 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vicerrectoría Investigación	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
	Dependencia	Aprobado		Pág.
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(135)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	NAREN YESITH PEREZ RANGEL FABIAN ANDRES CAÑIZARES CAÑIZARES		
FACULTAD	INGENIERÍAS		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA MECÁNICA		
DIRECTOR	EDWIN EDGARDO ESPINEL BLANCO		
TÍTULO DE LA TESIS	ANÁLISIS DE FALLA PARA LA BOQUILLA DE LA EXTRUSORA DE ARCILLA SOUZA MSL-320 DE LA LADRILLERA OCAÑA		
RESUMEN			
<p>ESTE PROYECTO PRESENTA UN ANÁLISIS DE FALLA REALIZADO A LA BOQUILLA DE LA EXTRUSORA DE ARCILLA SOUZA MSL-320 DE LA LADRILLERA OCAÑA A TRAVÉS DE LA MECÁNICA FORENSE, EN DONDE SE UTILIZARON MUESTRAS DE LA PASTA DE ARCILLA Y MATERIAL DE LA BOQUILLA PARA CARACTERIZARLOS MEDIANTE PRUEBAS DE DUREZA, METALOGRAFIA, ESPECTROMETRÍA, DIFRACCIÓN DE RAYOS X Y MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM), LAS CUALES ARROJARON COMO RESULTADO ERRORES EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO DEL MATERIAL, LO QUE OCASIONA QUE NO SEA APTO PARA SOPORTAR LAS CONDICIONES ABRASIVAS A LAS QUE ESTÁ EXPUESTO.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS:	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104
 info@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

**ANÁLISIS DE FALLA PARA LA BOQUILLA DE LA EXTRUSORA DE ARCILLA
SOUZA MSL-320 DE LA LADRILLERA OCAÑA**

AUTORES

Naren Yesith Pérez Rangel

Fabian Andres Cañizares Cañizares

Trabajo presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Director

Edwin Edgardo Espinel Blanco

MSC. Ing. Mecánico

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERIAS

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA MECANICA

Ocaña, Colombia

Octubre de 2017

A Dios y a mis padres Jesus Emel Cañizares Ascanio y Nelly Cañizares Sarabia por su esfuerzo y dedicación en el logro de mis sueños, sus sabios consejos, su motivación constante y ante todo, su amor incondicional.

Fabian Andres Cañizares Cañizares

A Dios y a mis padres Neftali Pérez Montaña y Nancy Rangel Castro por brindarme sus consejos y su apoyo para la consecución de este logro, sin dejar de lado su amor incondicional.

A mis hermanas Naxeleini Pérez Rangel y Nicol Andrea Pérez Rangel por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo incondicional.

A Maria Jose Gonzalez por su amistad incondicional.

Naren Yesith Pérez Rangel

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

Por darnos la oportunidad de haber alcanzado este sueño, y darnos la fuerza, la sabiduría y la provisión para superar todos los obstáculos encontrados a lo largo del camino.

A nuestro director de tesis.

Edwin Edgardo Espinel Blanco, por su asesoría, conocimiento, tiempo y dedicación, que permitieron culminar este proyecto de la mejor manera.

A nuestros asesores.

Lina Marcela Hoyos Palacios, Carlos Rene Muñoz Jiménez, Alejandro Toro Betancur, por el apoyo brindado durante el desarrollo del proyecto

A nuestros maestros.

Por compartir sus conocimientos durante toda la carrera, preparándonos para hacer profesionales idóneos al servicio de la comunidad.

A nuestros jurados.

Eder Norberto Florez Solano y Alfredo Bohorquez Niño por su paciencia, disponibilidad y dirección en cada una de las etapas del proyecto.

A nuestros amigos.

Por el tiempo compartido dentro y fuera del aula de clase, por sus consejos, por su amistad incondicional, y por los gratos recuerdos que siempre llevaremos presente.

Índice

Capítulo 1. Análisis de falla para la boquilla de la extrusora de arcilla Souza MSL-320 de la Ladrillera Ocaña	14
1.1. Planteamiento del problema	14
1.2. Formulación del problema	15
1.3. Objetivos	15
1.3.1. General	15
1.3.2. Específicos	16
1.4. Justificación	16
1.5. Delimitaciones	17
Capítulo 2. Marco referencial	18
2.1. Marco Histórico	18
2.2 Marco Conceptual	21
2.3 Marco Teórico	33
2.4. Marco Legal	42
Capítulo 3. Metodología	43
3.1. Tipo de investigación	43
3.2. Etapas del proyecto	43
3.3. Cronograma	44
Capítulo 4. Recolección de muestras	46
Capítulo 5. Caracterización pasta cerámica y material de la boquilla	61
5.1. Recolección de muestras	61
5.2. Prueba de Dureza	62

5.3. Metalografía.....	66
5.3.1. Preparación de la muestra.....	67
5.3.2. Ataque químico.....	68
5.3.3. Fotomicrografía	69
5.4. Prueba de Espectrometría de chispa o arco	71
5.5. Difracción de Rayos X.....	74
5.6. Análisis Microscopio Electrónico de Barrio (SEM).....	83
5.7. Prueba de Abrasión.....	90
5.8. Análisis de resultados	93
Capítulo 6. Propuesta del nuevo material.....	96
6.1. Selección del material.....	96
6.2. Tratamiento térmico.....	98
6.3. Opción de mercado	99
Conclusiones.....	101
Recomendaciones	104
Referencias	105
Anexo 1. Resultados prueba de rugosidad.....	111
Anexo 2. Imágenes metalográficas.....	116
Anexo 3. Ficha técnica – Cia. General de Aceros S.A.....	119
Anexo 4. Ficha técnica – BÖHLER UDDEHOLM S.A.	126

Índice de figuras

Figura 1. Galletera de Hélice	25
Figura 2. Prensa de Vacío	25
Figura3. Boquilla	26
Figura 4. Dimensiones del bloque H-10	26
Figura 5. Área de contacto a) aparente; b) real.....	30
Figura 6. Microscopio electrónico de barrido.....	32
Figura 7. Tribosistema	34
Figura 8. Mecanismos de desgaste por abrasión	39
Figura 9. Modelo para el cálculo del desgaste abrasivo	40
Figura 10. Ladrillera Ocaña	46
Figura 11. Zona de Stock.....	47
Figura 12. Línea de producción	47
Figura 13. Extrusora SOUZA MSL-320	48
Figura 14. Boquilla Extrusora.....	48
Figura 15. Funcionamiento extrusora SOUZA MSL-320	49
Figura 16. Piezas suministradas por la ladrillera	57
Figura 17. Análisis visual - Evidencia de abrasión.....	57
Figura 18. Microscopio óptico marca OPTIKA	58
Figura 19. Toma de imágenes a 40X	58
Figura 20. a) Abrasión de bajo esfuerzo; b) Micro-agrietamiento (40X).....	58
Figura 21. Rugosímetro TIME-TR200	59
Figura 22. Prueba de rugosidad	60
Figura 23. Zona de Stock.....	61

