

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE CORTE EN LA
RUGOSIDAD SUPERFICIAL DE UN ACERO AISI 1045 TEMPLADO DESDE
TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS Y REVENIDO**

OSCAR YESID GUTIÉRREZ BERMÚDEZ

20132375061

CRISTIAN CAMILO GUTIÉRREZ QUINTERO

20132375008

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS

FACULTAD TECNOLÓGICA

INGENIERÍA MECÁNICA

2015

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE CORTE EN LA
RUGOSIDAD SUPERFICIAL DE UN ACERO AISI 1045 TEMPLADO DESDE
TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS Y REVENIDO**

OSCAR YESID GUTIÉRREZ BERMÚDEZ

CRISTIAN CAMILO GUTIÉRREZ QUINTERO

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA MECÁNICA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD TECNOLÓGICA

BOGOTÁ

2015

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA

FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO

Nº DE RADICACIÓN: _____

INFORMACIÓN EJECUTORES

Ejecutor 1

Nombre (s):	Oscar Yesid
Apellido (s):	Gutiérrez Bermúdez
Código:	20132375061
E-mail:	oscar_gutierrezb@hotmail.com
Teléfono fijo:	7 76 25 48
Celular:	311 235 59 57



Ejecutor 2

Nombre (s):	Cristian Camilo
Apellido (s):	Gutiérrez Quintero
Código:	20132375008
E-mail:	guty2460@hotmail.com
Teléfono fijo:	
Celular:	321 351 41 60



INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto:	Análisis de la influencia de los parámetros de corte en la rugosidad superficial de un acero AISI 1045 templado desde temperaturas intercríticas y revenido.	
Duración (estimada):	20-22 semanas.	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	
	Prestación y Servicios Tecnológicos	
	Otro	X
Modalidad del Trabajo de Grado:	Proyecto de grado	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Optimización de procesos industriales	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Materiales y procesos de manufactura	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Metalografía, tratamientos térmicos y metrología.	

INFORMACIÓN PASANTÍA

Nombre de la empresa:	
Dirección:	
Teléfonos:	
Correo electrónico:	
Página Web:	

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Director: (Vo. Bo.)	Carlos Arturo Bohórquez Ávila
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	

CONTENIDO

	Pág.
1. Planteamiento del problema	10
1.1 Problema.....	10
2. Estado del arte.....	11
2.1 Tratamientos térmicos	11
2.2 Dureza de los aceros doble fase.....	12
2.3 Importancia de la temperatura en el mecanizado	12
2.4 Parámetros de corte a usar.....	13
2.5 Rugosidad.....	16
3. Justificación	17
4. Objetivos	18
4.1 Objetivo general.....	18
4.2 Objetivos específicos	18
5. Marco teórico	19
5.1 Diseño experimental	19
5.2 Acero AISI-SAE 1045	19
5.3 Temple.....	20
5.4 Revenido.....	20
5.5 Acero doble fase o dual phase	21
5.6 Rugosidad Superficial	22
5.7 Rugosímetro	23
5.8 Parámetros de corte	23
6. Metodología	24
7. Cronograma	25
8. Presupuesto y financiamiento.....	26
8.1 Materia prima	26
8.2 Tiempos de preparación del centro de mecanizado	26
8.3 Tiempos de Mecanizado	26
8.4 Costo de mecanizado	27
8.5 Tiempo de limpieza y lubricación del centro de mecanizado	27

8.6 Costo tiempo de limpieza y lubricación	27
8.7 Costo total de uso del CNC.....	27
8.8 Tiempo de realización de los tratamientos.....	27
8.8.1 Templado	27
8.8.2 Revenido.....	28
8.9 Costo total de los tratamientos.....	28
8.10 Tiempo de medición de rugosidad	28
8.11 Costo de la medición de rugosidad.....	29
8.12 Costo de los artículos consultados para el inicio del proyecto	29
Bibliografía	30

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Diagrama de templado en general de un material	20
Figura 2 Diagrama de revenido en general de un material	21
Figura 3 Superficie mostrando la rugosidad superficial aumentada.....	22
Figura 4 Rugosímetro de la Universidad Distrital.....	23
Figura 5 Pieza mostrando los parámetros de corte en general durante un mecanizado.....	23

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Parámetros de corte a utilizar	15
Tabla 2 Composición química del acero AISI/SAE1045 según la CGA	19
Tabla 3 Diagrama de Gantt con el tiempo relacionado en semanas.....	25
Tabla 4 Relación de los materiales a utilizar en cantidades y costos	26

RESUMEN

La presente propuesta muestra un acero AISI 1045 representado en probetas; donde dichas probetas de acero AISI 1045 serán mecanizadas en un centro de mecanizado variando algunos parámetros de corte en el proceso, para luego efectuar mediciones de rugosidad a cada probeta con ayuda de un rugosímetro y así, obtener los parámetros de corte que más afectan la medida de rugosidad en dicho acero. El número de combinaciones que se utilizarán en los mecanizados, así como el uso de los parámetros más relevantes serán definidos de acuerdo a los resultados arrojados por medio de un diseño de experimentos.

El paso por seguir será tomar el acero AISI 1045 y someterlo a una secuencia térmica con ayuda de una mufla para convertirlo en un acero doble fase; seguido a esto se procederá a mecanizar las probetas variando de nuevo en cada mecanizado algún parámetro de corte preestablecido por el diseño de experimentos y obtener una nueva medición de rugosidad. Los datos de combinaciones de los parámetros serán los mismos que se utilizarán en las probetas sin tratamiento térmico.

Seguido a esto se compararán los resultados obtenidos y las diferencias presentadas entre las probetas mecanizadas sin secuencia térmica y las probetas mecanizadas con tratamiento térmico. Este parámetro de la rugosidad será al final determinante para verificar si el tratamiento térmico realizado a la probeta de acero AISI 1045 tuvo un alivio en la medida, o por el contrario no se obtuvo ningún cambio o se conservó prácticamente igual.

INTRODUCCIÓN

Se quiere analizar cuál podría ser la influencia de realizar un tratamiento térmico a un acero AISI 1045 en las medidas de rugosidad superficial tras realizar un mecanizado.

