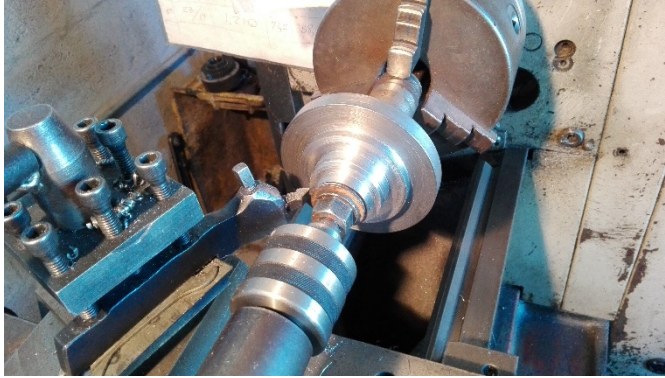


Fig. 2. Trabajo de torno

Utillaje y equipos para fabricación de ejes y piñones en cajas de cambios (Torno)



Fig. 3. Taladro de precisión

Utillaje y equipos para fabricación de ejes y piñones en cajas de cambios (Fresa)

Por esta razón existen varias opciones al momento de trucar un vehículo con respecto a la transmisión, todas ellas con el objetivo de obtener relaciones de transmisión adecuadas para las condiciones mencionadas. Una de las opciones es la adquisición de piñonería en países como Argentina o Italia, la otra es la fabricación misma de los componentes de la transmisión.

La primera opción tiene varias ventajas y desventajas, entre algunas desventajas, se puede mencionar: costos elevados de adquisición e importación, la falta de asesoría y desconocimiento de las necesidades, el tiempo que toma la fabricación de dichos componentes. Se tiene como ventajas, que los materiales que se utilizan cumplen con los requisitos tecnológicos, los maquinados y acabados de los componentes, son adecuados para garantizar la calidad y el funcionamiento de la transmisión (bajo ruido y resistencia de materiales).

La poca demanda en el rediseño de los componentes, el alto costo de los materiales y mano de obra a emplearse, son posiblemente los inconvenientes que se encuentra a la hora de fabricar una caja de cambios, sin embargo, la necesidad está presente. Posiblemente un documento que describa el proceso de selección de los aceros a emplear en la fabricación permita aportar de manera directa a la tecnología que hay en la actualidad en el país. Generando un aporte significativo a los técnicos que pretendan profundizar acerca del tema.

La opción que se propone es la fabricación de componentes, piñonería y ejes para la fabricación de los componentes de la transmisión, con materiales existentes en el medio, las ventajas que se obtiene serían las siguientes: mejora la tecnología para la fabricación, aumento de mano de obra en el país, fabricación y diseño de componentes de acuerdo a las verdaderas necesidades del vehículo, generación de fuentes de empleo, entre otras.



Fig. 4. Eje Motriz

Ejes de transmisión: Modificado (arriba), Original (abajo)

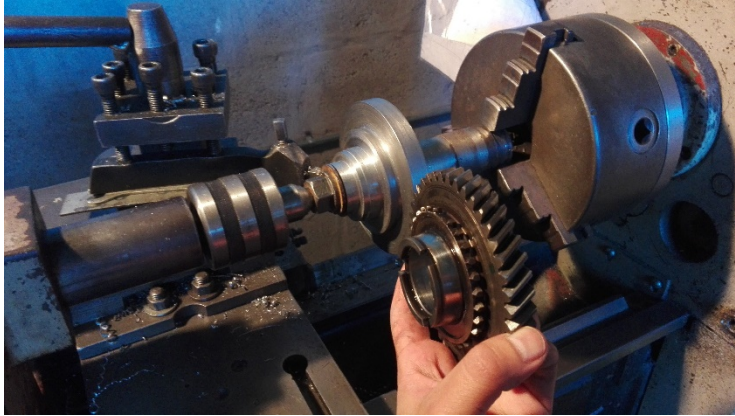


Fig. 5. Elaboración de engranaje

Proceso de fabricación de engranajes

Por lo tanto, el presente proyecto, pretende buscar dentro del sector comercial materiales que sean compatibles para el proceso. Para ello se procede la caracterización de los materiales de fabricación de componentes originales de una transmisión, con el fin de ofrecer pautas que permitan a los mecánicos industriales acceder a estos con sustentos científicos, que permitan la mejora de los componentes.

II. MARCO REFERENCIAL

2.1. Los materiales

Son sustancias por las que están compuestas o formadas todas las cosas en el universo. Se puede hallar materiales en cualquier lugar del entorno ya que cualquier cosa está hecha a partir de ellos. Por ejemplo, se encuentra generalmente con: madera, hormigón, ladrillo, acero, plástico, vidrio, caucho, bronce, aluminio, papel, etc. Solo hace falta dar un vistazo al rededor para encontrar algún tipo de material.

La ciencia de los materiales tiene como fin determinar y caracterizar los materiales existentes, generando conocimientos básicos, acerca de la estructura interna, propiedades y procesamiento de los materiales. Por otro lado existe la ingeniería de los materiales, que tiene como fin, generar un conocimiento aplicado al uso y aplicaciones de estos materiales, fabricando y convirtiéndolos en productos requeridos por la sociedad.

2.1.1. Tipos de materiales.

Los materiales se clasifican tomando en cuenta algunas de sus propiedades mecánicas, eléctricas y físicas. Estos se clasifican en materiales, metálicos, cerámicos y polímeros. Sin embargo, existen otros materiales que pueden integrarse al estudio, como son los materiales eléctricos y los compuestos. Los cuales tienen características especiales y son requeridos para aplicaciones específicas.

2.1.1.1. Metales

Son sustancias inorgánicas, formadas por uno o más elementos metálicos, pueden tener algunos elementos no metálicos como, el silicio, el carbono, el fosforo, azufre, etc. Estos materiales tienen características en común, que los hacen formar parte de este grupo y que se las analiza más adelante.



Fig. 6. Materiales metálicos

Fuente: (Cervera, 2009)

2.1.1.2. Polímeros

Estos materiales son orgánicos y están formados por largas cadenas o redes de moléculas de carbono. Su resistencia y ductilidad varía debido a la naturaleza de su estructura interna. Generalmente son malos conductores de la electricidad por lo que se los utiliza como aislantes eléctricos.



Fig. 7. Materiales polímeros

Fuente: (Uniplas international)

2.1.1.3. Cerámicos.

Son materiales inorgánicos, formados por elementos metálicos y no metálicos unidos químicamente, pueden ser cristalinos, amorfos o mezclas entre ellos, y se caracterizan por tener una alta dureza y resistencia a altas temperaturas, pero resultan tener alta fragilidad.



Fig. 8. Materiales Cerámicos

Fuente: (Martinez, 2017)

2.1.1.4. Materiales compuestos

Son combinaciones entre dos o más materiales, compuestos por una matriz o relleno en un refuerzo formado por fibras o partículas, se unen para obtener características mejores a las de cada material independientemente. Existen muchos tipos, entre ellos están, la fibra de vidrio, la fibra de carbono y el kevlar, Sin embargo, se está realizando materiales compuestos con fibras y resinas vegetales cien por ciento reciclables, a los cuales se los llama materiales biocompuestos.



Fig. 9. Materiales Compuestos (Fibra de carbono y fibra de vidrio).

Fuente: (Blog Beats, 2017)

2.1.1.5. Materiales eléctricos.

Su importancia es reveladora en el avance tecnológico, a pesar de no ser un número significativo. Su característica es que varían su comportamiento ante el paso de la electricidad dependiendo del paso de corriente, mediante estos materiales se ha logrado miniaturizar gran cantidad de circuitos eléctricos en chips electrónicos, estos componentes son principalmente el silicio y el germanio.

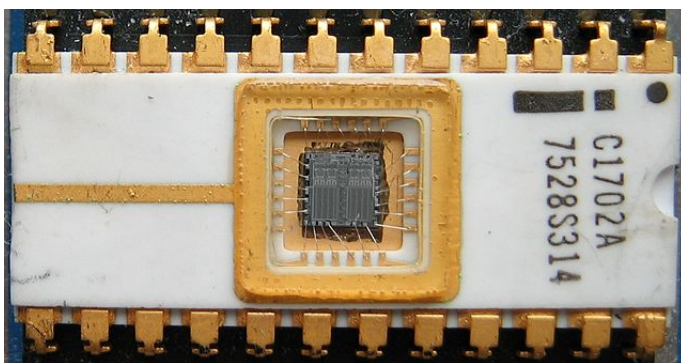


Fig. 10. Chips electrónico

Fuente: (EPROM, 2013)

Materiales eléctricos su principal aplicación es la fabricación de chips electrónicos

2.1.2. Propiedades de los materiales.

Se define como propiedad de un material a una característica medible, capaz de calificar el comportamiento de este material o su respuesta a cambios físicos externos como la luz, el calor, esfuerzos, etc. Según los estímulos físicos, se clasifican en:

- Propiedades eléctricas.
- Propiedades mecánicas.
- Propiedades térmicas.
- Propiedades ópticas.
- Propiedades acústicas.
- Propiedades magnéticas.
- Propiedades químicas.

2.1.2.1. Propiedades Eléctricas

Determina el comportamiento del material cuando una corriente eléctrica trata de pasar a través de él. Esta propiedad se llama conductividad y caracteriza a los materiales en tres tipos:

- **Conductores:** Permiten fácilmente el paso de corriente a través de ellos.
- **Aislantes:** No permiten que la corriente fluya con facilidad a través de ellos.
- **Semiconductores:** Se comportan como aislantes en ciertas condiciones y como conductores en condiciones específicas.

2.1.2.2. Propiedades Mecánicas.

Describen el comportamiento de los materiales ante esfuerzos externos. Se llama también resistencia mecánica, que concretamente pueden ser:

- **Elasticidad:** es la capacidad de un material a recuperar su forma original, cuando el esfuerzo o carga que lo deforma, cesa o deja de actuar.
- **Plasticidad:** es la propiedad de los materiales a adquirir deformaciones permanentes.
- **Maleabilidad:** es la facilidad de los materiales a ser extendidos en láminas o en planchas.
- **Ductilidad:** es la propiedad de un material para formar o ser constituido como cables o hilos.
- **Dureza:** Es la resistencia de un material a ser penetrado o rayado.
- **Tenacidad:** es la resistencia de un material a romperse cuando se golpea.
- **Fragilidad:** es la facilidad de un material a romperse cuando es golpeado.

2.1.2.3. Propiedades Térmicas

Determinan el comportamiento de los materiales ante la exposición al calor.

- **Conductividad térmica:** es la facilidad con la que un material transmite el calor.

- **Fusibilidad:** es la facilidad de un material para pasar del estado sólido al estado líquido.
- **Soldabilidad:** es la facilidad de un material para poder soldarse consigo mismo o con otro material.
- **Dilatación:** es la variación de las dimensiones de un material cuando éste experimenta un cambio en su temperatura.

2.1.2.4. Propiedades ópticas.

Estas propiedades tienen que ver con el comportamiento de los materiales ante la incidencia de la luz sobre ellos.

- **Materiales opacos:** No dejan pasar la luz a través de ellos.
- **Materiales transparentes:** Permiten el paso de los haces de luz y se puede ver a través de ellos.
- **Materiales Translúcidos:** También permiten el paso de la luz, pero no permiten ver con nitidez a través de ellos.

2.1.2.5. Propiedades acústicas

Determinan la respuesta de los materiales al sonido.

Conductividad Acústica: es la cualidad de transmitir el sonido.

2.1.2.6. Propiedades magnéticas

Indican el comportamiento de algunos metales a la presencia de campos magnéticos.

Magnetismo: es la capacidad de atraer o repeler a otros materiales magnéticos.

2.1.2.7. Propiedades químicas

La oxidación: es la facilidad con la que un material se oxida, es decir reacciona con el oxígeno del ambiente.

2.1.3. Los metales

La familia de los metales se caracteriza por tener propiedades similares o parecidas, sin embargo es fundamental para la elaboración de un producto o componente mecánico, tener en cuenta cada una de sus propiedades y valorarlas, para de esta manera seleccionar el material más adecuado para cada una de las aplicaciones. De esta manera se puede obtener componentes fiables y que tengan un rendimiento según la función que desempeñaría en un sistema.

2.1.3.1. Propiedades físicas

La mayoría de los metales se encuentran en la naturaleza combinados químicamente, formando los minerales conocidos con el nombre de menas. Como puede ser: la bauxita, la austenita, la pirita, la cementita o la sorbita. El cobre, la plata y el oro son tan poco reactivos que, por lo general, se encuentran sin combinar en el estado natural, por estas características se les llama metales nobles.

Son densos, duros y tienen un elevado punto de fusión. Son todos sólidos, excepto cuatro excepciones: el mercurio, el cesio, el galio y el francio, que se encuentran en estado líquido.

Los metales son buenos conductores de calor. Cuando los metales están situados en un foco caliente, sus electrones adquieren una gran energía cinética que comunican, mediante colisiones, a los electrones más cercanos de ellos.

La capacidad de un metal para conducir la electricidad disminuye al aumentar la temperatura, pues se aumentan las vibraciones de los átomos, tendiendo a romper el flujo de electrones.

Los metales son buenos conductores de la electricidad, debido a que sus electrones de valencia se mueven fácilmente cuando el metal se conecta a los terminales de un generador de corriente.

Tienen un gran poder reflector y escasa absorción de la luz. Por eso los metales tienen brillo.

Tienen un olor característico, no muy fuerte y que desaparece con el pulido, o simplemente limpiando la superficie, pero que reaparece en cuanto se humedece. En determinadas condiciones de temperatura suelen dar al agua un sabor metálico característico.

Los metales se pueden conformar en láminas muy delgadas, es decir, son maleables; y en hilos, o sea que son dúctiles. Pueden resistir tensiones sin romperse, esto quiere decir que son tenaces. Las fuerzas de atracción que existen entre los iones positivos y la nube de carga negativa son muy intensas y mantienen la estructura firmemente unida. Se oxidan al perder electrones. Al unirse con oxígeno forman óxidos y si estos reaccionan con agua forman hidróxidos.

2.1.3.2. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de los metales, son las características inherentes (propias de cada metal), que permiten diferenciar un metal de otro. Desde el punto de vista del comportamiento mecánico de los metales en ingeniería, también hay que tener en cuenta el comportamiento que puede tener un metal en los diferentes procesos de mecanizados que pueda tener. Se distingue las siguientes propiedades mecánicas de los metales:

- Dureza.
- Tenacidad.
- Fragilidad.
- Acritud.
- Resistencia.

- Resiliencia.
- Fatiga.
- Elasticidad.
- Plasticidad.

2.1.3.3. Enlaces Metálicos

Las propiedades de un material vienen determinadas por su estructura, es decir, sus propiedades van a depender de los enlaces y de las formas que se unen los átomos de los metales. Un enlace metálico es un enlace químico que mantiene unidos los átomos (unión entre núcleos atómicos y los electrones de valencia, que se juntan alrededor de éstos como una nube) de los metales entre sí. Estos átomos se agrupan de forma muy cercana unos a otros, lo que produce estructuras muy compactas.

Se habla de líneas o redes tridimensionales de unión entre los átomos del metal, que adquieren formas o estructuras prismáticas, tales como: cúbica centrada en las caras o la cúbica centrada en el cuerpo.

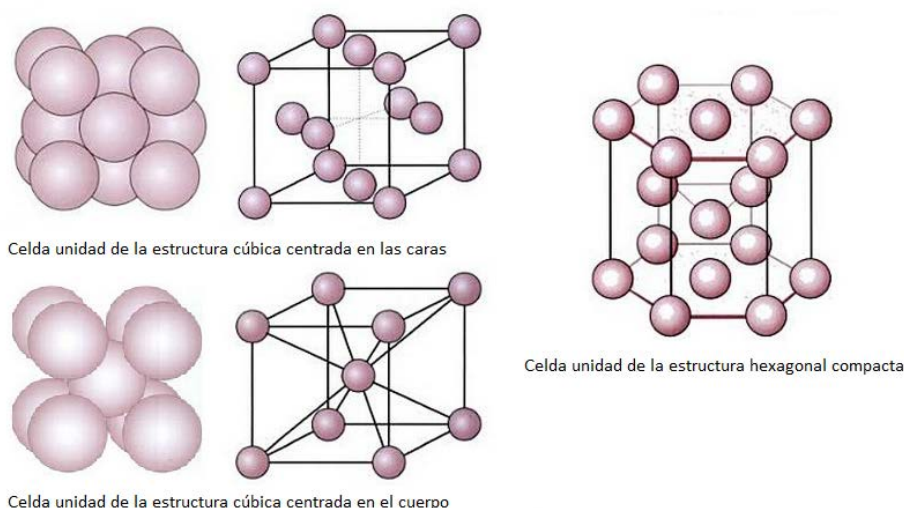


Fig. 11. Configuraciones cristalinas formadas por enlaces metálicos

Fuente: (Sánchez, 2014)

El enlace metálico es característico de los elementos metálicos, es un enlace fuerte, primario, que se forma entre elementos de la misma especie. Los átomos, al estar tan cercanos uno de otro, interaccionan los núcleos junto con sus nubes electrónicas

empaquetándose en las tres dimensiones, por lo que quedan rodeados de tales nubes. Estos electrones libres son los responsables que los metales presenten una elevada conductividad eléctrica y térmica, ya que estos se pueden mover con facilidad si se ponen en contacto con una fuente eléctrica. Presentan brillo y son maleables.