Figura 24. Entrada de la extrusora.....	62
Figura 25. Ladrillos extruidos.....	62
Figura 26. Prueba de dureza en durómetro Mitutoyo HR-300	63
Figura 27. Puntos de toma de dureza - lateral a) Superficie; b) Centro.....	64
Figura 28. Puntos de toma de dureza - dado a) Superficie; b) Centro.....	65
Figura 29. Montaje de las muestras en resina y ataque químico. a) Dado; b) Lateral	69
Figura 30. Dado. Ataque con Nital (400X). Carburos precipitados en una base martensítica.....	69
Figura 31. Dado. Ataque con Kalling (400X). Carburos precipitados en una base martensítica.....	70
Figura 32. Lateral. Ataque con Nital (400X). Presencia de límite de grano	70
Figura 33. Lateral. Ataque con Kalling (400X). Carburos precipitados en una base martensítica.....	71
Figura 34. Muestras DRX.....	75
Figura 35. DRX – a) Limos o finos; b) Desgrasantes o gruesos	77
Figura 36. DRX - a) Stock; b) Ladrillo.....	79
Figura 37. Índices de Miller para el cuarzo. Plano (210)	80
Figura 38. Imagen SEM-EDS (600X) – Ladrillo	81
Figura 39. Imagen SEM- EDS (600X)-Limo	81
Figura 40. Imagen SEM-EDS (600X) – Desgrasante.....	82
Figura 41. Imagen SEM-EDS (600X) – Stock	82
Figura 42. Diagrama Hierro Carburo de Hierro	83
Figura 43. Imagen SEM-EDS (600X) – Lateral 01	85

Figura 44. Imagen SEM-EDS (600X) – Lateral 02.....	85
Figura 45. Imagen SEM-EDS (600X) - Lateral 03.....	86
Figura 46. Imagen SEM-EDS (600X) - Dado 01	87
Figura 47. Imagen SEM-EDS (600X) - Dado 02	87
Figura 48. Imagen SEM-EDS (600X) - Dado 03	88
Figura 49. Imagen SEM-EDS (600X) - Dado 04	88
Figura 50. Imagen SEM - Lateral (1000X). Ataque químico: a) Nital; b) Kalling ..	89
Figura 51. Imagen SEM - Dado (1000X). Ataque químico: a) Nital; b) Kalling....	89
Figura 52. Esquema general del equipo utilizado en la prueba de desgaste abrasivo	91
Figura 53. Probetas utilizadas en el ensayo de abrasión. a) Muestra 1; b) Muestra 2	92

Índice de tablas

Tabla 1. Cronograma	45
Tabla 2. Variación del peso del ladrillo - Boquilla 1	50
Tabla 3. Variación del peso del ladrillo – Boquilla 2	51
Tabla 4. Variación del peso del bloque - Boquilla 3	52
Tabla 5. Variación del peso del bloque - Boquilla 4	53
Tabla 6. Variación del peso del bloque - Boquilla 5	54
Tabla 7. Promedio de pérdida de peso en los bloques	55
Tabla 8. Rugosidad de la muestra.....	60
Tabla 9. Ensayo de Dureza Rockwell.....	63
Tabla 10. Resultados prueba de dureza - lateral de la boquilla	65
Tabla 11. Resultados prueba de dureza - Dado	66
Tabla 12. Procedimiento de pulido	67
Tabla 13. Reactivos de ataque químico más utilizados en pruebas metalográficas .	68
Tabla 14. Composición química	73
Tabla 15. Composición química AISI D2 (MatWeb-Material Property Data).....	74
Tabla 16. Muestras DRX	76
Tabla 17. Minerales presentes en la muestra de arcilla	77
Tabla 18. Escala de dureza de los minerales (Ingemecánica)	78
Tabla 19. Resultados prueba de desgaste abrasivo	92
Tabla 20 Composición química acero AISI D6.....	98
Tabla 21 Propiedades mecánicas AISI D6 (MatWeb).....	98

Capítulo 1. Análisis de falla para la boquilla de la extrusora de arcilla

Souza MSL-320 de la Ladrillera Ocaña

1.1. Planteamiento del problema

La Ladrillera Ocaña es la principal proveedora de bloque H-10 en la zona de la provincia de Ocaña. Este bloque es utilizado en la mampostería de obras civiles, caracterizado principalmente por llevar perforaciones que reducen su peso y volumen, facilitando el corte y el manejo del mismo.

La arcilla utilizada en la fabricación del bloque H-10 es sometida a diferentes procesos mediante los cuales se busca lograr una mezcla homogénea y libre de impurezas para su posterior extrusión; en este proceso, cuando la arcilla se encuentra en su punto final de preparación, se traslada por bandas transportadoras a la extrusora, donde se logra mayor homogenización y compactación de la mezcla a través de un tornillo sin-fin para posteriormente impulsarla hacia la boquilla o perfil que dará la forma y dimensiones del bloque (10 cm x 33 cm x 20 cm).

Dentro de esta fase, la ladrillera tiene previsto un rango de variación del peso del bloque comprendido entre 5.8 Kg y 6.2 Kg, el cual depende del desgaste de la boquilla, para lo que es necesario realizar el cambio de la misma periódicamente en un tiempo de trabajo promedio de 96 horas (8 horas por día, seis días a la semana).

Actualmente, las boquillas que se encuentran funcionando en la Ladrillera Ocaña son manufacturadas en la Ciudad de Cúcuta y Bucaramanga. Se ha encontrado que estas boquillas no están cumpliendo con el tiempo de trabajo requerido, llegándose a presentar

casos donde no sobrepasan las 20 horas de funcionamiento. Esto representa un problema para la empresa ya que el constante cambio de los perfiles representa un gasto adicional de operación que la Ladrillera debe suplir.

Adicionalmente, la Ladrillera tiene como meta diaria una producción de 23.500 ladrillos, nivel que no se ha cumplido en el último año debido a las paradas generadas por las fallas o daños en la boquilla de la extrusora, que han obligado a realizar su cambio para poder continuar con la producción. Por el costo de la boquilla y las dificultades logísticas para adquirirlas rápidamente el personal encargado del mantenimiento ha tenido que reacondicionar algunas que ya estaban dañadas, con lo que el problema se ha incrementado obligando a paradas constantes.

En los dos últimos meses se han comprado boquillas ofrecidas por un proveedor en la ciudad de Cúcuta a un mejor costo, las cuales al igual que las anteriores no cumplen con los requerimientos de trabajo de la ladrillera y se deterioran rápidamente.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál debe ser el material y cómo debe construirse la boquilla de la extrusora de la Ladrillera Ocaña para que de acuerdo a las características fisicoquímicas de la arcilla trabaje 96 horas produciendo bloques que pesen entre 5.8 Kg y 6.2 Kg?

1.3. Objetivos

1.3.1. General.

Realizar un análisis de falla de la boquilla de la extrusora SOUZA MSL-320 de la Ladrillera Ocaña para seleccionar el material y el método de fabricación indicado

1.3.2. Específicos

- Describir el tipo de falla presentada en el desgaste de la boquilla
- Caracterizar el material de la boquilla y de la pasta cerámica mediante pruebas fisicoquímicas
- Proponer el material y el proceso de fabricación para la boquilla que resista las horas de trabajo

1.4. Justificación

Este proyecto pretende brindar a la Ladrillera Ocaña un nuevo diseño para la boquilla empleada en la extrusora de bloques H-10, de forma que cumpla con las condiciones de trabajo y se desgasten en un tiempo superior a las 96 horas de operación establecidas por la empresa.

Para garantizar el funcionamiento de la boquilla durante el tiempo requerido por la ladrillera sin que se presente variaciones de peso en el bloque, se considerará las características fisicoquímicas de la pasta de arcilla, con base en las cuales, se definirá el material y los tratamientos o recubrimientos necesarios para evitar el desgaste prematuro por abrasión que actualmente se viene presentado en la boquilla durante la compresión de la pasta en la extrusora.