El tratamiento convertirá el acero en uno de tipo doble fase, dichos aceros doble fase son aceros de bajo contenido en carbón que ofrecen a los usuarios del mismo, altas características mecánicas y una buena conformabilidad. Estos aceros son obtenidos mediante tratamientos térmicos, que llevan el acero a altas temperaturas llegando a una zona donde predomine el contenido de austenita y ferrita en su estructura interna, y luego se procede a enfriarlo a alta velocidad para lograr obtener martensita a partir de la austenita. Posterior a esto se realiza un tratamiento de revenido para aliviar tensiones internas en el material que hayan quedado tras la realización del temple.

Dichos aceros han venido tomando un gran auge en la industria, especialmente en la de tipo automotriz, en la cual se han centrado en obtener nuevos materiales que otorguen las mismas características necesarias en el diseño pero con menores pesos. Esto se logra con los aceros doble fase ya que, han dado las mismas características mecánicas pero con unas dimensiones menores, lo que ha hecho que el peso total de un vehículo disminuya considerablemente, alcanzando con esto una mejor relación peso potencia y un menor consumo de combustible, algo esencial debido a las posibles crisis petroleras evidenciadas en un futuro cercano.

Estudiar estos aceros dará entonces un mayor conocimiento sobre estos, obteniendo así posibles aplicaciones que solucionen o llenen vacíos dentro de la industria y faciliten la consecución de nuevos procesos donde las demandas actuales son cada vez más exigentes.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 PROBLEMA

En la industria actual el uso de los aceros doble fase se da a la gran demanda de piezas y partes en el área automotriz, requiriendo componentes con ciertos grados de dureza y resistencia dependiendo del uso prestado dentro del sistema. Este tipo de aceros han revolucionado las ensambladoras de vehículos ya que, gracias a ellos el peso final del vehículo se ha logrado reducir considerablemente obteniendo un menor consumo de combustible.

Es por esto que la necesidad evidenciada de conocer más a fondo estos aceros ha venido creciendo para saber dónde pueden ser empleados, por lo cual esta propuesta se enfoca en conocer como varían los parámetros de corte, la rugosidad superficial de este tipo de aceros. Específicamente un acero AISI 1045 doble fase.

Las aplicaciones posibles de estos aceros donde la rugosidad superficial es un parámetro de gran relevancia y que son a base del acero AISI 1045 se encuentran en diferentes y variados lados. Como las columnas guías de las inyectoras de plástico y las troqueladoras cuyo diámetro va en función de la fuerza de cierre con la que este dotada la máquina, las sufrideras de las prensas y troqueladoras y demás partes de interés para los diseñadores.

2. ESTADO DEL ARTE

Tras una indagación previa de información sobre este tipo de aceros y la problemática que pretende resolver la presente propuesta se procede a investigar principalmente en algunos parámetros que otorgarán la mayor información y de mayor uso dentro de todo el desarrollo y estudio de dicha propuesta. Por lo que los aspectos más relevantes se muestran a continuación.

Los aceros doble fase son aceros de bajo contenido en carbón que por medio de la realización de unos tratamientos térmicos que consisten en alcanzar temperaturas intercríticas y un enfriamiento a gran velocidad una estructura interna de ferrita y martensita; estructura que otorga una buena resistencia a la tensión y a la fatiga y además unas buenas propiedades en cuanto a la ductilidad del material gracias a la matriz de ferrita; estos aceros han venido surgiendo tras comprobarse sus amplias ventajas y características mecánicas que ofrecen para los distintos procesos, especialmente en la parte de uso estructural, debido a las altas resistencias que ofrecen y el menor peso o tamaño necesarios para obtener dicha capacidad en la aplicación.

Los aceros doble fase ofrecen una alta resistencia alcanzada gracias a los tratamientos térmicos que se realizan sobre el material, los cuales cambian completamente su estructura interna y generan las nuevas características mecánicas en el material. Estas propiedades mecánicas se pueden comprobar de diferentes maneras, algunos ensayos experimentales, como los realizados en la universidad de Oviedo¹, en el cual por medio del ensayo miniatura de punzonado, se obtuvieron los valores experimentales de esfuerzos, comparados con los obtenidos en el ensayo de tracción para los materiales de bajo contenido en carbón que utilizaron, gracias a un punzón hemisférico que por medio de una precarga obliga a la probeta debidamente sujeta a fracturarse, por medio de un agujero interno generado en la misma. Donde se evidencia como los valores de esfuerzos que soportan aumentan en los aceros doble fase en comparación a los mismos aceros sin el tratamiento térmico.

2.1 TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Los tratamientos térmicos serán cruciales para la obtención del acero según lo deseado, por esto gracias a una serie de fórmulas que otorgan un cálculo aritmético se encuentran las temperaturas a las cuales se debe trabajar dicho material AISI 1045; entonces, las fórmulas con las cuales se consigue esto son las fórmulas de Gur², donde el temple para dicho acero 1045 debe ser realizado a una temperatura aproximada de 760°C, temperatura a la cual debe someterse la pieza y garantizar que dure el tiempo suficiente en la mufla como para que la probeta en su totalidad se encuentre a dicha temperatura en mención y no se incurra en el error de tener dicha temperatura en la superficie pero no en su interior.

¹ (Universidad de Oviedo, 2009)

² (Gur. J, 2009)

En cuanto al tratamiento de revenido después de realizado el temple del material a temperatura intercrítica, es necesario, debido a que después del temple el material tiene una alta dureza, pero que no es muy usada en aplicaciones, por lo cual se hace necesario la aplicación de un tratamiento como el revenido, que disminuya tensiones internas causadas por el tratamiento anterior y mejore la fragilidad. Dicho tratamiento de revenido debe ser realizado a una temperatura superior a 150°C³. Donde el material mejora las condiciones de recuperación elástica, algo muy necesario en las aplicaciones propias de dichos aceros dual phase, donde se encuentra que la temperatura de revenido deberá ser de 400°C.

2.2 DUREZA DE LOS ACEROS DOBLE FASE

La dureza óptima de estos aceros de la familia doble fase, básicamente se obtiene a raíz de algunos aspectos fundamentales, como lo son la velocidad de enfriamiento, temperatura de temple y la microestructura interna del material.

La velocidad de enfriamiento es la que determinará la cantidad de ferrita, martensita y bainita en la estructura interna de los aceros doble fase, el estudio de transición de fase y microestructura de un acero doble fase laminado en caliente⁴ dice que el contenido de ferrita aumenta con la disminución en el tiempo de la velocidad de enfriamiento. Mientras que la martensita aparece en ciertos rangos de velocidades de enfriamiento que resultan ser bajos.