Las energías aplicadas externamente no perturban de forma apreciable el núcleo atómico, pero sí pueden provocar modificaciones en la distribución espacial de los átomos, resulta suficiente un modelo estructural que describa cómo se disponen los átomos en los materiales. La distribución espacial de los átomos en un material viene condicionada por la manera en que éstos interaccionan o, lo que es lo mismo, por la naturaleza del enlace.

El hierro tiene una estructura centrada en el cuerpo, a temperaturas normales. A temperaturas más altas, tiene una estructura cúbica centrada en la cara. Este hecho es de gran importancia práctica. En su forma de acero, el hierro siempre contiene una pequeña cantidad de carbono. Los átomos de carbono son menores que los átomos de hierro y, a temperaturas altas, se encajan en los espacios abiertos de la estructura centrada en la cara. Cuando el hierro se enfría, adquiere una forma cúbica centrada en el cuerpo. En esa forma, los átomos de carbono no pueden colocarse en los espacios más pequeños. Entonces, la red cristalina del hierro se distorsiona, debido al tamaño tan grande de los átomos de carbono, o el carbono se separa del hierro como carburo de hierro, Fe_3C .

2.1.4. El hierro y el acero

El hierro y el acero son elementos utilizados para fabricar herramientas necesarias para diversos trabajos, así como en la industria para elaborar componentes de máquinas y también estructuras como puentes edificios oleoductos, etc.

Es importante destacar el acero como un elemento básico- natural no existe es producto de una aleación del hierro y el carbono en diversidad de porcentajes (%) para determinar su utilidad. También se tiene en cuenta la fabricación del mismo a través de un diagrama donde destaca los componentes para la fundición del material

básico (hierro) Fe. Y seguido de la aleación para la obtención del producto final ACERO.

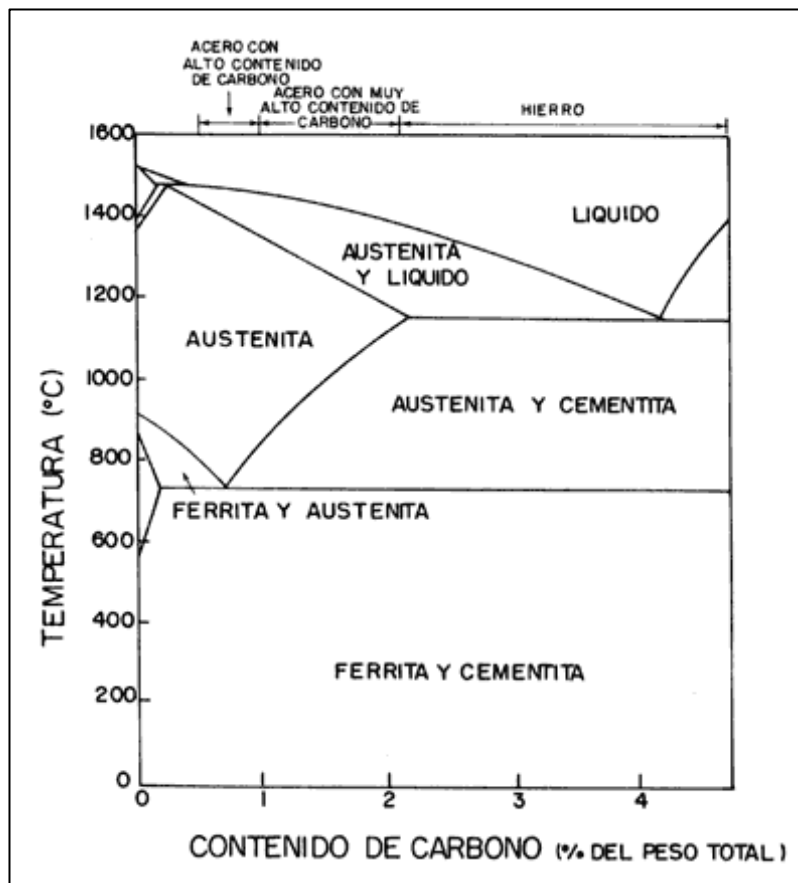


Fig. 12. Diagrama Hierro – Carbono y sus Fases Constituyentes
Fuente: (Sánchez, 2014)

2.1.4.1. El Hierro

Es un elemento químico de símbolo Fe. Este metal de transición es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, representando un 5% y, entre los metales, sólo el aluminio es más abundante. El hierro es el metal más usado, con el 95% en peso de la producción mundial de metal. Fundamentalmente se emplea en la producción de acero, la aleación de hierro más conocida, consistente en aleaciones de hierro con otros elementos, tanto metálicos como no metálicos, que confieren distintas propiedades al material.

El hierro es un metal que comercialmente no se presenta en forma pura, sino con pequeñas adiciones de otros productos siempre presentes. Es un material maleable,

ferromagnético y blando que debido a su poca resistencia mecánica, su aplicación es la fabricación de imanes y ornamentación.

2.1.4.2. El Acero

El acero es una aleación de hierro y carbono, en la que el carbono se encuentra presente en un porcentaje inferior al 2%. Para obtener acero, se toma como materia prima el arrabio, producto de la fundición del mineral en un alto horno, eliminando al máximo las impurezas de este, y reduciendo el porcentaje del principal componente de la aleación que es el carbón. Esto mediante el proceso de combustión en el que se producen muchas reacciones químicas.

Además, del carbono se agregan otros materiales, metales y no metales, con el fin de mejorar sus propiedades según su aplicación. Actualmente existen más de 2.500 clases de acero estándar en todo el mundo. Todos ellos están hechos principalmente con lingotes de hierro que se combina con el carbono.

El acero es indispensable debido a su bajo precio y dureza, especialmente en automóviles, barcos y componentes estructurales de edificios, vehículos, sistemas de tuberías, motores, válvulas y engranajes.

2.1.5. Fases o micro constituyentes de los aceros

Las aleaciones con contenido de C comprendido entre 0.03% y 1.76% tienen características muy bien definidas y se denominan aceros. Los aceros de cualquier proporción de carbono dentro de los límites citados pueden alearse con otros elementos, formando los denominados aceros aleados o aceros especiales. Algunos aceros aleados pueden contener excepcionalmente hasta el 2.5% de C. Si la proporción de C es superior a 1.76% las aleaciones de Fe-C se denominan fundiciones, siendo la máxima proporción de C aleado del 6.67%, que corresponde a la cementita pura.

En las aleaciones Fe-C pueden encontrarse hasta once constituyentes diferentes, que se denominan: Ferrita, Cementita, Perlita, Austenita, Martensita, Troostita Sorbita, Bainita, Ledeburita, Steadita y Grafito.

El diagrama de fases, Fe-C, es un tipo de diagrama de equilibrio que permite conocer el tipo de acero que se puede conseguir dependiendo de la temperatura y la concentración de carbono que tenga presente la mezcla, al mostrar en él las transformaciones sufridas por el acero y sus puntos críticos, hallados experimentalmente.

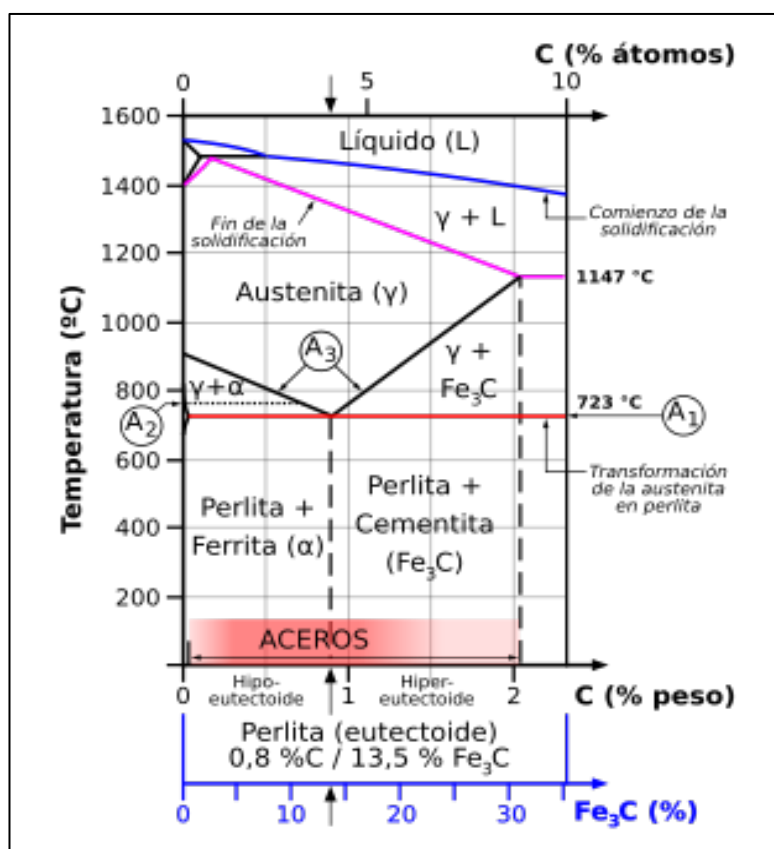


Fig. 13. Diagrama Hierro – Carbono y sus Fases Constituyentes
Fuente: (Sánchez, 2014)

2.1.5.1. Ferrita

La ferrita la unión de hierro alfa con carbono en estado sólido, su solubilidad a la temperatura ambiente es tan pequeña que no llega a disolver ni un 0.008% de C. Es por esto que prácticamente se considera la ferrita como hierro alfa puro. La ferrita es

el más blando y dúctil constituyente de los aceros. Forma estructuras cristalinas BCC. Tiene una dureza de 95 Vickers, y una resistencia a la rotura de 28 Kg/mm², llegando a un alargamiento del 35 al 40%. Además de todas estas características, presenta propiedades magnéticas. Al microscopio aparece como granos monofásicos, con límites de grano más irregulares que la austenita. El motivo de esto es que la ferrita se ha formado en una transformación en estado sólido, mientras que la austenita, procede de la solidificación.

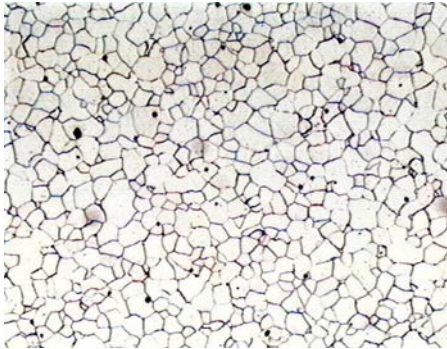


Fig. 14. Microscopía de ferrita
Fuente: (Blog Metalurgia4C410, 2014)

2.1.5.2. Cementita

Proviene del componente carburo de hierro Fe_3C y por tanto su composición es de 6.67% de C y 93.33% de Fe en peso. Es el constituyente más duro y frágil de los aceros, alcanzando una dureza de 960 Vickers. Cristaliza formando un paralelepípedo ortorrómbico de gran tamaño. Es magnética hasta los 210°C, temperatura a partir de la cual pierde sus propiedades magnéticas.

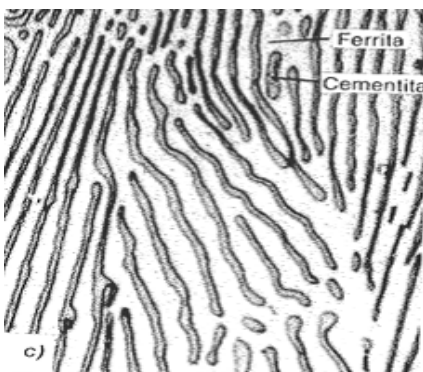


Fig. 15. Microscopía de cementita
Fuente: (Blog Metalurgia4C410, 2014)

2.1.5.3. Perlita

Es un constituyente compuesto por el 86.5% de ferrita y el 13.5% de cementita. La perlita tiene una dureza de aproximadamente 200 Vickers, con una resistencia a la rotura de 80 Kg/mm² y un alargamiento del 15%. Cada grano de perlita está formado por láminas o placas alternadas de cementita y ferrita. Esta estructura laminar se observa en la perlita formada por enfriamiento muy lento. Si el enfriamiento es muy brusco, la estructura es más borrosa y se denomina perlita sorbítica.

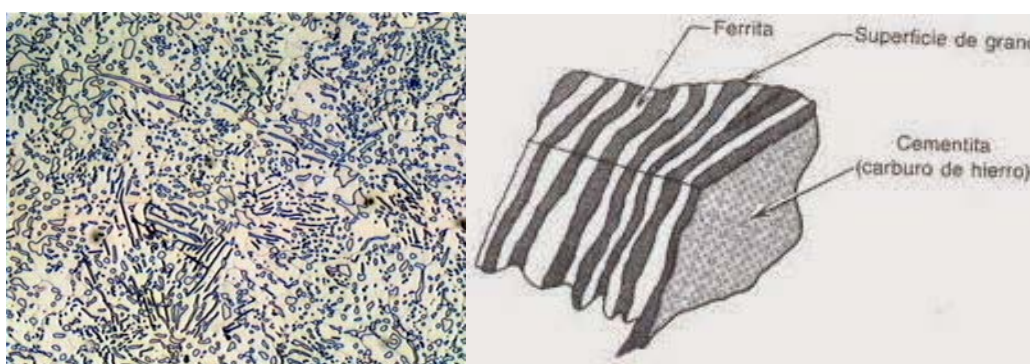


Fig. 16. Microscopía de Perlita y su Estructura
Fuente: (Blog Metalurgia4C410, 2014)

2.1.5.4. Austenita

Es el constituyente más denso de los aceros, y está formado por la solución sólida, por inserción, de carbono en hierro gamma. La proporción de C disuelto varía desde el 0 al 1.76%, correspondiendo este último porcentaje de máxima solubilidad a la temperatura de 1130 °C. La austenita en los aceros al carbono, es decir, si ningún otro elemento aleado, empieza a formarse a la temperatura de 723°C, enfriando muy rápidamente una probeta de acero de alto contenido de C a partir de una temperatura por encima de la crítica, pero este tipo de austenita no es estable, y con el tiempo se transforma en ferrita y perlita o bien cementita y perlita.

Excepcionalmente, hay algunos aceros al cromo-níquel denominados austeníticos, cuya estructura es austenítica a la temperatura ambiente. La austenita tiene una dureza de 305 Vickers, no presenta propiedades magnéticas.

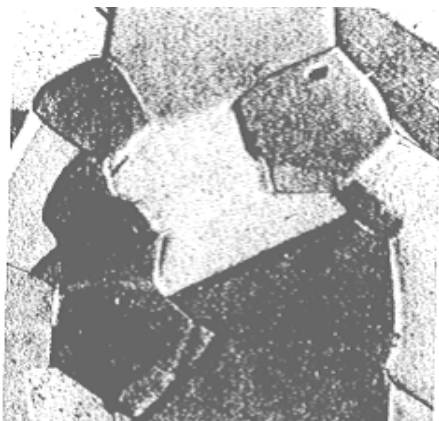


Fig. 17. Microscopía Austenita
Fuente: (Blog Metalurgia4C410, 2014)

2.1.5.5. Martensita

Bajo velocidades de enfriamiento bajas o moderadas, los átomos de C pueden difundirse hacia afuera de la estructura austenítica. De este modo, los átomos de Fe se mueven ligeramente para convertir su estructura en una tipo BCC. Esta transformación gamma-alfa tiene lugar mediante un proceso de nucleación y crecimiento dependiente del tiempo. Después de la cementita es el constituyente más duro de los aceros. La martensita se presenta en forma de agujas y cristaliza en la red tetragonal. La proporción de carbono en la martensita no es constante, sino que varía hasta un máximo de 0.89% aumentando su dureza, resistencia mecánica y fragilidad con el contenido de carbono. Su dureza está en torno a 540 Vickers, y su resistencia mecánica varía de 175 a 250 Kg/mm² y su alargamiento es del orden del 2.5 al 0.5%. Además es magnética.



Fig. 18. Microscopía Martensita
Fuente: (Blog Metalurgia4C410, 2014)

2.1.5.6. Bainita

Se forma la bainita en la transformación isoterma de la austenita, en un rango de temperaturas de 250 a 550°C. El proceso consiste en enfriar rápidamente la austenita hasta una temperatura constante, manteniéndose dicha temperatura hasta la transformación total de la austenita en bainita.



Fig. 19. Microscopía Bainita
Fuente: (Blog Metalurgia4C410, 2014)

2.1.5.7. Ledeburita

La ledeburita no es un constituyente de los aceros, sino de las fundiciones. Se encuentra en las aleaciones Fe-C cuando el porcentaje de carbono en hierro aleado es superior al 2%, es decir, un contenido total de 1.76% de carbono.

La ledeburita se forma al enfriar una fundición líquida de carbono (de composición alrededor del 4.3% de C) desde 1130°C, siendo estable hasta 723°C, descomponiéndose a partir de esta temperatura en ferrita y cementita.