El proyecto definirá el material y el proceso de construcción de la boquilla de forma que disminuya el costo final de esta pieza, y permita la posibilidad que pueda ser fabricada en la ciudad de Ocaña.

1.5. Delimitaciones

1.5.1. Geográfica. El trabajo se realizará en la ladrillera Ocaña, ubicada vía la Rinconada en el municipio de Ocaña Norte de Santander, Colombia.

1.5.2. Conceptual. En el desarrollo del proyecto se trataran temas relacionados con el análisis de falla, mecánica forense, diseño mecánico, resistencia de materiales y propiedades fisicoquímicas de los materiales.

1.5.3. Operativa. El proyecto se desarrollará con base en los parámetros dados por la Ladrillera Ocaña y con la asesoría del director del mismo, teniendo como apoyo información brindada por parte del jefe de mantenimiento de la empresa para poder realizar los objetivos del proyecto.

1.5.4. Temporal. En la investigación se tomará un lapso de tiempo de 8 a 12 semanas comprendidas entre los meses de junio y agosto del año 2017 con lo cual se buscara un material y la forma de construcción de las piezas que conforman la boquilla de la extrusora de la ladrillera Ocaña.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1. Marco Histórico

El ladrillo es el material de construcción más antiguo utilizado por el hombre. La versión primitiva del ladrillo tradicional es conocida como Adobe (Medina Espinosa, pág. 5), que proviene del árabe “atob” y significa ladrillo secado al sol; el cual estaba compuesto por arena, arcilla y agua y a veces con fibra o material orgánico como pajas, ramas o estiércol.

Se sabe que el Ladrillo se originó en las antiguas civilizaciones del Medio Oriente que tenían sus centros en territorios que hoy corresponden a Irak e Irán aproximadamente (Bianucci, pág. 3). Dentro de estas se destaca la cultura Mesopotámica, ubicada entre los ríos Tígris y Eúfrates en donde desarrolló toda una arquitectura de ladrillos (Medina Espinosa, pág. 3), encontrándose una de las primeras pirámides construidas por el hombre llamada Zigurat, la cual consistía en una pirámide artificial de ladrillo y lodo de 53 metros de altura con escaleras ceremoniales que conducían al templo en la parte superior (Medina Espinosa, pág. 11), cuyo fin era ser usado como altar para adorar y ofrecer sacrificios a los dioses. Estos altares también eran utilizados como puestos de observación astronómica.

El principal problema del Adobe era su rápido deterioro al entrar en contacto con el agua. Es por ello que en regiones que presentaban grandes precipitaciones se comenzaron a desarrollar técnicas de cocción que permitieran elevar su resistencia a la erosión. A partir de allí se comenzó a expandir el uso del ladrillo en la mampostería de la época.

En sus inicios, el proceso de Fabricación del Ladrillo tomaba un largo tiempo. Por ejemplo, en Roma, se requería que los ladrillos secados al sol tuvieran un tiempo de al

menos cinco años antes de ser utilizados en las construcciones y generalmente eran de forma plana rectangular, con algunas variaciones según la necesidad de la obra (Medina Espinosa, pág. 6).

Las primeras fábricas de ladrillos operaban de forma artesanal, muy similar a lo que hoy conocemos como “Chircales”. La primera máquina para fabricar ladrillos fue patentada en 1619, lo que constituye el primer paso para la tecnificación del proceso de fabricación de ladrillos (Medina Espinosa, pág. 6), pero no se tienen registros de la puesta en marcha de la misma. En 1850, Carlos Federico Schilckeyesen, construye la primera máquina moldeadora de ladrillo, accionada por un caballo, de la cual se tienen registros de funcionamiento. En 1858, construye la primera máquina a vapor. (Asociación de Ladrilleros del Sur Occidente Colombiano, 2012).

Los prototipos iniciales producían de 20 a 25 toneladas de ladrillo al día. A medida que se fueron tecnificando los diferentes procesos al integrar equipos mecánicos con mayor capacidad de potencia y fuerza a las maquinas moldeadoras ya existentes, se fue mejorando las características de los ladrillos producidos, dando inicio a la producción industrial de los ladrillos con perforaciones.

En el año 1858, Hoffman y Lech, construyeron el primer horno continuo, de forma circular, el cual permitía la carga y descarga en una zona mientras se quemaba en otra. A este tipo de horno se le hicieron diferentes modificaciones en su forma, pero manteniendo el mismo principio de funcionamiento, hasta llegar al que hoy conocemos como “Horno Hoffman” (Medina Espinosa, pág. 6)

Posteriormente, aparece la necesidad de obtener un producto más compacto y liviano, y es allí en donde se empiezan a realizar intentos por extraer el aire a la arcilla, y es así como a principios del siglo XX, año 1902, la fábrica Bonnot Company, de Canton (OIHO-USA), lanzó al mercado la primera máquina moldeadora de ladrillo con extracción de aire, “Máquina con Vacío” (Asociación de Ladrilleros del Sur Occidente Colombiano, 2012).

Los diferentes avances tecnológicos desarrollados en la época, permitieron que se diversificaran los diferentes tipos de ladrillos y se generalizara su uso en todo tipo de construcciones.

En Colombia, la alfarería y la cerámica tienen aproximadamente 5900 años de antigüedad, cuya evidencia radica en algunos sitios con certeza de ocupación humana como los de San Jacinto, 3.900 a. C.; Canapote, 1940 a. C.; y Barlovento, 1550 a. C. En la Sabana de Bogotá se practicaba la alfarería 1300 a. C., considerada una de las más antiguas del país (Molina Prieto, 2010).

Una de las primeras fábricas de ladrillos conocidas en el país se encontraba en la ciudad de Bogotá, en la localidad de San Cristóbal. Esta fábrica se instaló a finales del siglo XIX y ya para comienzos del siglo XX era una de las principales proveedoras de ladrillos de la región.

En la provincia de Ocaña, la producción de ladrillos convencionales se dio a través de los ya conocidos chircales, presentes en zonas con grandes yacimientos de arcilla. Es así como en el año de 1993 un campesino propietario de una parcela que producía materiales

de arcilla en forma artesanal y con caballo, se planteó la necesidad de industrializar esta actividad implementando recursos tecnológicos y humanos apropiados.

Posteriormente, en el segundo semestre de 1993 se reúnen cuatro socios y constituyen la empresa Hora Ltda., en donde adquirieron por primera vez un molino, un amasador y una extrusora de marca Souza en una feria industrial realizada en Bogotá, y además se logra importar maquinaria y tecnología de fábricas similares del país. De igual manera, se construye un horno con capacidad de 40000 piezas mensuales y un secadero al natural de tan solo $130m^2$.

Esta empresa fue fundada por Hugo Montaña Caviedes, Oliver Montaña Caviedes, Rogelio Silva Cadena y Adolfo Ibañez Gallardo; inicia con doce (12) trabajadores de la parte operativa y (tres) 3 de la parte administrativa. Posteriormente, cambió su razón social a “Ladrillera Ocaña”.

2.2 Marco Conceptual

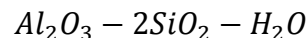
Arcilla: La arcilla es una roca sedimentaria descompuesta constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de rocas que contienen minerales de aluminio. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo cuando tiene altos contenidos en óxido de hierro que suelen estar por encima del 2-2.5% hasta el blanco cuando es pura (Diaz Rogriguez & Torrecillas, 2002).