Las temperaturas de temple siempre estarán en un rango determinado que se denominan A1 y A3, aunque siempre claro está, se encontrarán dentro de las temperaturas intercríticas del material, que resultan ser las detalladas anteriormente. Mientras que la parte microestructural de los aceros doble fase, específicamente los límites de grano de los aceros tratados intercríticamente, el refinamiento del grano y la subestructura adecuada son los parámetros que contribuyen a una dureza óptima del material⁵ tras realizar todo el tratamiento y obtener la nueva configuración interna.

2.3 IMPORTANCIA DE LA TEMPERATURA EN EL MECANIZADO

Durante el mecanizado, la temperatura resulta ser un factor de gran importancia, debido a que esta puede generar varios efectos en el material y en la herramienta utilizada durante el proceso.

³ (Parra, 2014)

⁴ (Song, Study on phase transition and microstructure of hot-rolled Si-Mn-Cr dual-phase steel, 1995)

⁵ (Chengyi, EFFECT OF INTERCRITICAL HEAT TREATMENT ON MICROSTRUCTURE OF MARTENSITIC STEEL 12Ni4CrMo., 1986)

En cuanto al material, las velocidades de corte generan altas temperaturas, estas, pueden afectar el acabado superficial del material, lo que afecta en gran medida la rugosidad superficial al final del mecanizado, efecto indeseable en algunas aplicaciones en específico.

En la herramienta las altas temperaturas generan un desgaste mayor o excesivo durante el conformado de la pieza. Según *The machining of metals*⁶ la temperatura debe ser tenida en cuenta debido a la importancia que toma durante el proceso y mediante el cálculo aritmético se obtienen unos parámetros de mecanizado como la profundidad y velocidad adecuadas, para evitar el daño de la herramienta o afectar el material que se está mecanizando. Además de la utilización de fluidos de corte para evitar efectos como la corrosión en la superficie del material durante el proceso, fluido que se utilizará durante cada operación de mecanizado que se realice a las probetas experimentales para evitar afectar en lo posible la medida final de rugosidad media y un daño prematuro o inesperado de la herramienta con la cual se realizarán los arranques de viruta de material. Con esto además decir que el desgaste de los filos de la herramienta a utilizar para los mecanizados no será tenida en cuenta dentro de la presente propuesta debido a que aunque toma una gran importancia en una posible variación final de la rugosidad, no es el estudio o a lo que se enfoca esta propuesta en mención.

Davies, M.A.⁷, habla de los campos de temperatura en el mecanizado de un acero AISI 1045, que es el material de análisis, manifestando, como se deben tener mejores herramientas durante estos procesos de mecanizado, para así obtener de manera predictiva campos de temperatura del material durante su conformado y no dejar este aspecto a la deriva; dicho análisis, fue logrado por medio de un microscopio de alto ancho de banda, que se ubicó sobre un centro de mecanizado de alta velocidad, que midió la distribución de temperatura durante el proceso de mecanizado para velocidades de hasta 605m/min.

2.4 PARÁMETROS DE CORTE A USAR

Los parámetros de corte toman dentro de este estudio un gran valor debido a que estos precisamente son los principales factores que se quieren estudiar y averiguar cómo afectan la rugosidad superficial al final del mecanizado de un acero doble fase tipo AISI 1045. Pero al mismo tiempo toman relevancia por otros factores debido a que los parámetros de corte son los que generan los cambios de la medida final de la rugosidad superficial del material mecanizado. Por estas razones es que será de primordial determinación estos parámetros para identificar cuáles serán los que se utilicen y tengan en principal cuenta durante los ensayos a realizar para fijar los demás parámetros presentes durante un mecanizado y enfocarse directamente en aquellos que generen

⁶ (Armarego, 1969)

⁷ (Davies, High bandwidth thermal microscopy of machining AISI 1045 steel, 2005)

posibles cambios significativos a la medida final de rugosidad en las superficies mecanizadas y preparadas para la obtención de los datos a tomar para realizar todo el análisis estadístico y conclusiones de la presente propuesta.

Por esto los artículos citados a continuación otorgan en gran medida la información necesaria tanto como para definir cuáles serán los posibles parámetros a tener en cuenta, junto con cuáles serían sus posibles valores o variaciones durante los ensayos a realizar para un mecanizado de aceros de alta dureza como lo son los de tipo doble fase.

Tras la indagación anterior de la determinación de los parámetros de corte, se remite entonces la propuesta a qué tipo de herramienta a su vez será la seleccionada para la realización del experimento. Luego de evaluar las diferentes opciones con las cuales se podría llegar a trabajar, se llegó a la conclusión de que la mejor herramienta para realizar las pruebas sería un escariador de tungsteno, esto, basados en una justificación de tipo económica debido a que se necesitaría tan solo un par de estos y los posibles insertos a usar en el centro de mecanizado resultarían al final más costosos que la herramienta mencionada; a la comodidad ya que, no se tendrían que realizar tantos cambios de herramienta durante el proceso, el afilado es más fácil y puede hacerse tras un desgaste de consideración en los filos de la herramienta, y en los insertos se podría presentar la ruptura de los mismos y por ende una nueva compra de estos debido a que pueden fallar al someterse a un mecanizado de un material con estas características mecánicas. Es por esto que los catálogos de los fabricantes de este tipo de herramienta también se tuvieron en cuenta a la hora de determinar los parámetros y los valores de estos para que no lleguen a exceder los posibles límites a los cuales puede trabajar la herramienta.

Después de una investigación en distintas bases de datos sobre la influencia de los parámetros de corte en mecanizados de materiales duros, se encuentra que los factores en general y en común en distintos artículos que más determinan o afectan la medida final de la rugosidad superficial de un material tras su mecanizado son el avance, la velocidad de corte y la profundidad. Por esto estos serán los parámetros a tener en cuenta como variables, mientras que los demás parámetros presentes durante un mecanizado se tomarán como una constante durante el proceso para generar una reducción en las variables que se tendrían que tener en consideración y que a medida que se realiza las pasadas del mecanizado vuelven a variar de valor de nuevo.

De estos tres parámetros, el avance es aquel que da un mayor cambio en la rugosidad superficial final del material, con contribuciones de tipo secundario por parte de la velocidad de corte y la profundidad⁸. Aunque algunas variaciones en el diseño experimental pueden llegar arrojar valores finales de rugosidad del mismo orden con los otros dos parámetros de corte mencionados.