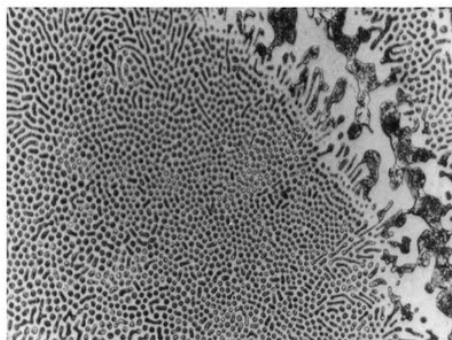


Fig. 20. Microscopía Ledeburita
Fuente: (Blog Metalurgia4C410, 2014)

2.1.6. Clasificación de los aceros

La SAE (Sociedad de ingenieros automotrices) y AISI (Instituto americano del hierro y el acero) crean una normativa para la clasificación de los aceros y aleaciones de materiales no ferrosas.

Existen varias maneras de clasificar los aceros las principales son de acuerdo con su composición, con su utilización, con su calidad. De acuerdo con su composición se pueden dividir en acero al carbono y aceros aleados. Según su utilización se pueden dividir en varios grupos estructurales, aceros al carbono para herramienta, aceros para propósitos especiales. De acuerdo con la calidad los aceros se clasifican según el proceso de producción y van desde los aceros de calidad ordinaria obtenidos por proceso Bessemer, los de horno eléctrico, hasta los aceros de elevada calidad que se producen por refusión en electro-escoria o métodos más refinados para obtener aceros para herramienta.

Como la microestructura del acero determina la mayoría de sus propiedades y aquella está determinada por el tratamiento y la composición química; uno de los sistemas más generalizados en la nomenclatura de los aceros es el que está basado en su composición química.

Todos los países y muchas instituciones tienen sistemas para clasificar los aceros. Los más usados en el medio son las especificaciones de la American Society for Testing and Materials (ASTM) y American Iron and Steel Institute (AISI).

En el sistema AISI-SAE, los aceros se clasifican con cuatro dígitos. El primer dígito especifica la aleación principal, el segundo modifica al primero y los dos últimos dígitos, dan la cantidad de carbono en centésimas. En algunos aceros al cromo de alto carbono hay números de cinco dígitos, los tres últimos dan el porcentaje de carbono.

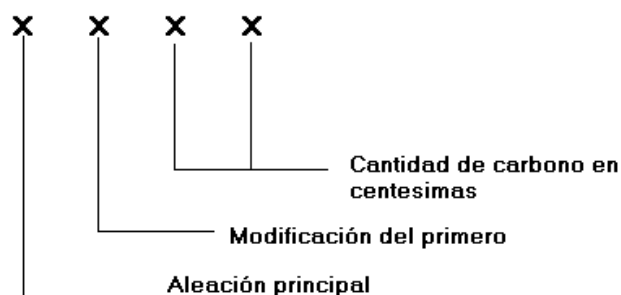


Fig. 21. Clasificación de aceros

Fuente: <https://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/>

Tabla 1. Clasificación según AISI-SAE varios tipos de aceros

Designación	Tipo
10XX	Aceros ordinarios al carbón
11XX	Aceros al carbono re sulfurados de fácil maquinado
13XX	Aceros con 1.75% de Mn (1.5-2%)
15XX	Aceros al manganeso (1.0-1.65%)
23XX	Aceros al níquel, 3.5% de Ni (3.25-3.75%)
25XX	Aceros al níquel, 5% de Ni (4.75-5.25%)
31XX	Aceros al níquel-Cromo, 1.25% Ni y 0.65% Cr
33XX	Aceros al níquel-Cromo, 3.5% Ni y 1.60% Cr
40XX	Aceros al molibdeno, 0.25% Mo.
41XX	Aceros con Cr (0.4-1.2%), Mo (0.08-0.25%)
43XX	Aceros al Ni-Cr-Mo (1.8%Ni, 0.65%Cr, 0.25%Mo)
44XX	Molibdeno, (0.4-0.53%)
45XX	Molibdeno, (0.55%)
46XX	Níquel- Molibdeno, (1.8%Ni, 0.2%Mo)
47XX	Níquel- Cromo- Molibdeno, (1.05%Ni, 0.45%Cr, 0.2%Mo)
48XX	Níquel- Molibdeno, (3.5%Ni, 0.25%Mo)
50XX	Aceros al Cromo (bajo cromo, 0.28-0.40%)
51XX	Medio Cromo, (0.8-1.05%)
50XXX	Acero resistente al desgaste, 0.5%Cr
51XXX	Acero resistente al desgaste, medio Cr 1%
52XXX	Acero resistente al desgaste, alto Cr 1.45%
61XX	Aceros al Cromo-Vanadio, (0.75% Cr, 0.15% V)
8XXX	Aceros de triple aleación
81XX	0.3%Ni, 0.4%Cr, 0.12%Mo
86XX	0.55%Ni, 0.50%Cr, 0.20%Mo
87XX	0.55%Ni, 0.50%Cr, 0.25%Mo
88XX	0.55%Ni, 0.50%Cr, 0.35%Mo
92XX	Acero al Silicio-Manganeso, (2%Si y 0.8%Mn)
93XX	Aceros de triple aleación, 3.25%Ni, 1.2%Cr, 0.12%Mo
98XX	Aceros de triple aleación, 1%Ni, 0.8%Cr, 0.25%Mo
XXBXX	Aceros con Boro, (mínimo 0.0005% B)
50BXX	0.5%Cr

Tabla 1. (Cont.)

51BXX	0.8%Cr
81BXX	0.3%Ni, 0.45%Cr, 0.12%Mo
XXBVXX	Acero al Boro-Vanadio
XXLXX	Acero con plomo
XXXH	Acero con banda de templabilidad
EX	Nuevos tipos de acero con designación temporal

Fuente: <https://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/>

2.1.7. Tratamientos térmicos

Según la aplicación que se vaya a dar a determinado acero, se debe tener en cuenta, no sólo, la composición de este material, si no también existe un proceso adicional posterior a la fabricación del componente. Este proceso, otorga al metal las propiedades adecuadas para su buen desempeño durante el funcionamiento de la máquina, se llama tratamiento térmico.

El tratamiento térmico hace referencia al proceso tecnológico, en donde, se somete a un componente metálico a una variación de temperatura controlada. Esta variación de temperatura, permite modificar el estado de su estructura cristalina, es decir cambiar el estado de los microcomponentes y su concentración, alterando su microestructura obteniendo propiedades mecánicas del componente acordes con las funciones que se desea conseguir.

- Estructura de mejor dureza y maquinabilidad.
- Eliminar tensiones internas y evitar deformaciones después del mecanizado.
- Estructura más homogénea.
- Máxima dureza y resistencia posible.
- Variar algunas de las propiedades físicas.

2.1.7.1. Clasificación de los tratamientos térmicos

Existen varios tipos de tratamientos térmicos según el método, se clasifican en:

2.1.7.2. Tratamientos térmicos

En los tratamientos térmicos como tal interviene los procesos de variaciones de temperatura, calentamientos y enfriamientos controlados. Lo que se pretende es lograr una reorganización de los empaquetamientos de átomos del metal, para conseguir en el acero las propiedades deseadas para una determinada aplicación.

Temple.- Se utiliza para obtener un tipo de aceros de alta dureza llamado martensita. El proceso consiste en elevar la temperatura del acero hasta una temperatura cercana a 1000°C y posteriormente someterlo a enfriamientos rápidos o bruscos y continuos en agua, aceite o aire. El inconveniente del proceso es que el acero resultante será muy frágil y poco dúctil, porque existen altas tensiones internas. (Ordaz, 2012)

La capacidad de un acero para transformarse en martensita durante el temple depende de la composición química del acero y se denomina templabilidad.

Revenido.- es el tratamiento térmico que sigue al temple, a baja temperatura (150°C a 650°C), para disminuir ligeramente los efectos del temple, conservando parte de la dureza y aumentar la tenacidad. El revenido consiste en calentar la pieza templada hasta cierta temperatura, para reducir las tensiones internas que tiene el acero martensítico (de alta dureza). De esto modo, se evita que el acero sea frágil, sacrificando un poco la dureza. La velocidad de enfriamiento es, por lo general, rápida. (Ordaz, 2012)

Recocido.- es un proceso de tratamiento térmico utilizado para reducir la dureza y aumentar la ductilidad, ya que ayuda a eliminar las tensiones internas. El objetivo de éste proceso es: mejorar las propiedades de mecanizado de las piezas obtener una mejor estabilidad dimensional y mejorar las propiedades eléctricas. Consiste básicamente en un calentamiento hasta temperatura de austenización (800 - 925° C) seguido de un enfriamiento lento. (Ordaz, 2012)

Normalizado.- tiene por objeto proporcionar una estructura uniforme y de grano fino al acero, es decir, ausencia de tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono. Se suele emplear como tratamiento previo al temple y al revenido.

Durante la normalización el material se calienta a una temperatura aproximadamente equivalente a la temperatura de endurecimiento (800-920 °C). A esta temperatura se forman nuevos granos austeníticos. Los granos austeníticos son mucho más pequeños que los granos ferríticos anteriores. Tras el calentamiento y un tiempo de inmersión breve, los componentes se enfrían libremente en el aire (gas). Durante el enfriamiento se forman nuevos granos ferríticos, con un tamaño de grano refinado. En algunos casos, tanto el calentamiento como el enfriamiento tienen lugar bajo un gas protector, para evitar la oxidación y descarburación. (Bodycote plc, 2016)

2.1.7.3. Tratamientos termoquímicos.

Mediante estos procesos, no solo se varían las temperaturas, como en los tratamientos térmicos como tal, sino que además, se varía la composición química superficial de los aceros, adicionando otros elementos para mejorar las propiedades en la superficie, principalmente la dureza o resistencia a la corrosión, sin modificar otras propiedades esenciales tales como ductilidad. Cementación, nitruración y cianuración los cuales consisten en la alteración de la composición química del acero. Se efectúa en aceros de bajo porcentaje de carbono (menos del 0,30 % C). Estos tratamientos tienen efecto solo superficial en las piezas tratadas y consiguen aumentar la dureza superficial de los componentes dejando el núcleo más blando y flexible. Requieren el uso de calentamiento y enfriamiento en atmósferas especiales.

Cementación: aumenta la dureza superficial de una pieza de acero dulce, ampliando la concentración de carbono en la superficie. Se consigue teniendo en cuenta el medio o atmósfera que envuelve el metal durante el calentamiento y enfriamiento. El tratamiento logra extender el contenido de carbono de la zona periférica, obteniéndose después, por medio de temple y revenidos, una gran dureza superficial, resistencia al desgaste y buena tenacidad en el núcleo.

Dureza superficial y resistencia. La temperatura usual de cementación es cercana a los 950°C y la profundidad de este tratamiento depende del tiempo y de la dureza deseada. Una vez obtenida la capa exterior rica en C, se endurece por temple.

Nitruración: al igual que la cementación, aumenta la dureza superficial, aunque lo hace en mayor medida, incorporando nitrógeno en la composición de la superficie de la pieza. Se logra calentando el acero a temperaturas comprendidas entre 400 - 525° C, dentro de una corriente de gas amoníaco, más nitrógeno, formándose una capa de muy poca profundidad pero de dureza muy superior a la capa de cementado. Durante el proceso no hay deformaciones y se obtiene una mayor resistencia a la corrosión.

Si bien este tratamiento da gran dureza superficial a la pieza, la velocidad de penetración es muy lenta, aproximadamente 1 mm en 100 horas de tratamiento, pero no necesita de temple posterior.

La nitruración se da a piezas sometidas a grandes fuerzas de rozamiento y de carga como, por ejemplo, pistas de rodamientos, camisas de cilindros o piezas similares, que necesitan un núcleo con cierta plasticidad, que absorba golpes y vibraciones, y una superficie de gran dureza contra desgaste y deformaciones.

Cianuración: endurecimiento superficial de pequeñas piezas de acero. Se utilizan baños con cianuro, carbonato y cianato sódico. Se aplican temperaturas entre 760 y 950 ° C.

Consiste en endurecer la superficie exterior de las piezas introduciendo carbono y nitrógeno. Posteriormente hay que templar las piezas. Se cementa colocando las piezas en baños de mezclas de sales fundidas, (cianuro, HCN), de modo que el carbono difunde desde el baño hacia el interior del metal. Produce una capa más profunda, más rica en C y menos N. Sus principales ventajas son: eliminación de oxidación, profundidad de la superficie dura y contenido de C uniformes y gran rapidez de penetración; si bien posee ciertas desventajas como son: lavado de las piezas posterior al tratamiento para prevenir la herrumbre, revisión de la

composición del baño en forma periódica y alta peligrosidad de las sales de cianuro, dado que éstas son venenosas.

2.1.7.4. Los tratamientos termo mecánicos.

Laminado, trefilado, forja, embutido, entre otros, lo que se busca conseguir es la mejora de las propiedades mecánicas mediante deformaciones en frío o en caliente.

2.1.8. Caracterización de los metales

Para la fabricación de componentes de un mecanismo sometido a esfuerzos variables continuos, se necesita materiales que aseguren la fiabilidad del producto. En el mercado se encuentra una gran variedad de aceros, sin embargo hay que seleccionar el que resulte más viable técnica y económicamente. Los componentes fabricados con metales deben responder de forma adecuada a determinadas sollicitaciones mecánicas.

De esta manera la caracterización un material metálico, no es más que la obtención o medición de las propiedades mecánicas, otorgadas a un material, por medio de una aleación, proceso de conformación o tratamiento superficial, para el cumplimiento de una determinada función.

A toda la casuística anterior, hay que añadir la que surge de la consideración de otras etapas de la vida de una pieza como por ejemplo, su conformación. En ciertos procesos de fabricación, se confiere su forma a los productos metálicos por deformación plástica. Para determinar cuáles son las condiciones óptimas de trabajo en estos casos, es necesario conocer cuál es la relación entre los esfuerzos que se aplican y las deformaciones que se producen y cuál es la máxima deformación que admite el material sin llegar a romper.

2.1.8.1. Ensayo de tracción

Este ensayo permite obtener información sobre la capacidad de un material para soportar la acción de cargas estáticas o de cargas que varían lentamente que. Como los componentes metálicos se proyectan en la mayoría de las ocasiones para trabajar en estas condiciones, probablemente este es el más popular entre los ensayos que permiten caracterizar el comportamiento mecánico de un material metálico.

El ensayo se realiza alargando una probeta de geometría normalizada con longitud inicial L_0 que se ha amarrado entre las mordazas de una máquina según se puede ver de forma esquemática. Una de las mordazas de la máquina está unida al cabezal móvil y se desplaza respecto a la otra con velocidad constante durante la realización del ensayo. Las máquinas de ensayo disponen de sistemas de medida, células de carga y extensómetros, que permiten registrar la fuerza aplicada y la deformación producida mientras las mordazas se están separando. La curva tensión-deformación resultante del ensayo se construye representando la tensión, σ , que es la fuerza aplicada a la sección recta inicial de la probeta, S_0 , frente al alargamiento, ϵ , que se define como la extensión porcentual referida a la longitud inicial, $(L - L_0)/L_0 \times 100$.

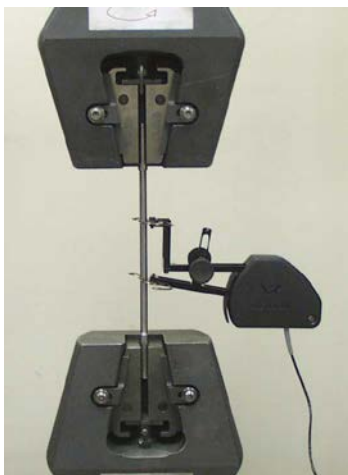


Fig. 22. Equipo para ensayos de tracción

Fuente: (Ensayo de Tracción, s.f.)

Tabla 2. Valores resultantes de los ensayos de tracción para algunas aleaciones metálicas

	E(Gpa)	Límite Elástico (MPa)	Rm (MPa)	At (%)
Aleaciones de plomo	15-30	5-75	10-90	3-70
Aleaciones de magnesio	40-47.5	70-725	150-475	3-20
Aleaciones de aluminio	70-90	30-300	60-600	1-40
Aleaciones de cobre	75-150	30-1100	100-1250	1-40
Aleaciones de litanio	90-137	175-1200	240-1625	1-40
Aceros	190-215	150-2250	250-2500	0.5-70
Aleaciones de wolframio	250-450	450-3500	650-4000	0.5-25

Fuente: (Ensayo de Tracción, s.f.)

Las máquinas que se utilizan para llevar a cabo los ensayos de tracción disponen de un conjunto muy amplio de accesorios que permiten la aplicación de sollicitaciones de diferente naturaleza y la realización de ensayos de muchos otros tipos como por ejemplo, compresión, flexión, plegado, cortadura, etc. Por esta razón, estos equipos se conocen con el nombre de máquinas universales de ensayo o dinamómetros universales. Si bien estas pruebas son fundamentales en ocasiones para seleccionar el material adecuado a cierta aplicación o como método de control de calidad, su empleo es mucho menos frecuente que el del ensayo de tracción y se deja su discusión para las asignaturas relacionadas con la mecánica de los medios continuos.