Poseen un comportamiento físico característico frente al agua el cual es la plasticidad, llegando a endurecerse cuando son secadas o sometidas a tratamientos térmicos a altas temperaturas.

La Norma Técnica Colombiana NTC 4051 define la arcilla como un material agregado de origen mineral, de consistencia terrosa o pétreo, compuesto esencialmente de silicatos hidratados de alúmina, capaz de tornarse plástico con la adición limitada de agua, rígido cuando esté seco, y pétreo cuando es sometido a temperatura suficientemente alta (ICONTEC, 2005).

Se le considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa; su tamaño de grano puede variar según el punto de partida para su análisis, siendo para los químicos que estudian los coloides de un tamaño de grano de fino ($< 1\mu m$), ($< 2\mu m$) para los mineralogistas e investigadores del suelo y, ($< 4\mu m$) según los sedimentólogos (Díaz Rogriguez & Torrecillas, 2002).

Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es:



Las principales propiedades a destacar de la arcilla es su contracción después del secado, la capacidad para resistir aumentos de temperatura sin sufrir alteraciones, su porosidad de acuerdo a la temperatura de cocción y la plasticidad, que corresponde a la cantidad de agua que hay que añadirle para que pueda conformarse (Cún Sánchez , 2010)

Las arcillas pueden clasificarse en comunes y especiales. Las arcillas comunes son las utilizadas, principalmente, en el sector cerámico de la construcción y en alfarería. Su constitución mineralógica es muy variada y posee minerales arcillosos fundamentalmente del grupo de las micas (illitas, moscovitas, etc.) y en menor proporción los de los grupos del caolín, cloritas, esmectitas y hormitas. Además, contiene desgrasantes como el cuarzo,

los carbonatos, etc., que hacen que sus propiedades cerámicas sean muy variadas (Díaz Rogríguez & Torrecillas, 2002).

Las arcillas especiales no tienen una amplia representatividad en el campo cerámico. El término “arcillas especiales” engloba a un conjunto de arcillas comerciales con propiedades físicas determinadas, destacando sus propiedades reológicas (relación entre esfuerzo y deformación), su alta superficie específica y su alto poder de adsorción (Díaz Rogríguez & Torrecillas, 2002).

Ladrillo: Los ladrillos son pequeñas piezas cerámicas en forma de paralelepípedo, formadas por tierras arcillosas, moldeadas, comprimidas y sometidas a una cocción. Pueden utilizarse en toda clase de construcciones por ser su forma regular y fácil su manejo (Moreno, 1981).

El ladrillo está destinado principalmente a la construcción de muros, tabiques, suelos, entre otros, por lo que debe ser resistente a los efectos de la intemperie, y poseer suficiente resistencia a la compresión. Para ser usado en la albañilería debe poseer las siguientes características generales: estar bien moldeado para dar lugar a caras planas, lados paralelos y bordes y ángulos agudos; ser poroso; contar con una geometría homogénea y tener un punto de cocción exacto que no anule su resistencia al quedar requemado pero que tampoco quede tan blando para que este no se desmorone (Gallegos, 2005) (Moreno, 1981).

Ladrillera: La ladrillera es una fábrica para producir ladrillos de diferente forma y tamaño, cuya materia prima es la arcilla. Existen dos tipos: artesanal e industrial. En la ladrillera artesanal, más conocida como “Chirca”, el ladrillo es fabricado con procedimiento predominantemente manuales: se desarrollada principalmente por

campesinos cuyas propiedades cuentan con yacimientos cercanos de arcilla. La mezcla y homogenización de la arcilla se realiza al aire libre con la ayuda de un buey o un caballo, y el moldeo lo lleva a cabo un operario utilizando un molde hecho en madera; la cocción del ladrillo se realiza en un horno artesanal cuyo combustible principal es el carbón, aunque en ciertas ocasiones puede emplearse derivados de la madera como el aserrín. El Ladrillo producido se caracteriza por variaciones unidad a unidad.

Por su parte, la ladrillera industrial, como su nombre lo indica, cuenta con intervención tecnológica en cada uno de sus procesos. Existe maquinaria destinada a amasar, moldear y extruir la pasta de arcilla y hornos más sofisticados que permiten una cocción pareja del producto, con funciones de control de temperatura y tiempos de cocción, logrando una mejor calidad del producto. El ladrillo producido se caracteriza por su uniformidad.

Extrusión del ladrillo: Se entiende por extrusión como un proceso de transformación en el cual la maquina extrusora recibe material, en forma sólida o fundida, y lo hace pasar por una boquilla estrecha para obtener una pieza de sección transversal constante y longitud indefinida. Es un procedimiento industrial que permite obtener barras de diferentes formas, generalmente complejas (Cún Sánchez , 2010)

Para la fabricación mecánica del ladrillo se utiliza una máquina conocida como Galletera de Hélice o mediante una prensa al vacío (Moreno, 1981).

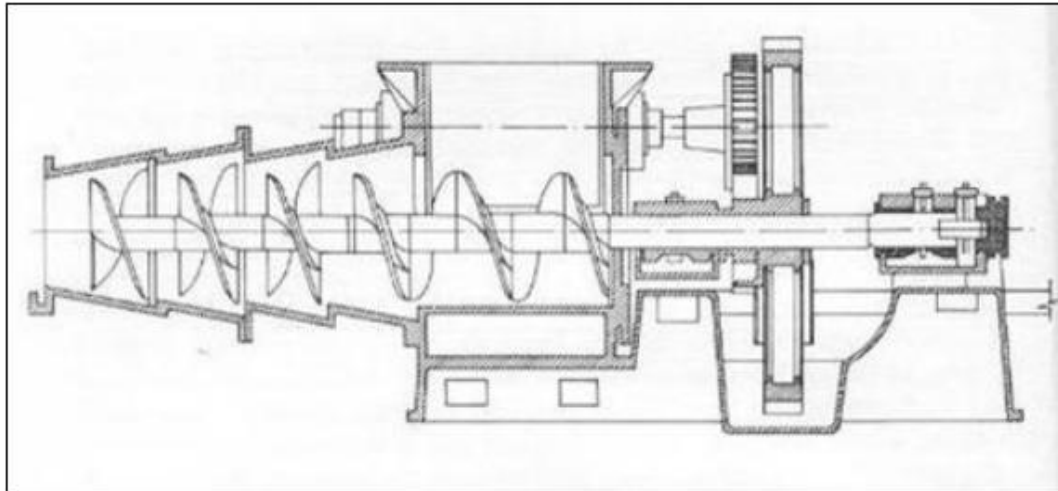


Figura 1. Galletera de Hélice

Fuente: (Moreno, 1981)