⁸ (Lalwani, 2008)

Entonces, tras la definición de los parámetros de corte es necesario evaluar que valores van a tomar cada uno de los tres parámetros a tener en cuenta, además de que se verán acotados por los catálogos de fabricantes si es que estos posibles valores superan los que se pudieran tomar como se mencionó anteriormente.

Como lo que se busca es la medición final de rugosidad superficial, las medidas de profundidad a usar serán bajas para generar una especie de acabado sobre la superficie, por lo que es necesario hacer desbastes tipo rectificadas, por lo que los valores de este parámetro se tomaron en base a un artículo de torneado en duro (Lalwani, 2008).

Los valores del avance se encuentran en el artículo de fresado en duro, empirical models and optimal cutting parameters for cutting forces and Surface roughness in hard milling of AISI H13 steel (Ding Tongchao, 2010). Valores acordes al tipo de herramienta, pero también muestran en los resultados y discusiones del artículo una serie de conclusiones que podrían asemejarse a lo esperado en el proceso de este estudio.

Los valores entonces faltantes a determinar son los de la velocidad de corte, estos valores debieron ser ajustados un poco, debido a que según los catálogos encontrados para el tipo de herramienta seleccionado sobrepasaban los límites a los cuales la herramienta se podía trabajar. Es por esto que se tomaron los dos primeros datos que utilizaron debido a que solo estos se mantenían dentro del rango de trabajo y el tercer valor se sacó como el punto medio entre estos dos valores. Estos valores se consiguieron gracias al artículo Estimating the effect of cutting parameters on surface finish and power consumption during high speed machining of AISI 1045 steel using Taguchi design and ANOVA (Anirban Bhattacharya, 2008).

Entonces, ya conocidos los parámetros y de donde salen sus valores, se relacionan a través de la siguiente tabla para ser conocidos y usarlos en los ensayos.

Avance (mm/rev)	Profundidad (mm)	Velocidad de corte (m/min)
0,04	0,1	58
0,08	0,15	77
0,12	0,2	96

Tabla 1. Parámetros de corte a utilizar.

Para visualizar como podrían afectar los parámetros de corte durante el mecanizado del acero AISI 1045 doble fase, el artículo taladrado por fricción en aceros doble fase de la revista de Metalurgia⁹, muestra como el avance al aumentarse, reduce las temperaturas máximas durante en conformado de una pieza, debido, a que el tiempo de contacto entre herramienta y pieza

⁹ (Nardi, 2012)

disminuye. Mientras que si las velocidades de giro aumentan, la fricción entre la pieza de trabajo y la herramienta aumentará dando como resultado una mayor temperatura durante el proceso. Efectos indeseados por las razones expuestas anteriormente. Cabe resaltar que el proceso de mecanizado será diferente, debido a que el descrito en este artículo es realizado por medio de taladrado por fricción, mientras que la obtención de las probetas donde se tomarán las medidas de rugosidad se harán por medio de un centro de mecanizado.

2.5 RUGOSIDAD

La rugosidad, es muy importante controlarla en el acabado de aceros con una aplicación específica, debido a que ésta altera factores como la lubricación, el desgaste, el aspecto del material y la resistencia a la fatiga. Por esto, estudios como el de Archard, llamado, “estudio del modelo de desgaste”¹⁰, hablan de la importancia de conocer estos parámetros, para definir aspectos en la parte tribológica, y que se basan en la dureza superficial del material, parámetro que se varía por medio de la aplicación del tratamiento térmico sobre el acero y a las posibles cargas aplicadas. Por esto la rugosidad aquí será un parámetro de gran importancia para mantenerlo al final de la obtención de estos aceros de doble fase y así tener las medidas exactas para la aplicación en mención.

¹⁰ (Archard, 2006)

3. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de la industria se ha dado gracias a la búsqueda de nuevas herramientas de ingeniería para la mejora en los procesos, evolucionando de esta manera con equipos y maquinarias conformados por diferentes materiales con una amplia gama de propiedades según el uso y la aplicación dada.

El estudio de los materiales brinda la posibilidad de poderlos usar según la necesidad que el entorno exija, para ello se ha explorado la naturaleza interna de los mismos determinando cada una de sus propiedades, aplicaciones y usos.

Este proyecto busca responder la necesidad que surge en el estudio y comportamiento de los metales, en este caso el acero AISI 1045, material usado ampliamente en la industria para la fabricación de un gran número de piezas para maquinaria. La realización de este proyecto se apoya en la indagación de las condiciones a las que pueden ser tratados los metales para que se genere internamente un cambio en su estructura, y como afecta este cambio sus propiedades físicas, específicamente la rugosidad superficial del mismo y las características mecánicas.

Responder esta necesidad ayudará a los diseñadores a encontrar una nueva herramienta en la consecución de partes y optimización de los procesos industriales. Ayudando así a generar unos procesos más competitivos garantizando la misma calidad en el producto final y con un valor económico considerablemente menor con los cambios alcanzados, como los descritos anteriormente.

Entonces las aplicaciones descritas en el problema donde se encuentra presente el acero AISI 1045 y donde la rugosidad superficial tiene una gran importancia podrían ser mejoradas o cambiadas con el uso de un acero doble fase a partir del mismo acero utilizado, logrando la reducción de las medidas dimensionales de las piezas y logrando así un menor costo en la obtención de las partes requeridas y con las mismas características finales deseadas en las piezas.

4. OBJETIVOS

A continuación se presentan los objetivos planteados para el presente informe.

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Establecer la influencia en la rugosidad superficial de mecanizado en un acero AISI 1045, posterior al tratamiento térmico de temple desde 760°C y el revenido a 400°C con tiempo de mantenimiento de 15, 30 y 45 minutos.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las variables más relevantes mediante el estudio del estado del arte.
- Realizar el diseño experimental para determinar el número de ensayos requerido.
- Mecanizar las probetas y obtener de ellas la rugosidad superficial previa al tratamiento térmico.
- Realizar la secuencia de tratamiento térmico al acero AISI 1045.
- Mecanizar las probetas y obtener de ellas la rugosidad superficial posterior al tratamiento térmico.
- Analizar estadísticamente los resultados.
- Presentar una evaluación financiera del proyecto.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Diseño Experimental

Es un procedimiento estadístico el cual busca medir las causas y efectos previos a un estudio, se lleva a cabo manipulando una o varias variables de las causas para de esa manera determinar su efecto. La combinación de este estudio genera el diseño experimental.