2.1.8.2. Ensayos de dureza

La dureza de un material es una propiedad tan fácil de apreciar como difícil de definir. En muchos textos aparece definida como una medida de su resistencia a la deformación permanente o al daño. Una cuestión que surge inmediatamente a partir de esta definición es cuál es el tipo de deformación o daño que interesa, pregunta cuya respuesta tiene, en principio, una componente subjetiva muy importante. Para ilustrar la afirmación anterior se va a considerar un ejemplo sencillo: la fabricación de un engranaje. El mecánico que va a tallar el engranaje inevitablemente asociará dureza a facilidad de mecanizado, el usuario pensará en resistencia al desgaste mientras que el técnico que lo proyectó ha debido considerar ambos extremos.

De acuerdo con lo anterior, la determinación precisa de la dureza de un material depende del método de medida, es decir, del modo en que el material se deforma

durante el ensayo. Entre los métodos que se pueden emplear para la medida de dureza de materiales metálicos, los más habituales son los de penetración estática. En estos ensayos se apoya un penetrador de geometría normalizada sobre la superficie del material a ensayar bajo la acción de una carga prefijada y la dureza se determina en función de las dimensiones de la huella producida.

El más antiguo de los ensayos de este grupo es el *Brinell* que data de 1.900. El penetrador Brinell es una esfera de acero tratado y la dureza, HB, se define como la presión media ejercida por el penetrador expresada en kg/mm². Es decir, la dureza se calcula como el cociente entre la carga, P, y el área de contacto que se puede calcular como función del diámetro de la bola, D, y del de la huella, d, llegándose a la expresión que se recoge.

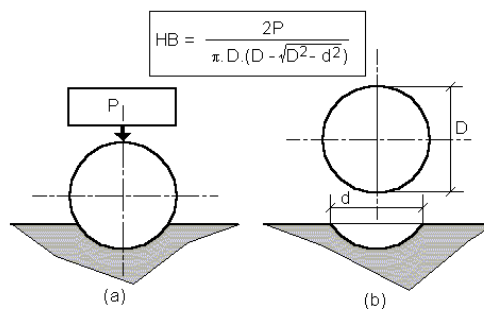


Fig. 24. Ensayo Brinell

Fuente: <https://www.google.com.ec/search?hl>

Para medir la dureza ensayo Brinell se apoya la bola de diámetro D sobre el material a ensayar bajo la acción de la carga P (a). Tras retirar la carga, se mide el diámetro d de la huella (b) y la dureza se calcula por medio de la expresión que aparece recuadrada

Como las huellas no son geoméricamente semejantes, la dureza Brinell resulta función de las condiciones de ensayo. Para garantizar que los resultados son comparables en todos los casos y evitar las dificultades asociadas a la falta de semejanza de las huellas, las condiciones del ensayo se deben seleccionar de modo que el diámetro de la huella quede comprendido entre la cuarta parte y la mitad del diámetro del penetrador. Esto se consigue ajustando el cociente $Q = P/D^2$ en función de la naturaleza del material a ensayar según se indica en la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 3. Valores del parámetro Q que se deben utilizar en el ensayo de la dureza Brinell de distintos materiales metálicos

Material	HB	P/D ² (kg/mm ²)
Acero		30
Fundición	< 140	10
	≥ 140	30
Cobre y sus aleaciones	< 35	10
	35 a 200	30
	> 200	30
Metales y aleaciones ligeros	< 35	1,25 ó 2.5
	35 a 80	5, 10 ó 15
	> 80	10 ó 15
Plomo, estaño		1 ó 1.25

* Para fundiciones se deben emplear bolas con diámetros de 2.5; 5 ó 10 mm.

Fuente: <https://www.google.com.ec/search?hl>

El ensayo Brinell con penetrador de acero tratado está limitado a materiales no demasiado duros (HB < 450) ya que el penetrador se deforma al ensayar materiales muy duros obteniéndose medidas erróneas. Para evitar este problema, siempre que se midan durezas mayores que 450 HB y menores que 650 HB, límite superior de la técnica, hay que emplear bolas de metal duro. Estas bolas se fabrican por técnicas pulvimetalúrgicas siendo su componente fundamental el carburo de wolframio (total de otros carburos < 2%, cobalto entre 5 y 7%). Para distinguir entre ambos tipos de medida, se utilizan las notaciones HBS y HBW para referirse a los resultados obtenidos con bola de acero y con bola de metal duro, respectivamente.

En 1920 se propuso un ensayo alternativo al descrito, el ensayo Vickers, que utilizaba un penetrador fabricado en diamante con forma de pirámide recta de base cuadrada en la que las caras opuestas forman un ángulo de 136°. El ángulo entre las caras de la pirámide Vickers se escogió para garantizar que los valores de la dureza obtenidos resulten próximos a los del ensayo Brinell en su campo de aplicación común tal como se ve en la figura 3-2. La realización del ensayo es análoga a la del ensayo Brinell y la dureza, HV, que se define también como la presión media en kg/mm² sobre el área de contacto, se calcula por medio de la expresión:

$$HV = 2 \cdot \text{sen } 68^\circ \cdot P/d^2 = 1,854 \cdot P/d^2 \quad [3-1],$$

Donde P es la carga aplicada y d es la diagonal de la base de la huella.

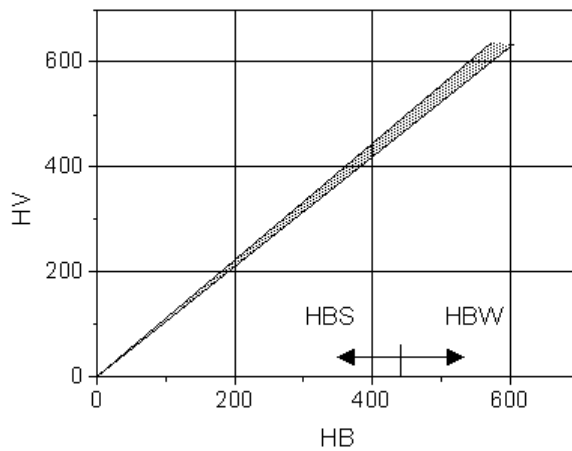


Fig. 25. Conversión aproximada entre los valores de las durezas Vickers y Brinell para aceros

Fuente: <https://www.google.com.ec/search?hl>

Este ensayo permite superar las limitaciones del ensayo Brinell ya que, por un lado, la dureza resulta, en principio, independiente de la carga al ser todas las huellas Vickers semejantes y, por otro lado, un penetrador de diamante no se deforma por duro que sea el metal a ensayar. Por ejemplo, hay que emplear el ensayo Vickers para comprobar que la dureza del penetrador esférico de metal duro que se emplea en el ensayo Brinell resulta superior a 1500 HV.

Un tercer método de medida de dureza por penetración estática que se emplea para caracterizar materiales metálicos es el ensayo Rockwell. Para comenzar el ensayo se apoya el penetrador sobre la superficie de la muestra a ensayar bajo la acción de una precarga F_0 que, en todos los casos, es de 10 kg. Como consecuencia de esto, el penetrador se introduce en el material hasta una profundidad h_0 . A continuación, se añade una carga F_1 , se deja actuar la carga total durante algunos segundos y, finalmente, se retira la última carga aplicada manteniendo la precarga. Al terminar este proceso, el penetrador habrá profundizado en la muestra hasta una distancia $h_0 + e$, midiéndose la dureza como función de la distancia e expresada en mm. Existen distintos tipos de ensayos Rockwell que difieren en la forma del penetrador, en el valor de las sobrecargas F_1 que se aplican y en el modo de calcular la dureza.

Estos procedimientos se identifican por una letra que se escribe tras las iniciales HR y son los que se muestran en la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 4. Modalidades del ensayo Rockwell

	Penetrador	Sobrecarga (kg)	Fórmula de cálculo	Valores	Se aplica a
HRA	Cónico	50	10- e/0.02	20 a 88 HRA	Metal duro. Piezas finas de acero y capas cementadas finas
HEB	Bola acero 5/8"	90	130- e/0.02	20 a 100 HRB	Aleaciones de cobre y aluminio. Aceros blandos. Fundiciones maleables
HRC	Cónico	140	100- e/0.02	20 a 70 HRC	Aceros, fundiciones templadas, capas cementadas gruesas, aleaciones titanio. Materiales con dureza mayor que HRB 100
HRD	Cónico	90	100- e/0.02	40 a 77 HRD	Piezas finas de acero y capas cementadas de espesor medio. Fundición maleable periférica
HRE	Bola acero 1 1/4"	90	130- e/0.02	70 a 100 HRE	Fundiciones grises. Aleaciones de aluminio y magnesio. Aleaciones antifricción
HRF	Bola acero 5/8"	50	130- e/0.02	60 a 100 HRF	Aleaciones de cobre recocidas chapas finas
HRG	Bola acero 5/8"	140	130- e/0.02	30 a 94 HRG	Bronces fosforosos. Cuproberilios
HRH	Bola acero 1 1/4"	50	130- e/0.02	80 a 100 HRG	Aleaciones de aluminio, cinc y plomo
	Bola acero 1 1/4"	140	130- e/0.02	40 a 100 HRK	Aleaciones antifricción y muestras muy blandas o muy finas

* Cono de diamante con un ángulo de 120° y un radio de curvatura en la punta de 0.200 mm

Fuente: <https://www.google.com.ec/search?hl>

La elección de un método Rockwell u otro de ensayo depende de la naturaleza del metal a experimentar y de las dimensiones de la muestra ya que la profundidad de penetración depende de las condiciones del ensayo.

Los valores de dureza Rockwell no se pueden convertir directamente a los valores de durezas medidos por otros procedimientos ya que al ser diferente la forma de hacer la huella, la distribución de esfuerzos varía de unos métodos a otros y, en consecuencia, las durezas resultantes corresponderán a distintos grados de endurecimiento por deformación. A título ilustrativo, en la figura 3-3 se presenta un gráfico que muestra la correlación experimental entre distintas escalas de dureza Rockwell y la dureza Vickers para aceros. Conviene insistir en que tanto las curvas que aparecen en la figura 3-3 como otras relaciones empíricas similares que se puedan encontrar en otras fuentes son sólo aplicables para los materiales con los que fueron obtenidas y, aun así, hay que ser precavido a la hora de manejarlas ya que, dentro de la misma familia de metales, las relaciones entre escalas pueden cambiar de un grado a otro o de un estado a otro.

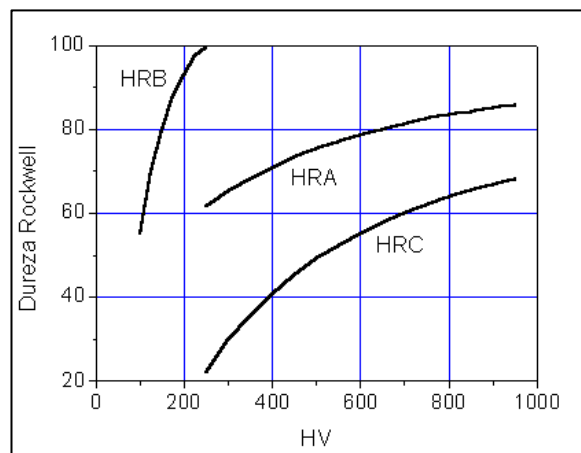


Fig. 26. Relaciones entre la dureza Vickers y las durezas HRA, HRB y HRC para aceros.

Fuente. <https://www.google.com.ec/search?hl>

Para interpretar que es lo que se está midiendo en un ensayo de dureza es importante tener presente que las huellas que se producen en estos estudios tiene profundidades que van desde unos pocos micrómetros en sondeos de microdureza Vickers (ensayos con carga que no llega al kg) hasta algo menos de un milímetro en un prueba Brinell con bola de 10. Como la carga aplicada está soportada por el material que se

encuentra en las proximidades de la huella a una distancia que es inferior a unas pocas veces su profundidad de la huella, el resultado de la medida es de carácter local. Para muestras homogéneas, las verificaciones de dureza aportan información sobre las características del material y la dureza se puede correlacionar con algunas de sus propiedades. Así, por ejemplo, para un material plástico ideal, modelo que describe satisfactoriamente el comportamiento de muchas aleaciones metálicas, se cumple la ley de Tabor:

$$HV = 3 \cdot Rm \quad [3-2]$$

Dado el carácter local de los ensayos de dureza, es posible obtener información sobre la variación con la posición de las propiedades de materiales heterogéneos. En el límite, cuando se aplican cargas muy reducidas en los ensayos de microdureza, se puede caracterizar cada uno de los microconstituyentes que forman la aleación. Con cargas superiores, se consigue medir la dureza de la periferia de la pieza que está ensayando. En estos casos, con una elección juiciosa del método y de las condiciones de ensayo, es posible evaluar el resultado de tratamientos térmicos superficiales, caracterizar recubrimientos, valorar la importancia de ciertos defectos que pueden aparecer en la periferia de las piezas metálicas como consecuencia de tratamientos incorrectos o estimar la resistencia al desgaste de la pieza en cuestión ya que, en primera aproximación, esta propiedad crece al aumentar la dureza.

2.1.8.3. Ensayos de resiliencia

Los ensayos de resiliencia tienen por finalidad medir la resistencia al choque de un material. El método que se emplea con más frecuencia para obtener este tipo de medidas es el ensayo de flexión por choque para el que se emplea el dispositivo conocido como péndulo Charpy que se muestra en esquema en la figura 4-1(a). Para la realización del ensayo, se sitúa una probeta de geometría normalizada sobre bloque de apoyo marcado con la letra A según se muestra en la figura 4-1(b) y, a continuación, se deja caer una maza (B) con masa m desde una altura h_0 que debe romper la probeta al percutir contra ella. Si el péndulo alcanza en su posterior movimiento ascendente una altura máxima h , la energía absorbida en el proceso de

fractura resulta $mg \cdot (h_0 - h)$ donde g es la constante de gravedad. La resistencia al impacto del material que se ensaya se puede medir tanto por el valor de la energía absorbida en el choque como por el cociente entre este valor y el área de la sección recta de la probeta. (estudiantesmetalografia, 2012)

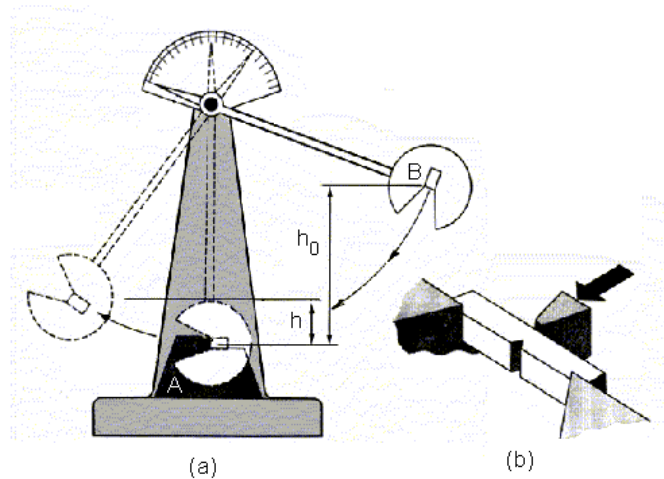


Fig. 27. Esquema de un péndulo Charpy (a) y detalle de la probeta (b)

Fuente: <https://lne-charpy.com/es/what-charpy>

Las probetas normales son prismáticas con sección recta cuadrada de 10 mm de lado y una longitud de 55 mm. En el punto medio de su longitud presentan una entalla que, en la mayoría de las ocasiones, tiene forma de U o de V. La finalidad de estas entallas es la de simular las condiciones más desfavorables que se puedan dar en servicio.

Los resultados experimentales demuestran que la fractura de los materiales metálicos en el ensayo Charpy se puede producir según dos mecanismos claramente diferenciados: la fractura frágil y la dúctil. Desde un punto de vista macroscópico, ambos comportamientos se diferencian en la extensión de la deformación plástica que precede a la fractura. Así, se habla de fractura dúctil cuando la deformación plástica previa es importante mientras que se emplea el término fractura frágil para referirse a aquellos procesos en que el fallo se produce sin deformación apreciable.

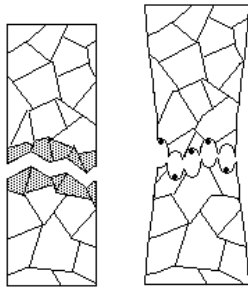


Fig. 28. Representación esquemática de los modos de fractura que pueden aparecer en aleaciones metálicas: fractura frágil (a) y fractura dúctil (b)

Fuente. <https://lne-charpy.com/es/what-charpy>

La **fractura frágil**, desde el punto de vista metalográfico, es transcristalina y se produce por descohesión o, lo que es lo mismo, por separación de ciertos planos cristalográficos, mecanismo que se conoce con el nombre de *clivaje*. Como consecuencia de la formación de facetas, las fracturas frágiles presentan un aspecto brillante característico que en ocasiones se denomina “cristalino”.