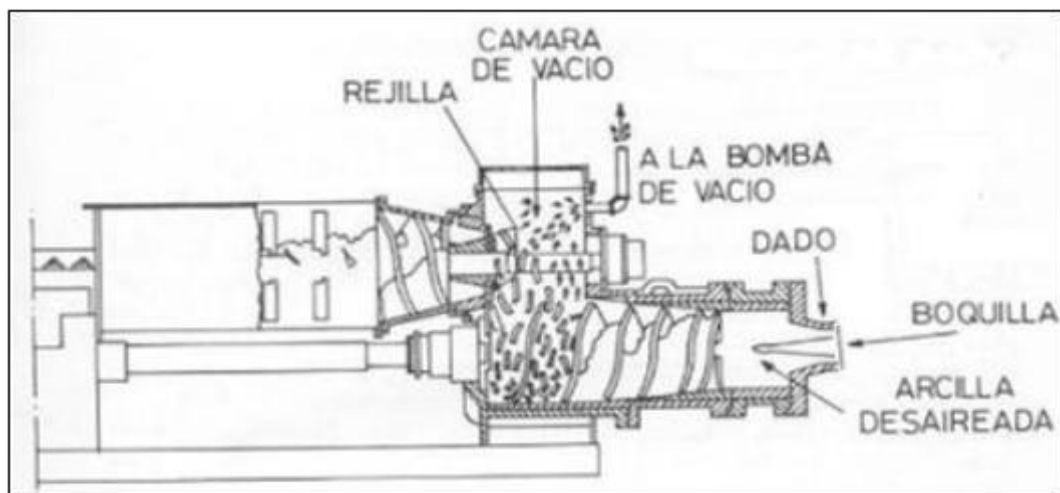


Figura 2. Prensa de Vacío

Fuente: (Moreno, 1981)

Actualmente, las máquinas utilizadas en la industria ladrillera son las prensas de vacío también conocidas como extrusoras al vacío, empleadas principalmente en la fabricación de ladrillo hueco (bloque). Esta máquina permite el moldeo de la pasta cerámica a la vez que efectúa un vacío para mejorar la cohesión entre las distintas partículas de la misma, evitando posibles laminaciones y defectos debidos a la presencia de burbujas de aire (Velilla Diaz, 2008).

Boquilla: La boquilla es una pieza sujeta con tornillos a una gruesa placa rectangular de fundición llamado porta boquillas. La misión de esta pieza es darle forma al ladrillo. El porta boquillas es el que recoge la arcilla y la hace compacta antes de llegar a la boquilla.

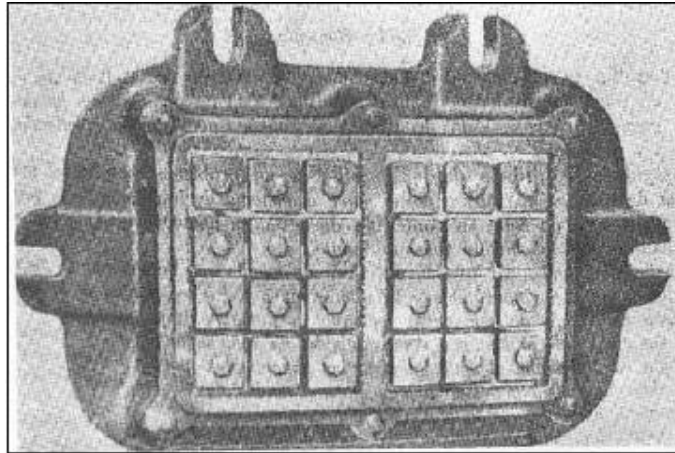


Figura3. Boquilla

Fuente: (Moreno, 1981)

Bloque H-10: Es un ladrillo caracterizado por llevar perforaciones que reducen su peso y volumen. Las características morfológicas o dimensionales del bloque se describen a continuación:

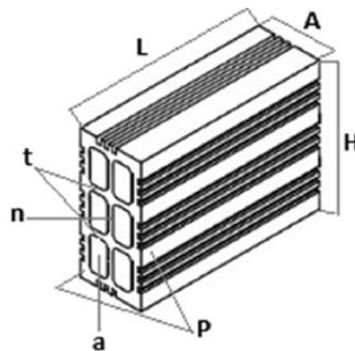


Figura 4. Dimensiones del bloque H-10

Fuente: (Rozo Rincón, Sánchez Molina , & Álvarez Rozo, 2014)

Dónde:

L= Largo (cm)

A= Ancho (cm)

H= Alto (cm)

P= Espesor más pequeño de las paredes (mm)

T= Espesor más pequeño de los tabiques (mm)

N= Espesor del nervio (mm)

Tribología: La Tribología es la ciencia y tecnología que estudia las superficies que están en contacto y movimiento relativo, así como los fenómenos que de ellos se derivan. Por lo que la fricción, desgaste y lubricación son tópicos fundamentales de esta ciencia (Stolarski T. , 1991).

Desgaste: De acuerdo a la norma DIN 50320, el desgaste se define como la pérdida progresiva de material de la superficie de un cuerpo sólido. Esta pérdida de material es ocasionada por fenómenos mecánicos y químicos, el material removido puede ser expulsado, transferido a la otra superficie o quedar atrapado dentro del sistema (HEINZ & GAHR, 1987).

El desgaste en la industria no ocasiona fallas violentas, pero genera consecuencias funcionales, tales como:

- Reducción de la eficiencia
- Mayor consumo de energía

- Pérdidas de potencia y la generación de calor en los componentes, debido al aumento de los coeficientes de fricción.
- Incremento del consumo de lubricantes
- Reemplazo de componentes desgastados.

Si se agrupan los ítems mencionados anteriormente, se pueden determinar los tiempos muertos de la maquinaria y su gran impacto económico; por ello, en la actualidad la industria en general, se ha interesado en el estudio de los fenómenos y beneficios tribológicos, que se pueden tener, si son bien aplicados (López López, 2004).

Fricción: La palabra fricción proviene del latín “Fricare” que significa rozamiento o frotamiento. Se manifiesta como una pérdida gradual de energía cinética cuando dos cuerpos se encuentran en contacto y movimiento relativo. Definiéndose como: la fuerza de resistencia al movimiento de un cuerpo, cuando este se desplaza sobre otro, siendo ésta fuerza tangencial a la interface y en sentido contrario al desplazamiento (ASM International , 1992). Ocasionando un consumo de energía, por ello es que a dicha fuerza se le puede definir, basándose en la primera ley termodinámica, como; el trabajo realizado debido a la fuerza de fricción, es igual a la suma del incremento de la energía interna y la energía disipada (P., 1986).

El físico francés Guillaume Amontons en 1699 estableció cuantitativamente las leyes de fricción. Posteriormente en 1748, Euler intentó explicar la diferencia entre el coeficiente estático y dinámico, pero no fue hasta 1785 que José Marie Coulomb estableció la tercera ley fundamental de este fenómeno.

1ª ley: la fricción es independiente del área aparente de contacto.

2ª ley: la fuerza de fricción, es proporcional a la carga normal W aplicada.

3ª ley: la fricción es independiente de la velocidad de deslizamiento.

Cabe señalar que el coeficiente de fricción para metales, como lo señala la 3ª ley de fricción, es independiente a la velocidad de deslizamiento, pero solo hasta 10 m/s, ya que después de este valor, el coeficiente de fricción disminuye cuando aumenta la velocidad (Hutchings, 1992).

Lubricación: Que se define como suministrar, aplicar a elementos una sustancia o compuesto, ya sea grasoso o aceitoso, que disminuya el roce, fricción o frotación entre superficies que están en contacto, con el fin de aminorar efectos de la fricción (Stolarski T. , 1991)

Contacto Mecánico: El comportamiento de los fenómenos de fricción y desgaste que se manifiestan en las superficies de los sólidos que se encuentran en contacto y movimiento relativo, es consecuencia del tribosistema donde se localizan, así como de las propiedades geométricas, mecánicas, físicas y químicas de los mismos. Las propiedades geométricas involucran lo referente a las formas y al contacto de las superficies así como a la distribución y configuración de las asperezas en la superficie. Las propiedades mecánicas, incluyen los módulos de elasticidad, dureza, parámetros de fatiga, etc. Mientras que las propiedades físicas se ocupan de las características de endurecimiento y las constantes de difusión en materiales. Por último las propiedades químicas hacen referencia a la composición y polaridad de las superficies.