Los objetivos del desarrollo del diseño ayudan a estimar la variabilidad del experimento, también contribuyen a la exactitud del mismo y contribuir a la estimación de acuerdo al manejo y combinación de variables en el modelo experimental que se lleve a cabo.

5.2 Acero AISI-SAE 1045

Este tipo de acero al medio carbono se utiliza cuando se busca buenas condiciones de resistencia y dureza, sus usos principales son para la fabricación de ejes, engranes, piñones y demás partes para maquinaria.

Cuenta con una dureza entre 54-60 HRC y una densidad de 7.87 g/cm³. En cuanto a propiedades mecánicas las más sobresalientes son el esfuerzo de fluencia que es de 310 MPa., el esfuerzo máximo que es de 565 MPa., un módulo de elasticidad de 200 GPa y una maquinabilidad del 57%. Adicional a esto, este tipo de aceros pueden ser sometidos a tratamientos térmicos como temple y revenido teniendo una buena respuesta a estas técnicas.

La composición química de este acero es la siguiente:

COMPOSICION QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.43 0.50	0.6 0.9	0.04	0.05	0.2 0.4

Estado de suministro: Recocido
Dureza de suministro: 160 - 200 Brinell

Tabla 2 Composición química del acero AISI/SAE 1045 según la CGA¹¹.

¹¹ Tomado de:

http://www.cga.com.co/index.php?searchword=1045&option=com_search&Itemid=, Consultado: 01/10/2014

5.3 Temple

Cuando se habla de temple o templado, se refiere a un tipo de tratamiento térmico el cual consiste en el enfriamiento a gran velocidad de la pieza previo a un calentamiento a alta temperatura de la misma, dicho cambio brusco en la temperatura modifica la microestructura de los componentes del material tratado. Su objetivo es producir un aumento en la dureza y resistencia mecánica de la pieza templada.

Se produce el temple cuando se alcanza la temperatura de austenización, donde se forman cristales de austenita, los cuales al ser enfriados rápidamente se transforman en martensita. La figura siguiente muestra en un diagrama temperatura vs tiempo como se realiza el tratamiento:

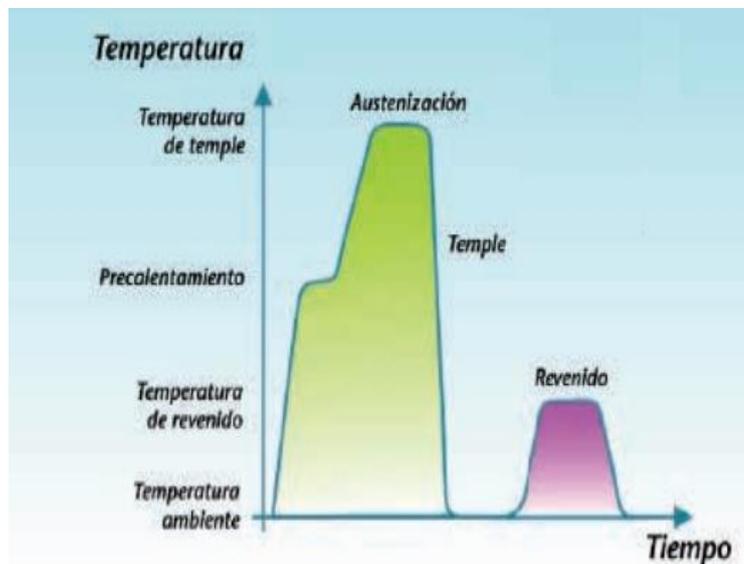


Figura 1 Diagrama de temple en general de un material¹².

Los medios de enfriamiento que se utilizan en este tipo de tratamiento térmico son: el agua, el aire, el aceite y soluciones salinas; estos son usados dependiendo de las características que se quieran obtener y del tipo de material.

5.4 Revenido

Este término es otro tipo de técnica térmica que se puede llevar a cabo para tratar una pieza mejorando sus propiedades, el objetivo de este procedimiento es aliviar las tensiones generadas después de haber realizado el temple en el material evitando que se generen deformaciones o grietas, incrementando la tenacidad y ductilidad del mismo disminuyendo su dureza, resistencia mecánica y límite de elasticidad.

¹² Tomado de: <http://www.trateriber.es/pdf/Temple-Revenido.pdf>, Consultado: 05/10/2014.

El revenido se realiza después de ser tratado el material previamente con un temple, calentando la pieza templada entre los 250°C y 650°C sin exceder la temperatura de austenización, luego el material es dejado enfriar. Las temperaturas escogidas dependen del proceso a trabajar con el material tratado.

Un revenido alto maneja temperaturas entre los 500°C y 650°C se utiliza para piezas que van a estar sometidas a realzada fatiga y grandes cargas de impacto. El procedimiento completo de templado y luego revenido alto se conoce como bonificado.



Figura 2 Diagrama de Revenido en general de un material¹³.

5.5 Acero doble fase o dual phase

Se le llama acero de doble fase a los aceros que poseen en su estructura interna una matriz de ferrita y una fase martensítica, este segundo componente le permite ganar resistencia a la tensión y a la fatiga. Mientras que la matriz de ferrita es blanda proporcionando propiedades dúctiles al material.

Estos aceros se usan ampliamente en la fabricación de partes para la industria automotriz ya que poseen una alta resistencia mecánica por el orden de 600-1000 MPa, reduciendo así costos en cuanto al peso de fabricación, minimizando por ende uno de los objetivos que busca esta industria que es reducir los consumos de combustible.

La obtención de estos aceros se logra mediante un tratamiento térmico, que consiste en llevar el acero a una alta temperatura, exactamente la de austenización, fase en la cual al mantener por unos minutos, para que la

¹³ Tomado de: <http://ensayosydiagramas.blogspot.com/p/tratamientos-termicos.html>, Consultado: 05/10/2014.

temperatura sea homogénea en el material, se procede a enfriarla a alta velocidad, generalmente en agua, para lograr por medio de este enfriamiento transformar la fase de austenita en martensita, dándole así las anteriores características nombradas. Aunque se suele acompañar luego de esto con un revenido, principalmente para aliviar tensiones internas generadas por el tratamiento anterior y para mejorar sus propiedades en cuanto a la fragilidad.