La **fractura dúctil** se produce en cambio por un mecanismo de nucleación una vez sobrepasado los límites de esfuerzo de deformación plástica (movimiento de dislocaciones). Estas cavidades nuclean casi siempre en las proximidades de partículas de segundas fases y, con mucho menos frecuencia, en los bordes de grano. El mecanismo de fractura en aleaciones metálicas está ligado a su estructura cristalina según se ilustra en la figura 4-3. Así, los metales con estructura c.c.c. suelen presentar valores elevados de la energía absorbida en la fractura y un comportamiento dúctil mientras que con estructura h.c.c presentan, generalmente, fracturas frágiles y valores reducidos de la energía absorbida. Especial atención merece el caso de las aleaciones metálicas con estructura c.c.f ya que estos materiales presentan uno u otro comportamiento dependiendo de la temperatura. A temperaturas relativamente elevadas, los metales c.c.f se comportan como dúctiles y, a temperaturas reducidas, son frágiles.

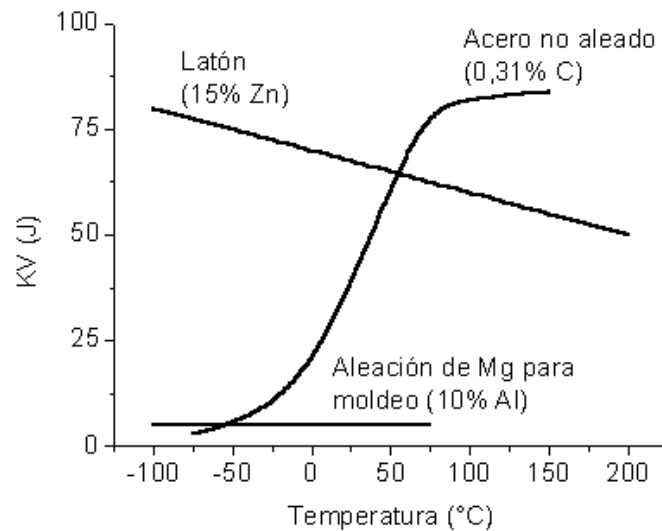


Fig. 29. Curvas de variación con la temperatura de la energía absorbida en la fractura de una aleación con estructura h.c.p. (la de magnesio), de otra con estructura c.c.c. (el latón) y una tercera c.c.f (el acero)

Fuente: <https://lne-charpy.com/es/what-charpy>

La influencia de la acritud sobre la resiliencia puede ser beneficiosa o perjudicial según los casos. Así, en la figura 4-4(a) se presenta una orientación de las interfaces con energía de cohesión reducida que dificulta el avance de la fisura al disminuir la triaxialidad de tensiones en su extremo ya que se anula una de las componentes de la tensión. En la figura 4-4(b) se presenta otra orientación favorable ya que, en este caso, la placa se comporta como si estuviera dividida en chapas cuyo espesor coincide con la separación entre interfaces. En el caso que se describe en la figura 4-4(c) la situación es radicalmente diferente ya que, con esta orientación, la fisura avanza con facilidad a lo largo de las superficies sobre las que la cohesión es menor.

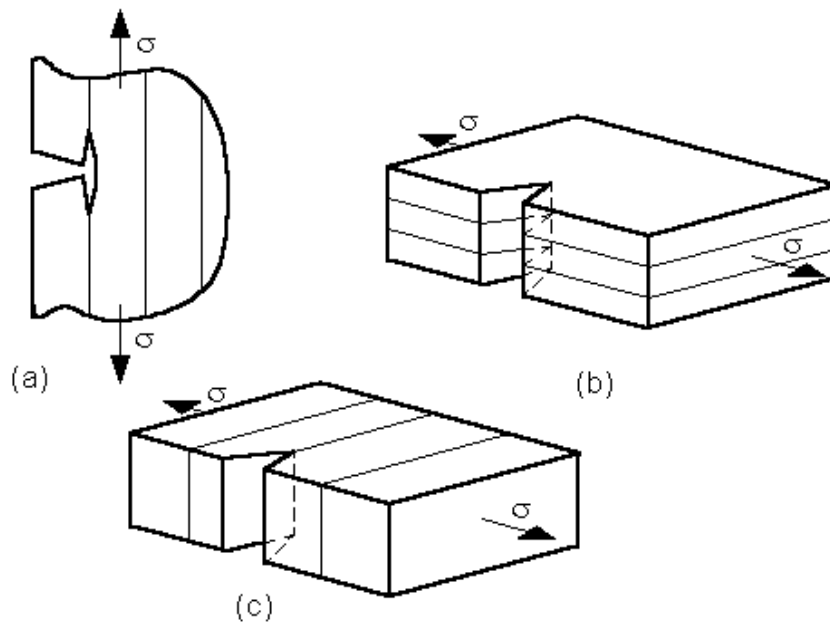


Fig. 30. Efecto de la anisotropía sobre la resiliencia. En los casos (a) y (b) la distribución de las interfaces de cohesión débil, que aparecen marcadas con trazo fino, dificultan el avance la fisura mientras que en la (c) lo favorecen

Fuente: <https://lne-charpy.com/es/what-charpy>

Para finalizar conviene destacar que si bien el ensayo de resiliencia es una herramienta útil para el control de calidad y permite obtener información precisa acerca de la influencia de los diferentes parámetros que definen la microestructura sobre la resistencia al choque de un material metálico, sus resultados tienen una utilidad limitada para el proyecto de elementos estructurales.

2.1.8.4. Ensayos de fatiga

En muchas aplicaciones de interés técnico un componente estructural ha de trabajar sometido a la acción de cargas oscilantes de diferente naturaleza (tracción, compresión, torsión, flexión, etc. Con un valor inferior al necesario para llegar a producir la deformación plástica en condiciones de carga estática. La experiencia demuestra que bajo estas sollicitaciones que se dan, por ejemplo, en el funcionamiento de máquinas alternativas o en el caso de elementos estructurales sometidos a vibraciones, se puede producir la rotura como consecuencia del proceso que se conoce con el nombre de fatiga. Como estas condiciones de carga son relativamente frecuentes, es necesario conocer cuál es la respuesta de un metal

sometido a la acción de cargas moderadas que varían en el tiempo, finalidad para la que se han desarrollado los ensayos de fatiga. (Toro, 2012)

Esta figura muestra que un material sometido a cargas fluctuantes cuya magnitud es inferior a su resistencia a la tracción puede llegar a la fractura siempre que los esfuerzos se apliquen durante un número de ciclos suficientemente elevado.

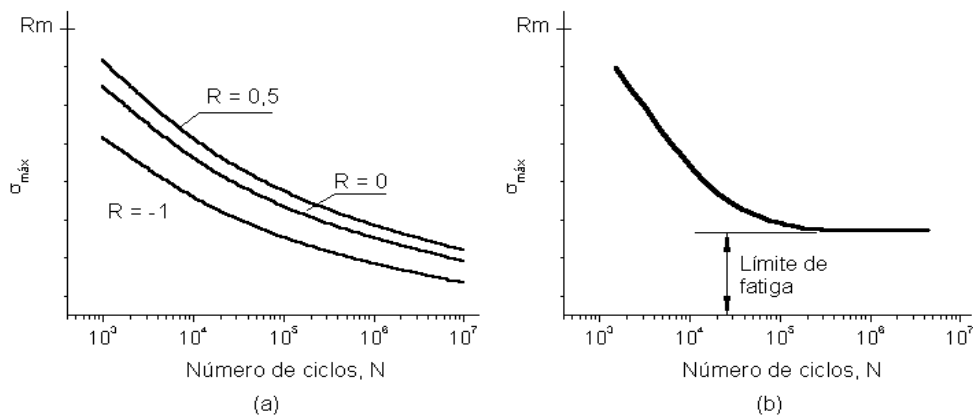


Fig. 31. Tipos de curvas S-N que aparecen para distintos materiales metálicos

Fuente: <https://lne-charpy.com/es/what-charpy>

La figura 5-1(a) ilustra un hecho de carácter general: la resistencia a la fatiga de una aleación depende de las condiciones de aplicación de la carga. Los resultados demuestran que la capacidad de un metal para resistir esfuerzos oscilantes crece al aumentar el cociente R y, por tanto, que las condiciones de trabajo más desfavorables se dan cuando el esfuerzo promedio es nulo ($R = -1$).

La forma de las curvas S-N depende de la naturaleza del metal ensayado y así, en el caso particular de los aceros no aleados y de los aceros de baja aleación, aparecen curvas como la de la figura 5-1(b) con un tramo terminal que resulta ser horizontal. En este caso se define el límite de fatiga, σ_e , como el valor máximo de la tensión aplicada para el cual no se produce la fractura. Conforme a lo comentado en el párrafo anterior, el límite de fatiga a de determinarse para el caso $\sigma_m = 0$. Para materiales metálicos con curvas S-N como las de la figura 5-1(a) se pueden definir el límite de fatiga como el máximo esfuerzo de la tensión aplicada para el cual no se produce la fractura al cabo de 10^7 ciclos.

El valor del límite de fatiga de un metal está relacionado con su resistencia a la tracción según se puede ver en la figura 5-2. Los resultados demuestran que la resistencia a la fatiga de los metales es, en primera aproximación, una función creciente de su resistencia a la tracción y que, a falta de otros datos, es posible obtener una estimación conservadora del límite de fatiga al dividir por cuatro la resistencia a la tracción.

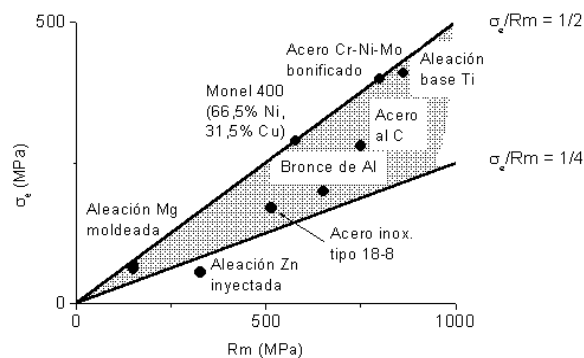


Fig. 32. Relación entre el límite de fatiga, σ_e , y la resistencia a la tracción, R_m , para diferentes aleaciones metálicas.

Fuente: <https://lne-charpy.com/es/what-charpy>

Los resultados experimentales demuestran que el límite de fatiga crece con la adición de aleantes que forman soluciones sólidas o al afinar la estructura. La temperatura de ensayo es otra de las variables que influyen sobre la resistencia a la fatiga de un material metálico.

En muchas ocasiones el fallo por fatiga de piezas se debe a la acción de tensiones variables debidas a los cambios de temperatura, se habla entonces de *fatiga térmica*. Estas tensiones de origen térmico aparecen cuando existen diferencias de temperatura entre distintos puntos de piezas que no pueden dilatarse y contraerse libremente. La tendencia de un metal a fallar por fatiga térmica resulta tanto más elevada cuanto mayor es el coeficiente de dilatación lineal y cuanto menor es la conductividad térmica.

Esto es así porque cuanto menor sea la conductividad, más lento es el proceso de paso al equilibrio térmico y cuanto mayor sea coeficiente de dilatación, mayor es la amplitud de las tensiones térmicas. Precisamente por sus propiedades, los aceros

inoxidables austeníticos que se utilizan con frecuencia para aplicaciones a temperaturas elevadas resultan especialmente sensibles a este fenómeno.

Para frecuencias entre 500 y 10.000 Hz, que es el rango de frecuencias de las cargas oscilantes que actúan sobre los elementos de máquinas en la mayoría de las ocasiones, las variaciones en el límite de fatiga de los metales son muy reducidas. En general, se observa que el límite de fatiga crece entre un 5 y un 10% al aumentar la frecuencia desde el límite inferior al superior del intervalo que se considera.

El último factor cuya influencia sobre la resistencia a la fatiga se va a considerar es la geometría y el estado superficial. La influencia de este factor es fundamental ya que en la gran mayoría de las ocasiones los fallos por fatiga se inician en la superficie de la pieza. Esto debe a que en las condiciones reales de carga es inevitable la aparición de momentos flectores y, bajo estas circunstancias, las tensiones que actúan en la superficie son mayores que las que lo hacen en el interior de la pieza.

Tabla 5. Factores a aplicar para corregir el límite de fatiga de piezas de acero tratadas con diferentes valores de la resistencia a la tracción, R_m , y con distintos estados de rugosidad superficial.

Estado superficial	Resistencia a la tracción (MPa)		
	500	1.000	1.500
Pulido especular	1.00	1.00	1.00
Pieza mecanizada	0.78	0.70	0.60
Pieza laminada en caliente	0.70	0.45	0.30
Pieza forjada	0.50	0.35	0.20
Pieza corroída en agua dulce	0.60	0.30	0.20
Pieza corroída en agua salada	0.45	0.20	0.12

Fuente: <https://www.google.com.ec/search?hl>

2.1.8.5. El ensayo de fluencia

Los materiales sometidos a tensiones superiores a su límite de elasticidad tienen un comportamiento plástico. Este fenómeno tiene lugar en la zona de transición entre las deformaciones elásticas y plásticas y se caracteriza por un rápido incremento de la deformación sin aumento apreciable de la carga aplicada.

Un aumento en el esfuerzo más del límite elástico provocara un colapso de material y causara que se deforme permanentemente. Este comportamiento se llama fluencia. El esfuerzo que origina la fluencia se llama esfuerzo de fluencia o punto de fluencia, y la deformación que ocurre se llama deformación plástica.

En los aceros con bajo contenido de carbono, se distinguen dos valores para el punto de fluencia.

El punto superior de fluencia ocurre primero, seguido por una disminución súbita en la capacidad de soportar carga hasta un punto inferior de fluencia.

Una vez se ha alcanzado el punto inferior de fluencia, la muestra continuará alargándose sin ningún incremento de carga. Las deformaciones unitarias inducidas debido a la fluencia serian de 10 a 40 veces más grandes que las producidas en el límite de elasticidad. Cuando el material esta en este estado-perfectamente plástico. (estudiantesmetalografia, 2012)

El comportamiento en fluencia es de importancia fundamental para proyectar componentes metálicos que han de trabajar a temperaturas elevadas como por ejemplo, ciertos elementos de calderas o los álabes de turbinas de gas. La velocidad de fluencia y el tiempo de rotura resultantes de estos ensayos dependen tanto de la tensión aplicada como de la temperatura de ensayo. Un aumento de cualquiera de estas variables provoca el crecimiento de la velocidad de deformación y una disminución del tiempo de rotura según se ilustra en la figura 6-1(b).

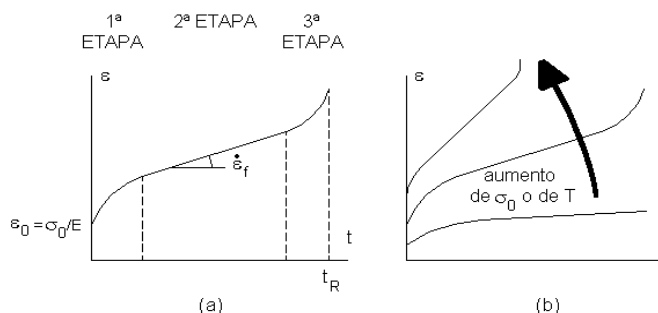


Fig. 33. Curva de fluencia de un material metálico (a) y efecto de la variación de los parámetros del ensayo sobre la curva de fluencia (b)

Fuente: <https://www.google.com.ec/search?hl>

Cuando se va a seleccionar un material estructural que tiene que trabajar a temperatura elevada no sólo hay que tener presentes las precauciones que se han mencionado en el párrafo anterior. Además, hay que valorar la influencia de otros factores entre los que conviene destacar los siguientes:

- Los ensayos de fluencia se suelen realizar bajo la acción de tensiones uniaxiales, mientras que en las condiciones habituales de trabajo aparecen distribuciones de tensiones más complejas con esfuerzos de flexión o torsión superpuestos a los de tracción.
- La resistencia a la corrosión seca de las aleaciones que trabajan a alta temperatura es fundamental ya que este proceso puede dar lugar a la pérdida de sección resistiva y al fallo prematuro del componente en cuestión.
- Los materiales que se utilizan a temperaturas elevadas no pueden sufrir transformaciones de fase en servicio ya sean inducidas por los cambios térmicos o por los esfuerzos mecánicos aplicados.

Los dos últimos puntos indican claramente que junto con las consideraciones de tipo mecánico, la estabilidad es una condición indispensable de los materiales que han de trabajar a temperaturas elevadas.

III. METODOLOGÍA

3.1. Metodología

La investigación que se realiza en el presente documento, tiene una metodología exploratoria – descriptiva, ya que en base a la realización de pruebas estandarizadas, se pretende encontrar un material presente comercialmente en el Ecuador, que cumpla con los requerimientos correspondientes a las propiedades mecánicas de los elementos de transmisión originales. Debiendo mencionar que dichos estudios se realizaron en laboratorios certificados de la ciudad de Quito.

3.2. Ensayos y pruebas a realizar

Para la selección del material base para la fabricación de los componentes de la caja de cambios, es necesario identificar las propiedades mecánicas básicas de los componentes originales de la transmisión, o a su vez identificar por metalografía la composición química del acero del cual están hechos.

Por lo tanto, existen dos caminos para empezar la selección del material, el primero resulta ser realizar probetas para la caracterización del material en una máquina de ensayos universales. La segunda opción es, realizar un análisis metalográfico que permita identificar los microcomponentes del acero, el tamaño de grano y evaluar también el tratamiento térmico que se ha realizado complementando la evaluación con un ensayo de dureza.