El contacto mecánico se encuentra dentro de los parámetros geométricos, se presenta cuando dos superficies se encuentran deslizando una con respecto a otra, donde existen dos áreas de contacto, la aparente y la real, donde la primera es el área de las superficies que están en contacto, como lo muestra la figura

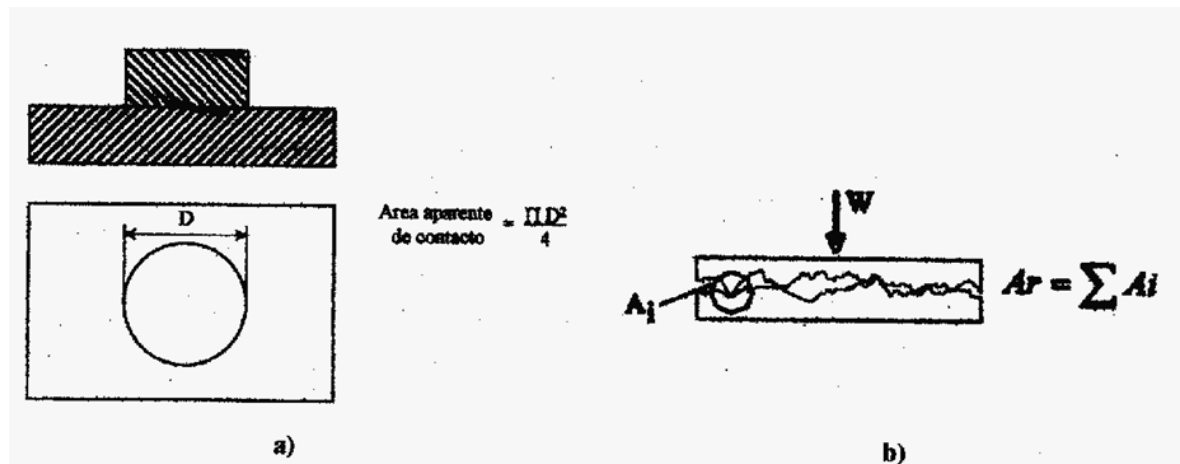


Figura 5. Área de contacto a) aparente; b) real

Fuente: (López López, 2004)

Dureza: Se llama dureza al grado de resistencia a la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura, las deformaciones permanentes, entre otras que ofrece un material. La dureza es una condición de la superficie del material y no representa ninguna propiedad fundamental de la materia. Se evalúa convencionalmente por dos procedimientos. El más usado en metales es la resistencia a la penetración de una herramienta de determinada geometría.

El ensayo de dureza es simple, de alto rendimiento ya que no destruye la muestra y particularmente útil para evaluar propiedades de los diferentes componentes microestructurales del material.

Los métodos existentes para la medición de la dureza se distinguen básicamente por la forma de la herramienta empleada (penetrador), por las condiciones de aplicación de la carga y por la propia forma de calcular (definir) la dureza. La elección del método para determinar la dureza depende de factores tales como tipo, dimensiones de la muestra y espesor de la misma (Pereira, 2015)

Metalografía: La metalografía es una disciplina de la ciencia que se encarga de examinar y determinar los componentes en una muestra de metal, haciendo uso de Varios niveles de magnificación que pueden ir desde 20x hasta 1'000.000x (ASM International , 2004). También se conoce como el proceso entre la preparación de una muestra de metal y la evaluación de su microestructura (Askeland & Phulé, 2004).

El estudio de metalografía comprende en gran parte la observación de granos, la dirección, el tamaño y la composición de los mismos; estas microestructuras pueden ser observadas en un rango entre 10^{-8} m y 10^{-2} m.

El estudio de metalografía puede integrarse en dos subdivisiones: Análisis macroscópico y Análisis microscópico.

Microscopía Electrónica de Barrido (Scanning Electron Microscope, SEM): El microscopio electrónico de barrido, conocido por sus siglas inglesas SEM, utiliza electrones en lugar de luz para formar una imagen. Para lograrlo, el equipo cuenta con un dispositivo (filamento) que genera un haz de electrones para iluminar la muestra y con diferentes detectores se recogen después los electrones generados de la interacción con la superficie de la misma para crear una imagen que refleja las características superficiales de

la misma, pudiendo proporcionar información de las formas, texturas y composición química de sus constituyentes (Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid).

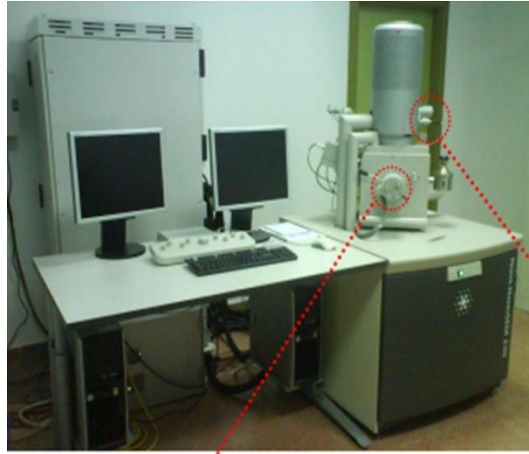


Figura 6. Microscopio electrónico de barrido

Fuente: (Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid)

Difracción de rayos X: La difracción de rayos X es uno de los fenómenos físicos que se producen al interaccionar un haz de rayos X, de una determinada longitud de onda, con una sustancia cristalina. Se basa en la dispersión coherente del haz de rayos X por parte de la materia (se mantiene la longitud de onda de la radiación) y en la interferencia constructiva de las ondas que están en fase y que se dispersan en determinadas direcciones del espacio.

El fenómeno de la difracción puede describirse con la Ley de Bragg, que predice la dirección en la que se da interferencia constructiva entre haces de rayos X dispersados coherentemente por un cristal:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

La difracción de rayos en muestra policristalina permite abordar la identificación de fases cristalinas (puesto que todos los sólidos cristalinos poseen su difractograma

característico) tanto en su aspecto cualitativo como cuantitativo. Los estudios de polimorfismo, transiciones de fase, y soluciones sólidas, medida del tamaño de partícula, determinación de diagramas de fase, etc., se realizan habitualmente por difracción de rayos X.

En algunos casos, es interesante realizar el estudio de la evolución térmica de los difractogramas (termodifractometría) para conocer la evolución de la cristalinidad de la muestra, caracterizar los procesos de descomposición térmica, los cambios de fase que tienen lugar, etc. (Universidad del País Vasco, 2006)

2.3 Marco Teórico

2.3.1. Tribología. La palabra Tribología, proviene del griego (τριβοσ) que significa fricción o rozamiento y (λογος) que significa estudio. Etimológicamente significa estudio de los fenómenos de fricción o rozamiento. El concepto de Tribología fue usado por primera vez por el profesor Peter Jost el 09 de Marzo de 1966 en un informe elaborado para la Comisión del Ministerio de Educación y Ciencia de la Gran Bretaña, y la definió como: “La ciencia y la tecnología que estudia las superficies que están en contacto y movimiento relativo así como los fenómenos que de ello se derivan” (Stolarski T. A., 1983). Por lo tanto, la fricción, el desgaste y la lubricación son objeto de estudio de esta ciencia.