5.6 Rugosidad Superficial

Luego de finalizado el mecanizado de una pieza esta queda expuesta a presentar irregularidades en su área superficial dependiendo del proceso utilizado y el material de la pieza trabajada. Ningún tipo de material presenta una superficie totalmente lisa, incluso aquellos que tengan un buen acabado superficial también presentan este fenómeno.

La figura siguiente muestra en una escalada ampliada la forma en la cual queda una superficie de material después de que la herramienta ha hecho su trabajo sobre ella:

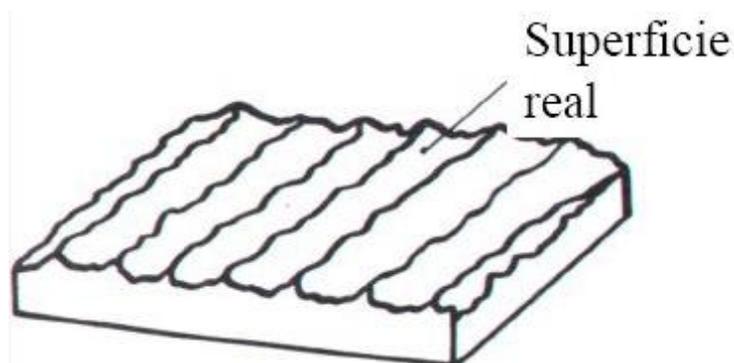


Figura 3 Superficie mostrando la rugosidad superficial aumentada¹⁴.

Las irregularidades mostradas pueden ser grandes o pequeñas, la rugosidad es aquella que se centra en estas últimas debido a que las primeras son propias de errores de forma. Las pequeñas irregularidades sobre la superficie se pueden dividir en ondulaciones y en rugosidades, la primera se asocia más con aspectos exteriores a la pieza, mientras que la segunda es causada por la fricción de una herramienta.

Para llevar a cabo la medida de rugosidad en una pieza se utilizan: comparadores viso táctiles los cuales evalúan el acabado superficial por comparación visual y táctil, rugosímetros de palpador entre ellos encontramos el rugosímetro de palpador mecánico, palpador piezoeléctrico, palpador capacitivo, palpador inductivo, entre otros.

¹⁴ Tomado de: <http://mmcdp.webcindario.com/capitulos/08-rugosidad.pdf>, consultado: 06/10/2014.

5.7 Rugosímetro

Cuando se desea obtener con rapidez los valores de profundidad e imperfecciones presentadas en la superficie, se hace uso de este instrumento de medida, el cual detecta las ondulaciones y discontinuidades en el material después de su fabricación. Con esta herramienta se verifica que el acabado final de una pieza luego de ser maquinado responda a las exigencias y necesidades según la aplicación en la cual se vaya a utilizar. La figura siguiente muestra el rugosímetro, con el cual se efectuarán las pruebas del diseño experimental:



Figura 4 Rugosímetro de la Universidad Distrital.

5.8 Parámetros de Corte

Para llevar a cabo una operación de maquinado es necesario manejar un movimiento entre la pieza y la herramienta de trabajo, esto se logra gracias a tres conceptos el primero se conoce como *velocidad de corte* el segundo *avance* y por último la *profundidad*. Estos parámetros dependen del tipo de material, herramienta y acabado que se desea obtener.

- Velocidad de corte: establecida por la velocidad de rotación del husillo de la maquina donde se coloca la pieza o la herramienta, este valor por lo general está dado en rev/min.
- Avance de corte: Se define como la velocidad relativa entre la herramienta y la pieza de trabajo.
- Profundidad de corte: se conoce como la diferencia de los radios de la pieza antes y después de pasar la herramienta, este término se expresa en mm.

$$V_c = \frac{\pi D n}{1,000}$$

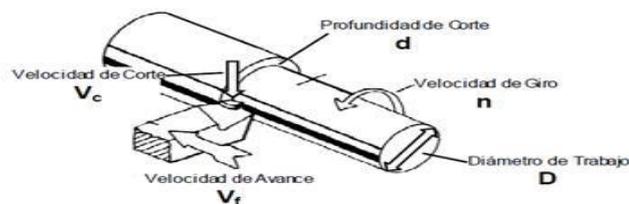


Figura 5 Pieza mostrando los parámetros de corte en general durante un mecanizado¹⁵.

¹⁵ Tomado de: <http://www.monografias.com/trabajos101/proceso-industriales-practica/proceso-industriales-practica.shtml>, Consultado: 06/10/2014.

6. METODOLOGÍA

A continuación se muestran las actividades para alcanzar los objetivos planteados, en orden secuencial para alcanzar la realización del proyecto:

1. Recopilación de información necesaria para la planificación del proyecto.
2. Adquisición de las probetas de acero AISI 1045, herramientas e instrumentos.
3. Determinación de los parámetros de corte a utilizar en los ensayos basados en un estudio realizado en el estado del arte.
4. Creación del diseño de experimentos para la determinación del número de ensayos y sus combinaciones a realizar.
5. Solicitud de prácticas en el centro de mecanizado de la universidad Distrital.
6. Mecanizado de las probetas sin tratamiento térmico según parámetros arrojados por el diseño experimental.
7. Preparación de las probetas para la realización de toma de datos de rugosidad superficial (limpieza superficial).
8. Medición de la rugosidad media en cada una de las probetas obtenidas anteriormente.
9. Realizar el tratamiento de temple a todas las probetas de ensayos.
10. Realizar el revenido a cada una de las probetas con los tiempos de mantenimiento y temperaturas detalladas anteriormente para cada grupo de ensayos.
11. Solicitud de nuevas prácticas en el centro de mecanizado de la universidad Distrital.
12. Preparación de las probetas después de realizar los tratamientos para retirar escorias y demás impurezas que se hayan generado durante los tratamientos al material.
13. Mecanizado de las probetas en estado dual phase.
14. Preparación de las probetas para la realización de la segunda toma de datos de rugosidad superficial (limpieza superficial).
15. Medición de la rugosidad media en cada una de las probetas, pero ahora después de realizado el tratamiento térmico.
16. Recopilación de los datos de rugosidad obtenidos pre y post tratamiento.
17. Tabulación de los datos de rugosidad media.
18. Análisis estadístico de los datos obtenidos.
19. Conclusiones a las cuales se llegó después de realizado el ensayo, gracias a los datos obtenidos.
20. Presentación del informe final con la recopilación de toda la información obtenida durante el proceso de inicio a fin.
21. Presentación de una evaluación financiera, detallando los tiempos y costos en cada etapa de los ensayos realizados.