3.2.1. Ensayo de tracción.

Como se analizó anteriormente este ensayo puede arrojar mucha información acerca de las características del material, entre ellas el módulo de Young, límite de fluencia, la resistencia a la tracción, etc.

3.2.1.1. Condiciones de ensayo

Por medio de la normativa ASTM E8 se obtiene las dimensiones de las probetas que se pretende caracterizar, a fin de garantizar la validez de ésta como objeto de ensayo. En este caso se trata de probetas cilíndricas de diámetro 9 mm. En la siguiente figura se muestran las especificaciones de la norma respecto a dichas probetas. En el caso de este estudio el componente a validar que resulta ser un eje de transmisión, se debe sacrificar un componente para la fabricación de la probeta.

FIG. 7 Pin-Loaded Tension Test Specimen with 50-mm Gage Length

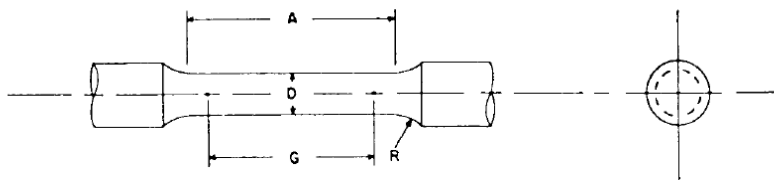


Fig. 34. Pin-Loaded tension test specimen with 50-mm Gage Length

Tabla 6. Pin-Loaded tension test specimen with 50-mm Gage Length

	Dimensión mm				
	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard			
		12.5	9	6	4
G-Gage length	62.5 ± 0.1	45.0 ± 0.1	30.0 ± 0.1	20.0 ± 0.1	12.5 ± 0.1
D-Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2	9.0 ± 0.1	6.0 ± 0.1	4.0 ± 0.1	2.5 ± 0.1
R-Radius of fillet, min	10	8	6	4	3
A-Length of reduced section, min (Note 2)	75	54	36	24	20



Fig. 35. Eje motriz



Fig. 36. Eje

Una vez comprobada la validez de la probeta por sus dimensiones se marca la distancia inicial entre puntos. Esto se hace tintando con rotulador indeleble la probeta y marcando después sobre esta la distancia G indicada por la norma, que en este caso es de 45 mm. Este marcado se realiza con la ayuda de una plantilla calibrada de la longitud indicada y con una punta de trazar de acero. Esta longitud es anotada junto al resto de medidas tomadas para el ensayo.

3.2.1.2. Procedimiento

Considerando las medidas tomadas anteriormente se calcula la sección inicial usando para ello el diámetro de la probeta medido. Una vez hecho esto se monta la probeta en la máquina de ensayos y se comprueba que para carga nula sobre la probeta la máquina de ensayos da una medida de carga nula también.



Fig. 37. Máquina de ensayo

Fuente: <http://es.bab.la/diccionario/ingles-espanol/machine>

Es en este momento cuando se puede iniciar la prueba. Es conveniente, sin embargo, que la máquina no esté fría al iniciar el ensayo y para ello debe llevar en funcionamiento al menos quince minutos antes de iniciar el estudio. Esto es aplicable a todas las verificaciones, tanto de tracción como de otro tipo, que se realicen.

Se han realizado tres ensayos, dos de ellos con control por carga y uno más en control por desplazamiento. En cualquier caso la velocidad de aplicación de la carga viene limitada por la norma debiendo situarse entre 1.15 y 11.5 MPa/s para control por carga y entre 0.05 y 0.5 metros por metro de longitud de la sección reducida y por minuto para control por desplazamiento.

En el caso bajo estudio, y dado que la probeta tiene una sección nominal de 64 mm² la carga quedará entre 73.6 y 736 N/s. Se empleó una velocidad de carga de 3 MPa/s, bastante reducida pero alejada del valor extremo, obteniendo una velocidad de 192 N/s para control por carga. En control por desplazamiento, para conseguir un velocidad de 0.1 metros por metro de longitud de sección reducida y por minuto sería necesaria una velocidad de separación de las mordazas de 0.09 milímetros por segundo. Finalmente se aplicó una velocidad de 0.1 milímetros por segundo.

La realización del ensayo propiamente dicho consta de una serie de pasos: se sitúa la probeta sujetando con las mordazas las cabezas de la misma y se fija el extensómetro. Una vez definidos todos los parámetros tanto en programa de adquisición como en el control de la máquina se pone en marcha el programa de adquisición y se aplica la carga. La carga se aplica con la velocidad prefijada hasta la rotura de la probeta.



Fig. 38. Ensayo de tracción



Fig. 39. Eje

Tabla 7. Resultados

Propiedad	Valor	Unidades
Esfuerzo de cedencia	57	Kg/mm ²
Resistencia a la tracción	112	Kg/mm ²
Elongación	8	%
Resistencia al impacto	70	KU

3.2.2. Ensayo de dureza

La dureza Rockwell o ensayo de dureza Rockwell es un método para determinar la dureza es decir, la resistencia de un material a ser penetrado. El ensayo de dureza Rockwell constituye el método más usado para medir la dureza debido a que es muy simple de llevar a cabo y no requiere conocimientos especiales. Hay dos tipos de penetradores: unas bolas esféricas de acero endurecido (templado y pulido) de 1/16, 1/8, 1/4 y 1/2 pulg, y un penetrador cónico de diamante con un ángulo de 120° +/- 30' y vértice redondeado formando un casquete esférico de radio 0,20 mm (Brale), el cual se utiliza para los materiales más duros.



Fig. 40. Durómetro

Tabla 8. Escalas de dureza Rockwell con sus correspondientes cargas, tipo de indentador y aplicaciones típicas.

Scale Symbol	Indenter	Total Test Force, kgf	Dial Figures	Typical Applications of Scales
B	1/4-in. (1.588-mm) ball	100	red	Copper alloys, soft steels, aluminum alloys, malleable iron, etc. Steel, hard cast irons, pearlitic malleable iron, titanium, deep case hardened steel, and other materials harder than B100.
C	diamond	150	black	
A	diamond	60	black	Cemented carbides, thin steel, and shallow case-hardened steel. Thin steel and medium case hardened steel, and pearlitic malleable iron.
D	diamond	100	black	
E	1/4-in. (3.175-mm) ball	100	red	Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals. Annealed copper alloys, thin soft sheet metals.
F	1/4-in. (1.588-mm) ball	60	red	
G	1/4-in. (1.588-mm) ball	150	red	Malleable irons, copper-nickel-zinc and cupro-nickel alloys. Upper limit G82 to avoid possible flattening of ball. Aluminum, zinc, lead.
H	1/4-in. (3.175-mm) ball	60	red	
K	1/4-in. (3.175-mm) ball	150	red	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that does not give anvil effect.
L	1/4-in. (6.350-mm) ball	60	red	
M	1/4-in. (6.350-mm) ball	100	red	
P	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	red	
R	1/4-in. (12.70-mm) ball	60	red	
S	1/4-in. (12.70-mm) ball	100	red	
T	1/4-in. (12.70-mm) ball	150	red	
V	1/4-in. (12.70-mm) ball	150	red	

Total Test Force, kgf (N)	Scale Symbols				
	N Scale, Diamond Indenter	T Scale, 1/4-in. (1.588-mm) Ball	W Scale, 1/4-in. (3.175-mm) Ball	X Scale, 1/4-in. (6.350-mm) Ball	Y Scale, 1/4-in. (12.70-mm) Ball
15 (147)	15N	15T	15W	15X	15Y
30 (294)	30N	30T	30W	30X	30Y
45 (441)	45N	45T	45W	45X	45Y

Fuente: <https://www.google.com.ec/search?hl>

3.2.2.1. Condiciones de ensayo

Para una correcta medición de la dureza de la probeta se debe considerar los siguientes aspectos:

La cara a ensayar debe ser lisa y plana, la carga debe actuar en forma perpendicular a la probeta, la cual no debe moverse durante el ensayo.



Fig. 41. Medición de dureza

El espesor de la probeta no debe ser menor de 10 veces el incremento de penetración (10h) cuando el penetrador es el cono de diamante y 15 veces (15h) cuando el penetrador es una bolilla. El ensayo debe ser descartado si la cara opuesta a la ensayada presenta una marca por pequeña que sea, ya que esto implica que el apoyo soportó parte de la carga.

Cuando se ensayan piezas cilíndricas su radio de curvatura no debe ser menor de 5 mm. En general en estos casos el valor de dureza obtenido disminuye en función del diámetro del material y la norma ASTM E18 da los valores a adicionar a los resultados obtenidos en el ensayo. El valor de dureza debe resultar del promedio de por lo menos tres mediciones las que deberán efectuarse a una distancia de no menos de 3 mm.



Fig. 42. Verificación de dureza

3.2.2.2. Procedimiento

El ensayo Rockwell es un ensayo rápido y fácil de realizar, en el que la dureza se obtiene en función de la profundidad de la huella y no de la superficie como en el Brinell y el Vickers

Se aplica una carga de 10 kg al penetrador (bola o cono) Provocando una pequeña huella en la superficie del material a ensayar; se mide la profundidad de esta huella, h_1 , y se toma como referencia, colocando a cero el comparador de la máquina.

Se aumenta la carga en 90 kg, si el penetrador es de bola y en 140 kg si es el de cono, manteniendo la carga entre 1 y 6 segundos: a continuación se mide la profundidad de la huella producida, h_2 .

Se retira la carga, con lo que el material trata de recuperar su posición inicial quedando una huella permanente de una profundidad $h_1 + e$

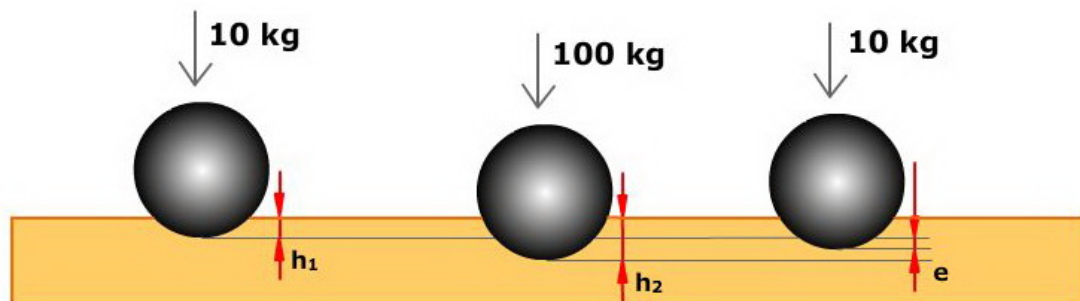



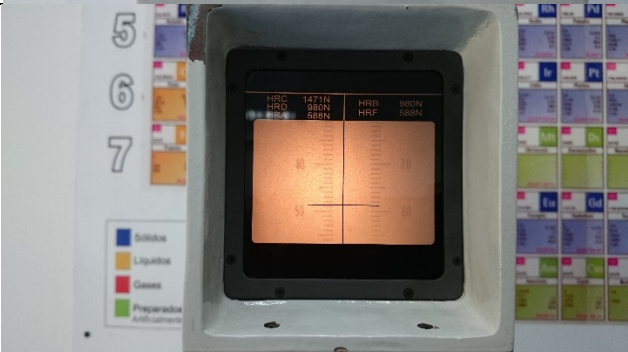
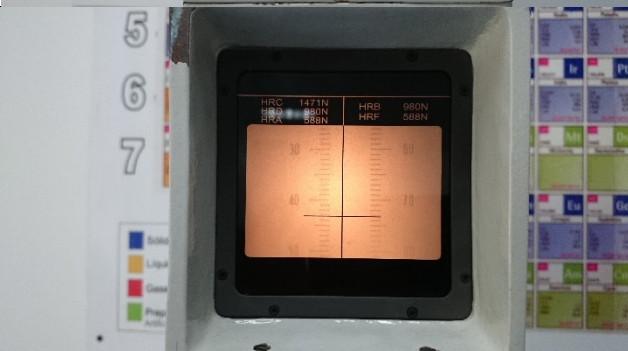
Fig. 43. Dureza de Rockwell

Fuente: http://www.cienciasfera.com/materiales/tecnologia/tecno02/tema03/123_ensayo_rockwell.html

La dureza Rockwell no se expresa directamente en unidades de penetración, sino como diferencia de dos números de referencia:

$$\text{HRC} = 100 - e \text{ y } \text{HRB} = 130 - e$$

Tabla 9. Resultado durómetro

Mediciones	Valores
	49 HRC
	49 HRC
	44 HRC
Promedio	47.33 HRC

3.2.3. Metalografía.

Este estudio hace la evaluación de la estructura metalográfica de un piñón fracturado de engranajes helicoidales de una caja de cambios de un automóvil Suzuki Forsa.

3.2.3.1. Condiciones de ensayo

Se realizaron dos cortes radiales para extraer dos dientes y luego se hizo un corte adicional en la dirección transversal a la cara del diente para obtener la muestra metalográfica. Esta muestra se preparó metalográficamente de acuerdo con ASTM E-3 y se atacó químicamente con Nital 2 para revelar la microestructura.



Fig. 44. Ataque químico con NITAL 2

3.2.3.2. Procedimiento

La parte metalográfica se ejecutó usando un microscopio metalográfico invertido con una ampliación de 100X y 400X. El registro de imágenes de microscopio se realizó usando un dispositivo de captura de imagen con una resolución de 640x480 pixeles. La metalografía cuantitativa relacionada con la determinación de las cantidades de fases así como el tamaño de grano se la realizó con la ayuda del software (CLEMEX®) para análisis de imagen.

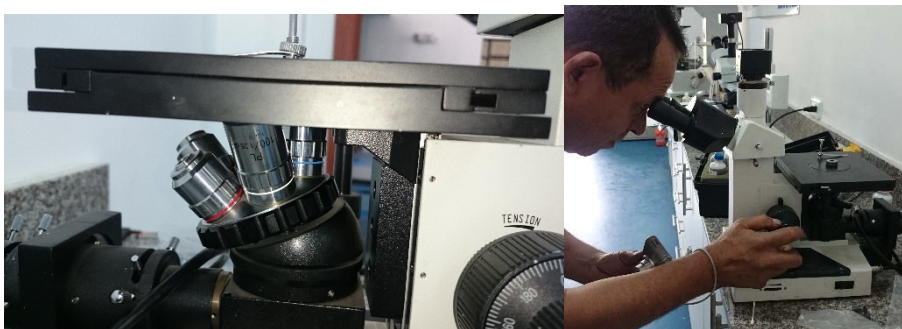


Fig. 45. Microscopio metalográfico

3.2.3.3. Resultados del Equipo de micrografía

La figura 45 muestra la fotografía de la sección transversal del engranaje en el que se observa la capa tratada termoquímicamente. El espesor de esta capa corresponde a 25 micrómetros. Las microestructuras del engranaje se muestran en la figura 2. Las fotomicrografías muestran que la estructura del acero es siempre martensita y probablemente austenita revenida. En el núcleo del acero se observa que el tamaño

de grano corresponde a ASTM 6, el mismo que con la estructura martensítico pueden ser causas de fragilidad.



Fig. 46. Microestructura del acero a 50 micrómetros de profundidad de la superficie del diente. Atacado con Nital2, 400X.

Fuente: <https://www.flickr.com/groups/microscopy/pool/with/5867383366/lightbox/>

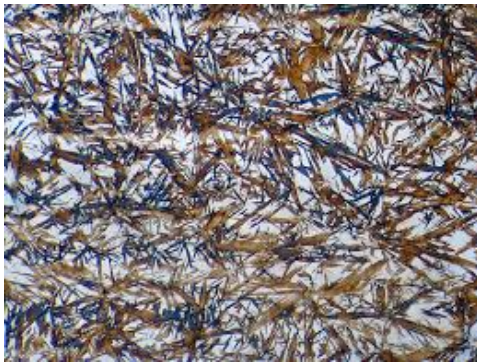


Fig. 47. Microestructura del acero a 400 micrómetros de profundidad de la superficie del diente. Atacado con Nital2, 400X.

Fuente: <https://www.flickr.com/groups/microscopy/pool/with/5867383366/lightbox/>

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Caracterización del acero para fabricación de componentes de transmisiones para competición.

4.1.1. Análisis de resultados

En base a los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos, se determina las características del acero que se va a utilizar para la fabricación de los componentes de transmisiones de competición.

4.1.1.1. Análisis de Ensayo de Tracción

Según los datos obtenidos los piñones originales poseen las siguientes propiedades.

Tabla 10. Resultados obtenidos en el ensayo de tracción

Propiedad	Valor	Unidades
Esfuerzo de cedencia	57	Kg/mm ²
Resistencia a la tracción	112	Kg/mm ²
Elongación	8	%
Resistencia al impacto	70	KU

En la tabla se puede observar que el material posee una resistencia mecánica relacionada con la tracción de 57 Kg/mm², ésta resistencia se obtiene por medio de un acero aleado que puede ser con cromo, vanadio o níquel, que permita mejorar las propiedades del acero en cuanto a la resistencia, y en cuanto a la tenacidad, el molibdeno es un agente mejorador de ésta propiedad.