La fricción está ligada con la ingeniería mecánica y la física; el desgaste es parte de la ciencia de materiales y de la física; y la lubricación es una rama de la química. En conjunto, junto con el medio ambiente y el material, forman lo que se conoce como tribosistema (Stolarski T. A., 1983).

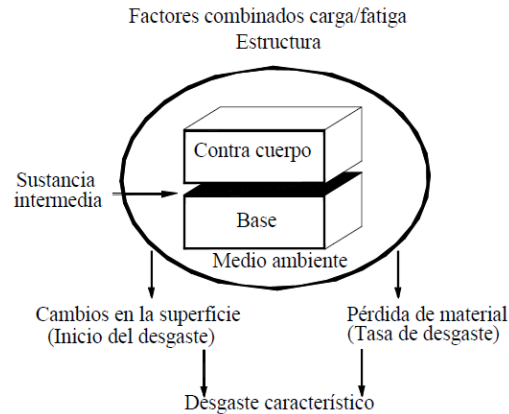


Figura 7. Tribosistema

Fuente: (López López, 2004)

2.3.2. Desgaste. La norma DIN 50320, define el desgaste como la pérdida progresiva de material de la superficie de un cuerpo sólido. Esta pérdida de material es ocasionada por fenómenos mecánicos y químicos, el material removido puede ser expulsado, transferido a la otra superficie o quedar atrapado dentro del sistema (HEINZ & GAHR, 1987), y en ocasiones provocar daños superficiales intensos y con ello la destrucción total o parcial de la pieza.

El desgaste puede generar consecuencias funcionales entre las que se pueden destacar (Gutierrez Quintero , 2014):

- Reducción de la eficiencia
- Mayor consumo de energía
- Pérdidas de potencia y la generación de calor en los componentes, debido al aumento de los coeficientes de fricción.
- Incremento del consumo de lubricantes
- Reemplazo de componentes desgastados.

2.3.3. Tipos de Desgaste. Según Zum Gahr (HEINZ & GAHR, 1987), Stolarsky (Stolarski T. A., 1983) y de acuerdo con la norma DIN 50320 los cuatro principales tipos de desgaste o alguna combinación de ellos, son los siguientes (Gutierrez Quintero , 2014):

2.3.3.1. Desgaste por abrasión: Remoción de material debido al rayado u otra acción, generalmente ocasionado por las duras asperezas de una superficie o partículas libres duras que se deslizan sobre una superficie más blanda.

2.3.3.2. Desgaste por adhesión: En los puntos de contacto de dos superficies en deslizamiento, puede ocurrir una adhesión momentánea entre las asperezas de cada superficie, y con el movimiento, los contactos son cortados. Este mecanismo se basa en la formación y rompimiento de uniones adhesivas en las interfaces.

2.3.3.3. Desgaste por fatiga superficial: Fatiga y formación de grietas en regiones de la superficie debido a esfuerzos cíclicos que posteriormente ocasionan la separación del material.

2.3.3.4. Desgaste por Corrosión o químico: También conocido como desgaste triboquímico. Consiste en la formación de productos de reacciones químicas como un resultado de interacciones químicas entre los elementos del tribosistema o cuando ocurre el deslizamiento de dos superficies en ambientes corrosivos.

Otras clasificaciones de los mecanismos de desgaste son mucho más amplios, en las que adicionalmente se incluyen las siguientes categorías:

2.3.3.5. Desgaste por impacto o erosión: Comprende dos tipos de fenómenos de desgaste; el erosivo y el de percusión. La erosión puede ocurrir por chorros y flujos de partículas sólidas pequeñas transportadas dentro de un fluido, en general aire o

agua, y todo este conjunto golpea la superficie. La percusión ocurre por impactos repetitivos de cuerpos sólidos de mayor tamaño.

2.3.3.6. Desgaste por cavitación. Ocurre cuando pequeñas cantidades de vacíos (burbujas) se forman en un fluido sometido a grandes velocidades u ondas de gran energía y golpean a la superficie provocando su erosión debido a grandes presiones transitorias especialmente durante el colapso de las burbujas.

2.3.3.7. Desgaste por vibración: Sucede cuando hay movimiento oscilatorio de baja amplitud en la dirección tangencial entre las superficies de contacto que están nominalmente en reposo.

2.3.4. Desgaste Abrasivo. La Norma ASTM G40-92 define el desgaste abrasivo como la pérdida de masa resultante de la interacción entre partículas o asperezas duras que son forzadas contra una superficie y se mueven a lo largo de ella (UTP, 2004) . Las partículas abrasivas pueden ser las propias asperezas de la superficie o bien el producto del desgaste de las mismas que tienden a cortar y/o arrancar material de la superficie, generando virutas y/o causando deformación plástica severa (superficial y subsuperficial) (Márquez, 2002).

2.3.4.1. Tipos de desgaste abrasivo. El desgaste abrasivo ocurre cuando dos o más superficies entran en contacto, generándose mayor daño en alguna de ellas, y a la que sufrió menor daño se le denomina superficie abrasiva. La magnitud del daño producido depende de la cantidad de partículas abrasivas en ambas superficies, la velocidad de contacto, condiciones ambientales, temperatura y fuerza ejercida en ambas superficies (Gutierrez Quintero , 2014).

El desgaste se puede clasificar en dos categorías (Gutierrez Quintero , 2014):

- **De acuerdo al tipo de contacto.** Puede ser abrasión de dos y tres cuerpos, tal como se especifica a continuación.
 - **Abrasión de dos cuerpos.** Ocurre cuando una superficie irregular de un material es presionada contra otra con menor dureza.
 - **Abrasión de tres cuerpos.** Se presenta cuando existen partículas con una dureza superior atrapadas en medio de dos superficies. La fuerza aplicada se transmite a través de las partículas abrasivas.

El desgaste abrasivo de tres cuerpos es de 2 a 10 veces menos intenso que el de dos cuerpos, debido a que solamente una pequeña porción de las partículas abrasivas entre las superficies causa el desgaste y debido a las variaciones en el ángulo de ataque de las partículas libres.

- **De acuerdo al nivel de daño sufrido**
 - **Abrasión de bajo esfuerzo o rayado.** Desgaste que ocurre debido a un frotamiento relativamente suave de partículas abrasivas contra superficies o elementos metálicos. Las cargas son lo suficientemente bajas de tal modo que las partículas no se desintegran o se rompen. Generalmente el daño se presenta en forma de rayado y la deformación de la superficie es mínima.
 - **Abrasión de alto esfuerzo o desbaste.** Es aquella donde la fuerza ejercida entre las dos superficies es lo suficientemente alta como para triturar las partículas; en este tipo de abrasión aparece la deformación plástica, así como el rayado y el picado del material, debido a las partículas presionadas sobre el cuerpo.

- **Abrasión por surcos o ranuración (Gouging).** Se refiere a la remoción de material debido a la acción repetitiva de altas cargas compresivas producidas por partículas grandes como rocas, dejando a su paso grandes surcos en la superficie gastada.
- **Abrasión por pulido.** Es un desgaste muy suave donde la abrasión es muy fina, el material se remueve por medio de frotamientos contra otras superficies, el rayado es poco visible y no hay fractura ni deformación plástica.