8. PRESUPUESTO Y FINANCIAMIENTO.

El Proyecto en su totalidad será financiado por los integrantes del mismo de la siguiente manera:

Cantidad	Material	Costo	Medida
1	Escariador de Tungsteno para CNC	\$ 77,000	12 mm
20	Probetas de acero AISI 1045	\$ 120,000	100 x 100 x 32.26 mm
1	CNC	\$ 48000/hora	
1	Rugosímetro	\$ 180000/hora	
1	Mufla	\$ 100000/hora	

Tabla 4 Relación de los materiales a utilizar en cantidades y costos.

8.1 Materia Prima

- Perfil cuadrado acero AISI 1045 (100 x 100 x 12.7) mm
- Densidad del acero: 7,850 Kg/m³
- Peso: 0.99 Kg

8.2 Tiempo de preparación del centro de mecanizado

- Estimado de 12 minutos total de montaje por probeta que se ve reflejado así:
- Alistamiento de herramienta: 2 min.
- Análisis del material: 4 min.
- Puesta a punto de la máquina: 6 min.

8.3 Tiempos de Mecanizado

Con las probetas listas según la dimensión específica, se procede a realizar una pasada con la herramienta por probeta, cada pasada tendrá una variación de los parámetros de corte, velocidad, avance y profundidad.

- $Tm1 = (L/V1) \times (\# \text{ Pasadas})$

Nota: Con la anterior fórmula luego de saber la cantidad de ensayos de acuerdo al diseño de experimentos y con la variación de los parámetros de corte se tendrán los tiempos de mecanizado para cada mecanizado de las

probetas ya que, no se tienen aún las diferentes combinaciones con las cuales se trabajará.

8.4 Costo de mecanizado:

- $C_m = \text{Tiempo de mecanizado} + \text{Tiempo de preparación} * \text{Costo unitario de CNC}$.

Nota: Con la anterior fórmula se calculará el costo total de la realización de los mecanizados en las probetas de acero AISI 1045. Esto gracias de nuevo a los datos obtenidos con la realización del diseño de experimentos preliminar.

8.5 Tiempo de limpieza y lubricación del centro de mecanizado

- Desapriete de prensa para desmontaje: 25 s
- Limpieza de prensa hidráulica: 240 s
- Limpieza de la bancada de la maquina: 420 s
- Limpieza de guardas y demás partes del centro de mecanizado: 480 s
- Lubricación y ajuste de prensa hidráulica y componentes: 180 s
- Tiempo total de limpieza y lubricación: 1345 s – 22.4 Min

8.6 Costo tiempo de limpieza y lubricación

- Precio por minuto de operario de limpieza: \$70.83
- Precio de la limpieza: \$1 586

8.7 Costo total de uso del CNC

- Costo de mecanizado + Costo de limpieza y lubricación

Nota: el costo total del mecanizado con todos los parámetros influyentes se calcula con base en la anterior fórmula para determinar cuánto valdrá todo el proceso en mención.

8.8 Tiempo de realización de los tratamientos

8.8.1 Templado:

- Depositar la probeta en el interior de la mufla con ayuda de soportes: 60 s.
- Iniciar la máquina configurando temperatura y tiempo de mantenimiento: 10 s.

- Establecimiento de la temperatura en la probeta de 760 °C: 1 Hora y 45 min
- Tiempo de Mantenimiento: 1 hora.
- Extracción de la probeta del interior de la mufla: 15 s.
- Enfriamiento en balde con agua: 40 s.
- Tiempo Total de templado: 338.15 min.
- Precio hora de mufla: \$100 000
- Total costo de temple: \$563 583

8.8.2 Revenido:

- Depositar la probeta en el interior de la mufla con ayuda de soportes: 60 s.
- Iniciar la maquina configurando temperatura y tiempo de mantenimiento: 10 s.
- Establecimiento de la temperatura en la probeta de 400 °C: 1 Hora y 30 min
- Tiempo de Mantenimiento: Tm1: 15 Min, Tm2: 30 Min y Tm3: 45 min
- Extracción de la probeta al interior de la mufla: 15 s.
- Enfriamiento en balde con agua: 40 s.
- Tiempo total de revenido :

T1: 1 Hora y 50.07 min

T2: 2 Horas y 5.07 min

T2: 2 Horas y 20.07 min.

- Tiempo total de Revenido: 6 Horas y 15.21 min

Tiempo total de tratamientos: tiempo total de templado + tiempo total de revenido: 11 Horas y 53.35 min.

8.9 Costo total de los tratamientos:

- Tiempo total de los tratamientos*costo de la mufla= \$1 188 916

8.10 Tiempo de medición de rugosidad

1. Preparación y calibración del rugosímetro Marh Surf PS1.

- Ensamble del palpador: 8 s.
- Ensamble del protector del palpador: 15 s.
- Montaje de la estructura del rugosímetro: 10 s.

2. Inicio de la medición

- Seleccionar la norma a trabajar: 5 s.
- Seleccionar Lt, Lc, n: 10 s.
- Iniciar la medición: 12 s.
- Interpretación y anotación de la medición: 6 s.
- Cantidad de mediciones: Dato aun sin conocer debido a que el diseño de experimentos aún no se ha realizado.
- Tiempo total : 66 s= 1 min y 6 s

8.11 Costo de la medición de rugosidad:

C= \$180 000 por hora, aproximadamente dos horas de mediciones serían las necesarias.

Nota: El costo real de la toma de medidas de rugosidad se definirá cuando se sepa por medio del diseño de experimentos cuántas mediciones se realizarán en las probetas.

8.12 Costo de los artículos consultados que contienen información para el inicio del proyecto:

Nota: Los diferentes artículos consultados para la elaboración del estado del arte y consultas en general, se encuentran en las bases de datos de la Universidad Distrital, los cuales no tienen ningún costo para los miembros de la comunidad universitaria.