4.1.1.2. Análisis de ensayo de dureza

El ensayo de dureza ha arrojado los siguientes datos:

$$\text{Dureza Promedio} = 47.33 \text{ HRC}$$

Este valor puede ser convertido a la escala Brinell por medio de la tabla experimental para la conversión de durezas.

Dureza Promedio = 452 HB

Estos valores indican, como se analizó anteriormente, que los componentes deben tener una dureza superficial superior a las del núcleo, esto disminuiría significativamente el desgaste de las piezas por rozamiento y cavitación, así como el ruido.

4.1.1.3. Análisis de Micrografía

El microcomponente prevaleciente en la probeta examinada resulta ser martensita, lo que indica que, el acero utilizado por el fabricante para fabricar los componentes es un acero de contenido bajo en carbono, con la posibilidad de recibir un tratamiento térmico y a la vez un tratamiento termoquímico para mejorar las propiedades de su superficie.

Los ensayos realizados indican, que es necesario, que los engranajes estén fabricados con materiales de alta dureza, para evitar el desgaste de los dientes debido al rozamiento. Sin embargo, un componente muy rígido conlleva al aumento del riesgo de fallo por fatiga, debido a que los componentes muy duros adquieren propiedades de fragilidad que son inadecuadas para lograr soportar este inconveniente.

Por lo tanto, se debe seleccionar un material que se encuentre en equilibrio con estas propiedades, el cual permita que, las superficies en contacto guarden un grado de rigidez, pero su núcleo posea propiedades de tenacidad para soportar los esfuerzos de tracción a los que van a estar sometidos.



Fig. 48. Distribución de esfuerzos entre dos engranajes

Fuente: <https://www.flickr.com/groups/microscopy/pool/with/5867383366/lightbox/>

Se determinó también, que el material para la fabricación debe tener la posibilidad de recibir un tratamiento térmico y si hay la posibilidad, recibir también un tratamiento termoquímico para mejorar las propiedades de sus superficies.

4.2. Selección de aceros

En el Ecuador dos empresas son reconocidas por la comercialización de aceros para el uso industrial, estas son Ivan Bohman C.A. y Aceros Bohler. Por medio de catálogos de productos, de las empresas proveedoras de aceros en el Ecuador, se hace una evaluación comparativa, en cuanto a los aceros disponibles en el país Ecuador, sus propiedades.

Con respecto a los tipos de aceros, los folletos técnicos, proporcionados por las empresas distribuidoras de hojas, clasifican específicamente a los aceros según la aplicación. Las barras destinadas a la fabricación de piñones y ejes son los siguientes:

4.2.1. Ivan Bohman C.A.

En su catálogo de productos ofrece para la fabricación de piñones y ejes de transmisión.

Tabla 11. Acero Bonificado para Maquinaria IBCA: 705

Análisis típico %	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	V
34 CrNiMo6	0.30-0.38	≤ 0.30	0.50-0.80	0.025	0.025	1.30-1.70	1.30-1.70	0.15-0.30
AISI 4337	0.35-0.40	0.20-0.35	0.60-0.80	0.04	0.04	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30
AISI 4340	0.38-0.43	0.15-0.35	0.60-0.80	0.03	0.04	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30
Código color	Dorado / Azul							
Equivalencia	AISI / SAE (4337 – 4340)				W.Nr (1.6582)			
	AFNOR (35NCD6)							
	Din (34CrNiMo6)				JIS (SNCM1)			

Fuente: <http://7.62x54r.net/MosinID/MosinAmmo023.htm>

4.2.1.1. Aplicaciones

1.-Partes de gran resistencia para la industria automotriz, como:

- Ejes.
- Cardanes.
- Cigüeñales.
- Ejes de leva Tornillería de alta resistencia.

2.-Partes para la construcción de maquinaria de trabajo pesado como:

- Árbol para trituradoras.
- Ejes de transmisión de grandes dimensiones.
- Engranajes de temple por llama, inducción o nitruración.
- Barras de torsión.
- Mandriles.
- Portaherramientas.

3.-Aplicaciones donde se requiere resistencia a la fatiga, como:

- En la construcción de equipo pesado para camiones, aviones, equipo militar, etc.

4.2.1.2. Propiedades mecánicas

Tabla 12. Propiedades mecánicas

En condición de suministro	
Resistencia a la tracción	90 – 110 kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	70 kg/mm ²
Elongación, A5	Min 12%
Reducción de área, Z	Min 45%
Resistencia al impacto, KU	Aprox. 20J
Dureza	270-330 HB

Fuente: <http://7.62x54r.net/MosinID/MosinAmmo023.htm>

4.2.1.3. Tratamiento térmico

4.2.1.3.1. Recocido blando

(650 - 700°C): Mantener a la temperatura por 2 horas. Enfriar en el horno con una velocidad de 15°C/h hasta los 600°C y luego libremente al aire.

4.2.1.3.2. Alivio de tensiones

(450 - 650°C): El acero templado tenaz deberá ser calentado hasta aproximadamente 50°C por debajo de la temperatura usada para el revenido (como standard el 705 es suministrado revenido a 600°C). Mantenerlo a esta temperatura durante 1/2 a 2 horas. Enfriar en el horno hasta los 450°C y luego libremente al aire.

4.2.1.3.3. Temple

(830 - 850°C), Con enfriamiento en aceite: El mantenimiento del tiempo en minutos cuando la superficie ha alcanzado la temperatura de temple es 0.7x espesor o diámetro en milímetros. Interrumpir el enfriamiento a los 125°C y luego revenir inmediatamente.

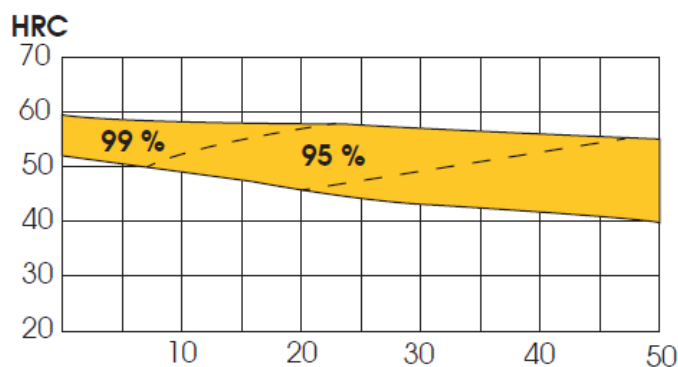


Fig. 49. Distancia desde el extremo templado, mm

Fuente: <http://7.62x54r.net/MosinID/MosinAmmo023.htm>

4.2.1.3.4. Revenido

(500 - 700°C): El tiempo de mantenimiento a la temperatura de revenido podría ser de 1 - 2 horas o una hora por pulgada de grueso. Partes de máquinas que requieran una resistencia alta, como por ej. Engranajes, deberán ser revenidas a temperaturas más bajas, es decir de 200 a 250°C, lo que dará dureza de aproximadamente 500 HB.

4.2.1.3.5. Nitruración

Se pueden lograr durezas de alrededor de 53 - 55 HRC. El proceso durará entre 48 y 72 horas, por lo cual la planeación del tratamiento debe hacerse con el tiempo necesario.

Tabla 13. Acero Bonificado para Maquinaria IBCA: 709

Análisis típico %	C	Si	Mn	P	S	Cr	V
42CrMo4	0.38- 0.45	≤ 0.30	0.60- 0.90	0.025	0.025	0.90- 1.20	0.15- 0.30
AISI 4140	0.38- 0.43	0.15- 0.35	0.75- 1.00	0.030	0.040	0.80- 1.10	0.15- 0.25
Código color	Dorado / Verde						
Equivalencia	AISI / SAE (4140)		W.Nr (1.7225)		AFNOR (42CD4)		
	Din (42CrMo4)		JIS (SCM4)				

Fuente: <http://7.62x54r.net/MosinID/MosinAmmo023.htm>

4.2.1.3.6. Aplicaciones

1.- Industria Automotriz

Ejes, bielas, árboles de transmisión, cigüeñales, etc.

2.- Maquinaria

Engranajes de temple por llama, inducción o nitruración, partes de bombas, ejes de reductores, árboles de turbinas a vapor, tornillería de alta resistencia.

3.- Industria petrolera

Taladros, brocas, barrenos, cuerpos de escariadores, vástagos de pistón.

Tabla 14. Propiedades mecánicas

En condición de suministro	
Resistencia a la tracción	90 – 105 kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	70 kg/mm ²
Elongación, A5	Min 12%
Reducción de área, Z	Min 50%
Resistencia al impacto, KU	Aprox. 25J
Dureza	275-320 HB

Fuente: <http://7.62x54r.net/MosinID/MosinAmmo023.htm>

4.2.1.4. Tratamiento térmico

4.2.1.4.1. Recocido blando

(650 - 700°C): Mantener a la temperatura por 2 horas. Enfriaren el horno con una velocidad de 15°C/h hasta los 600°C y luego libremente al aire.

4.2.1.4.2. Alivio de tensiones

(450 - 650°C): El acero templado tenaz deberá ser calentado hasta aproximadamente 50°C por debajo de la temperatura usada para el revenido (como standard el 705 es

suministrado revenido a 600°C). Mantenerlo a esta temperatura durante 1/2 a 2 horas. Enfriar en el horno hasta los 450°C y luego libremente al aire.

4.2.1.4.3. Temple

(830 - 850°C), Con enfriamiento en aceite: El mantenimiento del tiempo en minutos cuando la superficie ha alcanzado la temperatura de temple es 0.7x espesor o diámetro en milímetros. Interrumpir el enfriamiento a los 125°C y luego revenir inmediatamente.

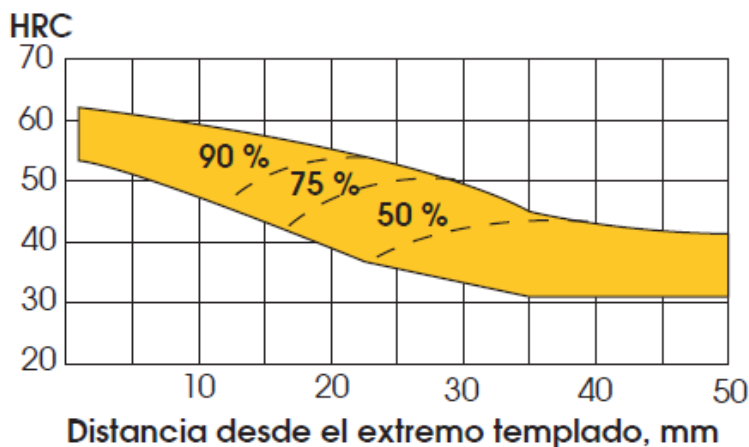


Fig. 50. Distancia desde el extremo templado, mm

Fuente: <http://7.62x54r.net/MosinID/MosinAmmo023.htm>

4.2.1.4.4. Revenido

(500 - 700°C): El tiempo de mantenimiento a la temperatura de revenido podría ser de 1 - 2 horas o una hora por pulgada de grueso. Partes de máquinas que requieran una resistencia alta, como por ej. Engranajes, deberán ser revenidas a temperaturas más bajas, es decir de 200 a 250°C, lo que dará dureza de aproximadamente 500 HB.

4.2.1.4.5. Nitruración

Se pueden lograr durezas de alrededor de 53 - 55 HRC. El proceso durará entre 48 y 72 horas, por lo cual la planeación del tratamiento debe hacerse con el tiempo necesario.

Tabla 15. Acero Bonificado para Maquinaria IBCA: 7210

Análisis típico %	C	Si	Mn	Cr
16MnCr5	0.14-0.19	≤ 0.30	1.00-1.30	0.80-1.10
AISI 5115	0.13-0.18	0.15-0.35	0.70-0.90	0.70-0.90
Código color	Azul / Plomo			
Equivalencia	AISI / SAE (5115) Din (16MnCr5)			

Fuente: <http://7.62x54r.net/MosinID/MosinAmmo023.htm>

4.2.1.4.6. Aplicaciones

1.- Industria automotriz, para la realización de:

- Piñones
- Ejes estriados
- Cigüeñales, etc.

2.- Maquinaria como:

- Ejes
- Engranajes de reducción
- Cojinetes
- Tornillería con exigencias de dureza exterior
- Columnas
- Pines de tractores.
- Piezas duras de maquinaria en general, etc.

3.- Aplicaciones de mediana resistencia mecánica, expuestas a vibraciones o donde se requiere soldadura, con el 7210 en estado suministro.

Tabla 16. Propiedades mecánicas

En condición de suministro	
Resistencia a la tracción	90 – 110 kg/mm²
Esfuerzo de cedencia	70 kg/mm ²
Elongación, A5	Min 12%
Reducción de área, Z	Min 45%
Resistencia al impacto, KU	Aprox. 20J
Dureza	270-330 HB

Fuente: <http://7.62x54r.net/MosinID/MosinAmmo023.htm>

4.2.1.5. Tratamiento térmico

4.2.1.5.1. Recocido blando

(650 - 700°C): Mantener a la temperatura por 2 horas. Enfriaren el horno con una velocidad de 15°C/h hasta los 600°C y luego libremente al aire.

- Temperatura de cementación: 880 - 980°C.
- Temple para la superficie: 780 - 820°C.
- Temple directo: 880 - 980°C.
- Temple para el núcleo: 860 - 900°C.
- Revenido: 150 - 200°C.
- Dureza superficial: 60 HRC.
- Medio de enfriamiento: Aceite o solución acuosa de polímero.

4.2.2. Bohler

En su catálogo de productos ofrece para la fabricación de piñones y ejes de transmisión.

Aleación:

C: 0.38 – 0.43%	Cr: 0.70 – 0.90%	Ni: 1.65 – 2.00%	Mo: 0.20 – 0.30%
Si: 0.15 – 0.35%	Mn: 0.60 – 0.80%	P: ≤ 0.035%	S: ≤ 0.04%

Denominación según:

DIN: 34CrNiMo6 Q+T	W.N°:	1.6582	AISI: 4340
30CrNiMo8 Q+T			

Fig. 51. Acero Bonificado para Maquinaria SAE 4340

Fuente: <http://7.62x54r.net/MosinID/MosinAmmo023.htm>

4.2.2.1. Aplicaciones

Acero especial al Cromo-Níquel, para partes de maquinarias y repuestos sometidos a muy altos esfuerzos dinámicos: cigüeñales, ejes de leva, árboles de transmisión, barras de torsión, ejes cardán, ejes de bombas, ejes para hélices de aviones, pernos y tuercas de alta tensión, rodillos de transportadoras, vástagos y pines, muñones,

brazos de dirección, engranajes, discos de embrague, piezas de chasis, acoples, ejes de piñones, ruedas dentadas, moldes para inyección de plástico.

Propiedades mecánicas

Resistencia a la tracción: 100 – 118 kg/mm² (140 – 168 psi)

Alargamiento: min. 15%

Límite de fluencia: 65 – 75 kg/mm² (92,419 – 106,672 psi)

Contracción: min. 55%

U.T.S.: 1000 – 1180 MPa

Resistencia: (DVM) min. 10 kg/cm²

Mecanizado: Se puede mecanizar con herramientas de corte de acero rápido.

Estado de entrega: Bonificado a 100 – 118 kg/mm² y liberado de tensiones (290 – 330 HB; 30 – 35 HRC).

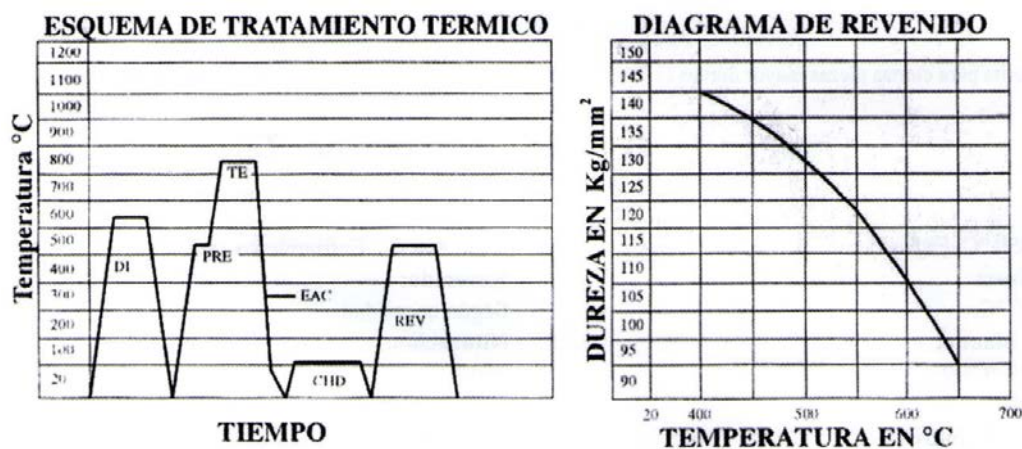


Fig. 52. Tratamiento térmico

Fuente: <http://7.62x54r.net/MosinID/MosinAmmo023.htm>

Aleación:

C: 0.38 – 0.43%

Cr: 0.80 – 1.10%

Mo: 0.15 – 0.25%

Si: 0.15 – 0.35%

Mn: 0.75 – 1.00%

P: ≤ 0.035%

S: ≤ 0.04%

Denominación según:

DIN: 41CrMo4 Q+T

W.N°: 1.7223

AISI: 4140

42CrMo4 Q+T

W.N°: 1.7225

AISI: 4140 H

Fig. 53. Acero Bonificado para Maquinaria SAE 4140

Fuente: <http://7.62x54r.net/MosinID/MosinAmmo023.htm>

Aplicaciones

Amplia aplicación en la construcción de vehículos, engranajes y motores. Partes de maquinaria y repuestos, tales como árboles de transmisión, brazos de ejes, ejes de bomba, ejes cardán, cigüeñales, pernos y tuercas, bielas árboles, pines, plunger, émbolos, etc.; como las aplicaciones del CN 150, pero donde las exigencias son menos estrictas. Para moldes para la inyección de plástico.

Propiedades mecánicas

Resistencia a la tracción: 90 – 105 kg/mm² (130- 150 psi)

Alargamiento: min. 10%

Límite de fluencia: 70 – 90 kg/mm² (99,561 – 128,007 psi)

Contracción: min. 40%

U.T.S.: 900 – 1050 MPa

Resistencia: (DVM) min. 5 kg/cm²

Mecanizado: Se puede mecanizar con herramientas de corte de acero rápido.

Estado de entrega: Bonificado a 90 – 105 kg/mm² y liberado de tensiones (250 – 300 HB; 25 – 30 HRC).

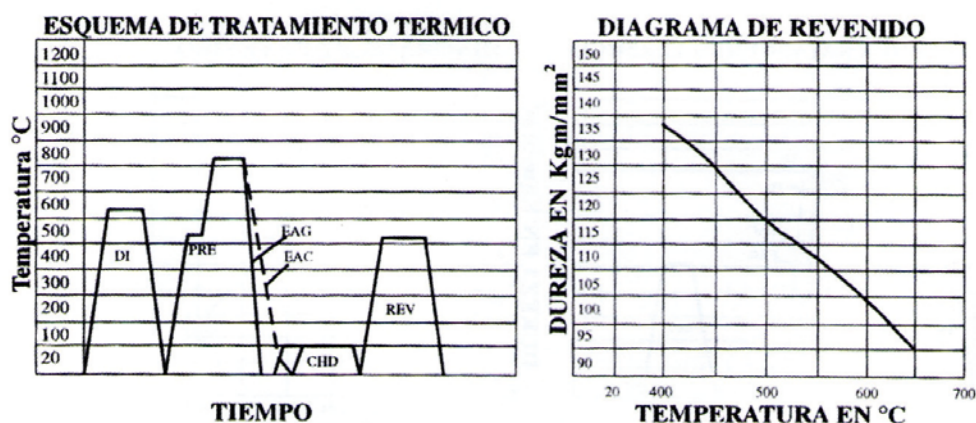


Fig. 54. Tratamiento térmico

Fuente: <http://7.62x54r.net/MosinID/MosinAmmo023.htm>

Aleación:

C: 0.16% Cr: 1.50% Ni: 0.90% Si: 0.30% Mn: 1.20%

Denominación según:

DIN: 16CrNi4 W.Nº: 1.519 AISI: 3115

Fig. 55. Acero Bonificado para Maquinaria SAE 3115

Fuente: <http://7.62x54r.net/MosinID/MosinAmmo023.htm>**Aplicaciones**

Partes de vehículos y maquinarias de máxima exigencia: ruedas dentadas, crucetas diferenciales y de cardán, piñones motrices. Partes de maquinaria y repuestos sometidos a altos esfuerzos dinámicos y desgaste mecánico. Engranajes helicoidales o rectos, sinfines, piñonería de cajas de velocidad, ejes, palancas, piezas de dirección, vástagos, ejes de leva, pines, émbolos, pernos, tuercas especiales, etc. Apto para moldes a cementar en la industria del plástico.

Propiedades mecánicas**Forjar:** 1050 – 850 °C. Enfriamiento lento en el horno.**Cementar en baño de sal o gas:** 910 – 930 °C.**Normalizar:** 850 – 880 °C**Recocido intermedio:** 580 – 680 °C**Recocer blando:**650 – 700 °C. Enfriamiento lento en el horno. **Temple:** Núcleo: 850 – 880 °C

Superficial: 810 – 840 °C

Dureza en estado recocido: 175 HB máx. (60 kg/mm²)**Revenido:** 170 – 210 °C**Cementar en granulado (Durferrit):** 900 – 950 °C**Tratamiento térmico**

Temple de cementación obtenible dureza superficial hasta 60 – 64 HRC:

Cementación en DURFERRIT GRANULADO o sales de cianuro 870 – 930 °C.

Enfriamiento directo al aceite o baño caliente (180 °C) revenido 160 – 200 °C.

Tipo de aleación: C 0.17 Si 0.30 Mn 1.20 Cr 0.90 %

Color de identificación: Blanco – Negro
Estado de suministro: Recocido 180 HB

Equivalencia	AISI: 8620
	DIN: 16MnCr5
	No. Mat: 1 7131

Fig. 56. Acero Aleado al Cromo – Manganeso Bohler E 410

Fuente: <http://7.62x54r.net/MosinID/MosinAmmo023.htm>

Aplicaciones

Para la fabricación de repuestos para automotores y maquinaria en general, como: bielas, bujes, piñones rectos, piñones cónicos, piñones helicoidales, ejes sinfines, palancas, piezas de dirección, pines, vástagos, etc.

Propiedades mecánicas

Resistencia a la tracción: 80-130 Kg/mm² (130- 150 psi)

Alargamiento: min. 10%

Límite de fluencia: 55-70 kg/mm² (99,561 – 128,007 psi)

Contracción: min. 40%

U.T.S.: 900 – 1050 MPa

Resistencia: (DVM) min. 10 kg/cm²

Dureza: (59-62 HRC).

Tratamiento térmico

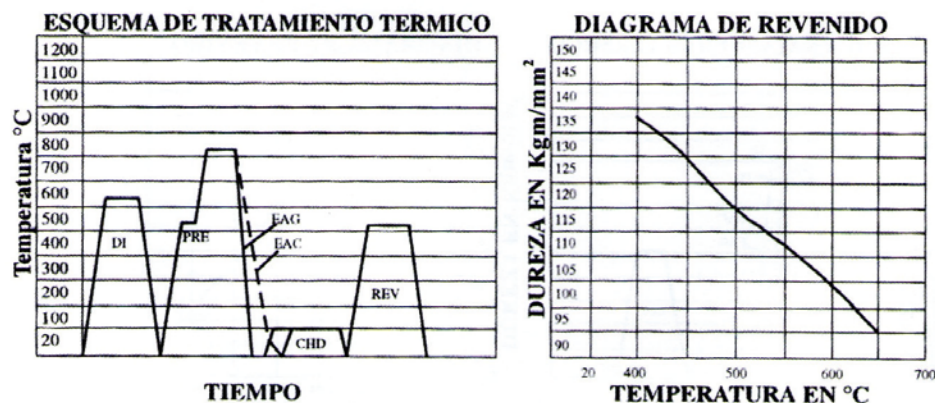


Fig. 57. Tratamiento térmico

Fuente: <http://7.62x54r.net/MosinID/MosinAmmo023.htm>

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se caracterizó los elementos mecánicos de una caja de cambios de competición, con el objetivo de seleccionar un material afín a los requerimientos mecánicos y tecnológicos, ofertados comercialmente en nuestro medio.
- Se realizó ensayos y pruebas para evaluar las características mecánicas de un material de estudio, según las normativas internacionales ASTM, con la utilización de equipos adecuados, para la obtención de los valores cuantitativos.
- Se propuso materiales comerciales, presentes en el Ecuador, según dos importantes importadores de aceros del país, analizando sus propiedades y características adquiridas, por medio de catálogos obtenidos de las empresas y considerando los procesos de manufactura de los componentes.

Recomendaciones

- Considerar las pruebas y ensayos realizados para la caracterización de los materiales, han sido extraídas de documentos normados por la ASTM (American Society for Testing and Materials), donde se especifica, las condiciones para la ejecución de cada ensayo, hay que tener en cuenta, cual es la más óptima y viable para la ejecución.
- Emplear la fabricación de los componentes de las cajas de cambios, se pueden emplear tecnologías más novedosas en cuanto al mecanizado, por ejemplo las máquinas con control numérico, estas reducirían significativamente el tiempo de entrega de las transmisiones, mejorarían los acabados, disminuiría los desechos y obtendríamos tolerancias precisas y fiables para la fabricación de los componentes.
- Definir que los procesos de tratamientos térmicos y termoquímicos, son fundamentales en la obtención de componentes fiables, que cumplan las funciones para las cuales han sido diseñados, por lo tanto, requieren de un control e inspección continua.

- Realizar una vez fabricado los componentes, realizar los ensayos correspondientes para la verificación y certificación de los procesos realizados, para la mejora y perfeccionamiento de los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aficionadosalamecanica. (2014). Sistema ABS/EDS. Consultado 7 de junio de 2016, de http://www.aficionadosalamecanica.net/sistema_abs.htm
- Alonso, J. (2008). Técnicas del automóvil, Chasis. España: Paraninfo.
- Alonso, J. (2010). Tecnología del automóvil. España: Paraninfo.
- ALONSO, Pérez José Manuel. Tecnología del Automóvil. Piraninfo 8va. Edición. España. 200.
- Arias Paz, caja de cambios automática.
- Arias-Paz, M. (2004). Manual Arias-Paz del automóvil (55ª ed). España, Dossat SL.
- Arrollo, J. (1996). Los frenos en el automóvil. España: Ceac.
- Ayala, L. Vallejo, J. (2011). Adaptación de un sistema de frenos ABS a un vehículo Fiat para mejorar la seguridad del frenado. (Tesis inédita de grado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Blog Beats. (16 de Mayo de 2017). Recursos Naturales. Obtenido de <http://www.ejemplos.org/ejemplos-recursos-naturales.html>
- Blog Metalurgia4C410. (07 de Octubre de 2014). Aleaciones. Obtenido de <http://metalurgia4c.blogspot.com/2014/10/aleaciones.html>
- Bodycote plc. (20 de agosto de 2016). Bodycote. Obtenido de <http://www.bodycote.com/es-ES/services/heat-treatment/annealing-normalising/normalising.aspx>
- Bosch. (1996). Manual de la técnica del automóvil (Tercera ed.). España: Reverte SA.
- Brejcha M. (1978). Los cambios automáticos. España: Reverté.
- BREJCHA, Mathias, TURI, Ronald. Cajas de Cambios Automáticas. Paraninfo. España. 2001.
- Caguana, C. (2013). Estudio de factibilidad para la construcción de un banco didáctico de frenos ABS. (Tesis inédita de grado). Universidad del Azuay, Azuay, Ecuador.
- CEAC, Manual del Automóvil. Grupo Editorial CEAC S.A. 4ta Edición. Barcelona España. 2004.
- Cervera, M. (23 de mayo de 2009). Los metales. Obtenido de <http://cerveracastrolosmetales.blogspot.com/>

- CROUSE, W. Equipo Eléctrico y Electrónico del Automóvil. 6ta.ed.
 Diseño de Elementos de Maquinas, M.F.Spott, T.E. Shoup séptima edición, impreso en México
- EDUARDO ÁGUEDA CASADO, JOSÉ MARTIN NAVARRO, TOMÁS GÓMEZ MORALES, JOSÉ LUIS GARCÍA JIMÉNEZ Y JOAQUÍN GONZALO GARCÍA. Técnicas básicas de mecánica y electricidad, editorial Paraninfo 2009. ISBN 8497327144, 9788497327145
- Elementos de Maquinas, Shigley Joseph Edward, Mischke Charles R. quinta edición, impreso en México.
- Encalada, M. Núñez, M. (2012). Implementación de un tablero de frenos ABS (Antilock Brake System) para el laboratorio de la escuela de ingeniería automotriz. (Tesis inédita de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador.
- Ensayo de Tracción. (s.f.). Obtenido de https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/ptrb2_2_1.html
- EPROM. (31 de Marzo de 2013). The first INTEL EPROM, the 1702 . Obtenido de <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=97658>
- ERJAVEC, Jack. TeachOne: Automatic Transmissions. Thomson Delmas Learning. Estados Unidos. 2005.
- estudiantesmetalografia. (31 de julio de 2012). Metalografía Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/#2142>
- F. RUSSELL Johnston, JR, MECANICA DE MATERIALES, Tercera edición G. México, 2003.
- FERRER BALLESTER, MIGUEL; MACIAS SERRA, JOSE LUIS; MARIMON CARVAJAL, FREDERIC; PASTOR ARTIGUES, M. (2001). Resistencia de materiales: problemas resueltos. ISBN 970-15-0657-X
- Gaviria, C. (2009). Sistema frenos ABS. Consultado 7 de junio de 2016 de <http://cienciaautomotriz.blogspot.com/2009/05/sistema-frenos-abs.html>
- GOULET, JEAN; PIERRE BOUTIN, JEAN (2001). Prontuario de resistencia de materiales. ISBN 84-283-2811-0.
- Gutiérrez Manrique, Nilcer. (2006). Mecánica automotriz. Lima: Palomino.
- Gutiérrez Manrique, Nilcer. (2006). Mecánica automotriz. Lima: Palomino.

- JAIIME GILARDI, motores de combustión interna, Editor Agroamerica, 1985, ISBN 9290390271, 9789290390275, N.º de páginas 133 páginas
- JESÚS CALVO MARTIN. Mecánica del automóvil actual. Servicio de publicaciones, Centro Politécnico Superior Universidad de Zaragoza. Reverte, 1997. ISBN 8492134941, 9788492134946
- José Manuel, A. (2001). Sistemas de transmisión y frenado. Madrid: Paraninfo.
- JUAN CARLOS MARTÍN CASTILLO, MARÍA PILAR GARCÍA, Automatismos industriales, Editex, 2009. ISBN 8497715349, 9788497715348
- Manual Ceac del automóvil. (2004). España: Ceac.
- Manual de formación SolidWorks. (2006).Conceptos básicos de SolidWorks: Piezas y ensamblajes.
- Marti, A. (1993). Frenos ABS. Barcelona: Marcombo BE.
- Martinez, A. (febrero de 2017). mindomo. Obtenido de <https://www.mindomo.com/mindmap/materiales-ceramicos-59dceec742e7486f80a621349c8287ed>
- Mecánica de Materiales, Ferdinand P. Russell Johnston, segunda edición, impreso en Colombia
- Nicolás Larburu, máquina Prontuaria, Editorial Paraninfo.
- Ordaz, C. A. (7 de agosto de 2012). Scribd. Obtenido de <https://www.scribd.com/doc/72512807/6-1-Clasificacion-de-los-proceso-de-tratamientos-termicos>
- Pérez, J. (2011). Técnicas del Automóvil. España: Paraninfo.
- Quiminet, Características y usos de los tacómetros, Consulta www.quiminet.com.mx
- Robert L Mott, Diseño de elementos de máquinas, 2da edición, México Prentice Hall Hispanoamérica, S.A.
- Salazar, F. Análisis de un kart de competición y de sus componentes.
- Sánchez, S. (13 de Enero de 2014). Metales Metálicos. Obtenido de <http://sergiosanchez13.blogspot.com/2014/01/materiales-metalicos.html>
- Santa Fe Electrical Troubleshooting Manual 2004
- Santa Fe Shop Manual 2004
- SANTIAGO SANZ, Motores, tratamiento y mantenimiento de vehículos, Editex 2011, ISBN 849003172X, 9788490031728, N.º de páginas 444 páginas

- Schalk, P., & A, H. (2014). Improving the braking performance of a vehicle with ABS and a semi-active suspension system on a rough road. *Journal of Terramechanics*, 91-101.
- Smith, W. F. (2000). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales* (3 ed.). Madrid: McGraw-Hill.
- Soto, R. (2006). *Frenos ABS* (Tesis inédita de grado). Universidad de San Carlos, Guatemala.
- Terán Urresta, E. (03 de noviembre de 2014). Los motores retumbaron en la pista de Yaguarcocha. Ibarra, Imbabura. Obtenido de <http://www.elcomercio.com/galerias/fotogaleria-yaguarcocha-competencia-automovilismo.html>
- Thomson, W. (1985). *Temática automotriz Tomo V: Sistemas de transmisión en el automóvil*. Madrid: Paraninfo.
- TIMINGS, R. L. (2001). *Tecnología de la fabricación, tratamiento térmico, procesos y maquinas herramientas*. ISBN 970-15-0749-5.
- TOALONGO, Manuel. *Fundamentos de Soldadura*, Universidad del Azuay Ecuador.- Cuenca, 2da Edición, 2008.
- Toro, A. (24 de junio de 2012). Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/5481/4/15446916._2011_2.pdf
- Uniplas international. (s.f.). Uniplas international. Obtenido de <http://uniplasinternational.com/spanish/polymers.php>
- Valbuena Rodríguez y Oscar. (2008). *Manual de mantenimiento y reparación de vehículos - Tomo 3*. Bogotá: Alfaomega
- Vizan, G. *Elementos estructurales del vehículo. Transporte y mantenimiento de vehículos*. Editex.
- Vizan, G. *Estructuras del vehículo*. Editex.