Adicional a esto cada integrante debe usar los implementos de seguridad requeridos en cada proceso que se lleve a cabo, de esta manera se garantiza el cumplimiento de las normas de seguridad industriales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Universidad de Oviedo. Cárdenas E, R. C. (2009). *Estudio de las propiedades mecánicas de aceros de doble fase mediante el ensayo miniatura de punzonado*. Consultado el 27 de 10 de 2014, de <http://www.gef.es/Congresos/26/pdf/27.pdf>.
2. Gur. J,P.J. (2009) handbook of thermal modeling process. IFHTSE.
3. Parra, Y. (2014). Estudio de la recuperación elástica en aceros avanzados de alta resistencia de doble fase. *Revista Colombiana de materiales.* , 5.
4. Song, Y. (1995). Study on phase transition and microstructure of hot-rolled Si-Mn-Cr dual-phase steel, Consultado el 2 de 11 de 2014, disponible en <http://neolistas.udistrital.edu.co:2094/search/doc/abstract.url?&pageType=quickSearch&searchtype=Quick&SEARCHID=b0e49065M0687M4febMb9daM256999d0d746&DOCINDEX=9&database=1&format=quickSearchAbstractFormat&tagscope=&displayPagination=yes>.
5. Chengyi, S. (1986). Effect of intercritical heat treatment on microstructure of martensitic steel 12Ni4CrMo. 484 a 488.
6. Armarego, E. (1969). The machining of metals. En E. Armarego, *The machining of metals* (pág. 707). Englewood Cliffs Nueva Jersey: Prentice Hall.
7. Davies, M. (2005). High bandwidth thermal microscopy of machining AISI 1045 steel. Consultado el 2 de 11 de 2014, de <http://neolistas.udistrital.edu.co:2094/search/doc/detailed.url?pageType=quickSearch&CID=quickSearchDetailedFormat&SEARCHID=522eaaadMdb44M4c9cM82bdM8f5b823e2dc6&DOCINDEX=1&docid=null&database=1&displayPagination=yes&format=quickSearchDetailedFormat&dedup>.
8. Lalwani, D. (2008). Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN 250 steel. Consultado el 24 de 03 de 2015, de <http://www.scopus-com.bdigital.udistrital.edu.co:8080/record/display.url?eid=2-s2.0-44749089317&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Experimental+investigations+of+cutting+parameters+influence+on+cutting+forces+and+surface+roughness+in+finish+hard+turning+of+MDN250+steel&sid=E24835A63D546113C5BF616ACF8EBC6C.Vdktg6RVtMfaQJ4pNTCQ%3a20&sot=b&sdt=b&sl=153&s=TITLE-ABS-KEY%28Experimental+investigations+of+cutting+parameters+influence+>

on+cutting+forces+and+surface+roughness+in+finish+hard+turning+of+MDN250+steel%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=110&searchTerm=TITLE-ABS-

KEY%28Experimental+investigations+of+cutting+parameters+influence+on+cutting+forces+and+surface+roughness+in+finish+hard+turning+of+MDN250+steel%29.

9. Ding, T. (2010). Empirical models and optimal cutting parameters for cutting forces and Surface roughness in hard milling of AISI H13 steel. Consultado el 24 de 03 de 2015, de <http://www-scopus-com.bdigital.udistrital.edu.co:8080/record/display.url?eid=2-s2.0-78149440658&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Empirical+models+and+optimal+cutting+parameters+for+cutting+forces+and+Surface+roughness+in+hard+milling+of+AISI+H13+steel&sid=E24835A63D546113C5BF616ACF8EBC6C.Vdktg6RVtMfaQJ4pNTCQ%3a200&sot=b&sdt=b&sl=137&s=TITLE-ABS-KEY%28Empirical+models+and+optimal+cutting+parameters+for+cutting+forces+and+Surface+roughness+in+hard+milling+of+AISI+H13+steel%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=22&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28Empirical+models+and+optimal+cutting+parameters+for+cutting+forces+and+Surface+roughness+in+hard+milling+of+AISI+H13+steel%29.>
10. Bhattacharya, A. (2008). Estimating the effect of cutting parameters on surface finish and power consumption during high speed machining of AISI 1045 steel using Taguchi design and ANOVA. Consultado el 25 de 03 de 2015, de <http://www-scopus-com.bdigital.udistrital.edu.co:8080/record/display.url?eid=2-s2.0-62249167281&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Estimating+the+effect+of+cutting+parameters+on+surface+finish+and+power+consumption+during+high+speed+machining+of+AISI+1045+steel+using+Taguchi+design+and+ANOVA&sid=E24835A63D546113C5BF616ACF8EBC6C.Vdktg6RVtMfaQJ4pNTCQ%3a350&sot=b&sdt=b&sl=176&s=TITLE-ABS-KEY%28Estimating+the+effect+of+cutting+parameters+on+surface+finish+and+power+consumption+during+high+speed+machining+of+AISI+1045+steel+using+Taguchi+design+and+ANOVA%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=33&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28Estimating+the+effect+of+cutting+parameters+on+surface+finish+and+power+consumption+during+high+speed+machining+of+AISI+1045+steel+using+Taguchi+design+and+ANOVA%29.>
11. Nardi, D. (2012). Taladrado por fricción en aceros dobe fase. *Revista de metalurgia* , 11.

12. Archard, J.F. Estudio del modelo de desgaste. En: Revista DYNA. Mayo/Agosto, 2006. Vol.72, p. 146.
13. Bohórquez, Carlos. Influencia del tratamiento térmico desde temperaturas intercríticas en las propiedades mecánicas del acero SAE 1045. En: Asociación Argentina de mecánica computacional. Noviembre, 2012, vol. 31, p. 3577-3587.
14. TRATERIBER. Temple y revenido. [En línea] [Citado 30-oct-2014] Disponible en internet: <http://www.trateriber.es/pdf/Temple-Revenido.pdf>
15. SUMITEC. Acero grado maquinaria AISI 1045. [En línea] [Citado 30-oct-2014] Disponible en internet: <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201045.pdf>
16. MAQUINAS, METODOS Y CONTROL DIMENSIONAL DEL PROCESAMIENTO. Calidad superficial: Rugosidad. [En línea] [Citado 30-oct-2014] Disponible en internet: <http://mmcdp.webcindario.com/capitulos/08-rugosidad.pdf>
17. JAVERIANA. Microscopia electrónica de barrido. [En línea] [Citado 30-oct-2014] Disponible en internet: <http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Ciencias/neurobioquimica/libros/celular/melecbarrido.htm>
18. TODO INGENIERIA INDUSTRIAL. Rugosidad. [En línea] [Citado 30-oct-2014] Disponible en internet: <http://todoingenieriaindustrial.wordpress.com/metrologia-y-normalizacion/rugosidad/>