2.3.4.2. Mecanismos de desgaste abrasivo. El mecanismo de desgaste es la forma en que es arrancado el material o deformada la superficie de una pieza. Inicialmente se pensó que el desgaste abrasivo por partículas o asperezas duras sobre una superficie blanda, se asemeja al proceso de corte que realiza una herramienta a un material. Sin embargo, exámenes microscópicos revelan que dicho proceso de desgaste se aproxima y puede ser simulado por el corte que realiza la aspereza más afilada de la superficie dura sobre la superficie blanda. Es así, como este desgaste conforme a la interacción de las asperezas duras con el material blando se subdivide en los siguientes mecanismos: microarado, microcorte, microfatiga y microagrietamiento (Gutierrez Quintero , 2014).

El microarado se debe al paso de una partícula abrasiva que no produce desprendimiento de material de una superficie desgastada, el material desplazado se acumula delante de la partícula formando un surco.

La microfatiga ocurre cuando hay desprendimiento de material producido por el arado continuo de las partículas que se encuentran en la superficie. Cuando la partícula abrasiva o aspereza penetra la superficie liberando material se presenta el microcorte. Las

microgrietas pueden ocurrir por las altas concentraciones de tensión de la superficie frágil cuando se desliza una partícula produciendo desprendimiento de material en la superficie (Gutierrez Quintero , 2014).

El microarado y el microcorte son los fenómenos fundamentales en la mayoría de los metales dúctiles y dependen principalmente del ángulo de ataque de las partículas abrasivas.

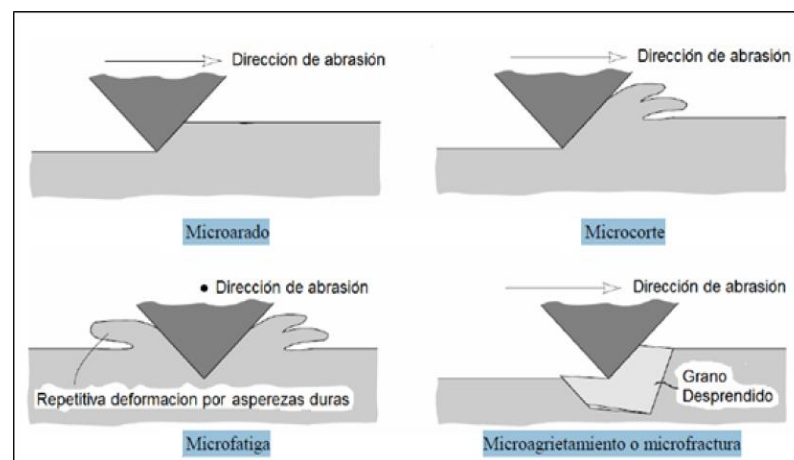


Figura 8. Mecanismos de desgaste por abrasión

Fuente: (Gutierrez Quintero , 2014)

2.3.4.3. Ecuaciones para el cálculo del desgaste abrasivo. El desgaste está relacionado con la pérdida de dimensiones o el cambio en la geometría del elemento, por tal razón, la unidad más utilizada para cuantificar el daño en la superficie, es el volumen. Estos cambios y la pérdida de volumen se relacionan a través de la geometría del surco, teniendo en cuenta que no siempre la relación entre volumen y dimensión de desgaste es necesariamente lineal. En algunos casos sólo se utiliza la pérdida de masa por su facilidad de medición (Gutierrez Quintero , 2014).

Las ecuaciones utilizadas para el desgaste abrasivo de dos y tres cuerpos se pueden desarrollar a partir del desgaste producido por un sólo grano o partícula abrasiva. Para estas ecuaciones se considera una partícula cónica, como la ilustrada en la figura 7, la cual es presionada contra una superficie más suave, de tal manera que al comenzar un movimiento relativo el grano produce un surco en la otra superficie, cuyo volumen es el área seccional de la indentación por la distancia de deslizamiento (Gutierrez Quintero , 2014).

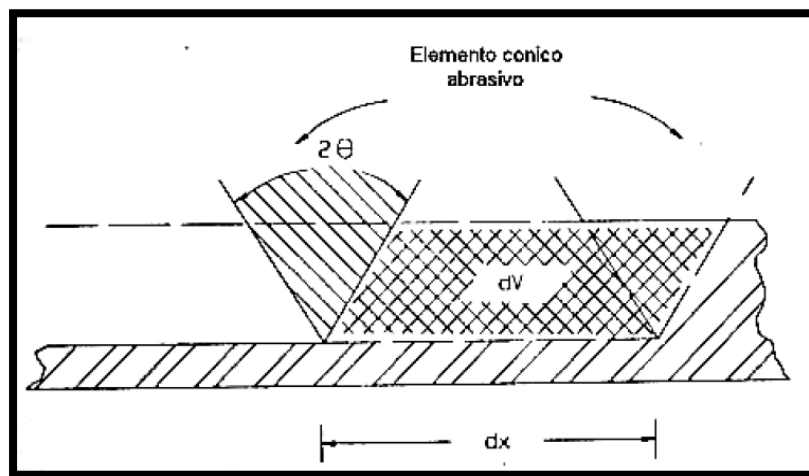


Figura 9.Modelo para el cálculo del desgaste abrasivo

Fuente: (Gutierrez Quintero , 2014)

Asumiendo que la carga sobre la partícula de sección transversal circular es suficiente para que el material experimente deformación plástica, se asume que la carga L está dada por la ecuación:

$$L = \frac{H\pi r^2}{2}$$

H = dureza del material y se divide sobre dos ya que sólo la mitad de la partícula abrasiva está en contacto con el material.

El volumen desgastado es:

$$V = \frac{2K \tan\left(\frac{\theta}{\pi}\right) Lx}{H}$$

Existen algunas situaciones en donde el área seccional de la partícula no es igual al área seccional del surco, ya que esta zona puede ser más grande o más pequeña que el área de indentación, este fenómeno depende tanto del material utilizado como de las partículas abrasivas. Si el material tiene un comportamiento dúctil, el área del surco es menor que el área de indentación, debido a que existe mayor deformación elástica que plástica, de esta manera el material recupera parte de su forma original al retirarse la carga, si por el contrario el material tiene un comportamiento frágil, el surco puede ser mayor debido a posibles grietas que se pueden generar durante el deslizamiento y la fuerza aplicada. En estos casos se introduce un factor ε , el cual se define como (Gutierrez Quintero , 2014):

$$\varepsilon = \frac{\text{Área del surco}}{\text{Área indentada}}$$

$$V = \frac{2\varepsilon K \tan\left(\frac{\theta}{\pi}\right) Lx}{H}$$

$$V = \frac{K * L * x}{H}$$

Esta ecuación comúnmente se conoce como Ecuación de Archard, la cual se dedujo del desgaste adhesivo, pero se ha demostrado también que es muy útil para el desgaste abrasivo.

K es un factor que depende de la forma de la partícula, de la naturaleza del proceso y de las propiedades del material. Generalmente los valores de K para desgaste abrasivo de dos cuerpos son mucho mayores a los obtenidos en el desgaste abrasivo de tres cuerpos, esto se debe principalmente a que las partículas están libres dentro del sistema de deslizamiento, de tal manera que pueden moverse fácilmente sobre la superficie y puede que no siempre desgasten la pieza, el abrasivo puede rodar por la superficie en vez de deslizarse y formar un surco (Gutierrez Quintero , 2014).

2.4. Marco Legal

ASTM G-65: Establece los ensayos que deben hacerse a los materiales para conocer sus propiedades frente al desgaste.

NTC 4205: Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos y bloques cerámicos utilizados como unidades de mampostería y fija los parámetros con que se determinan los distintos tipos de unidades (Dagoberto, 2011).

ASTM B611: Método de prueba estándar para determinar la resistencia a la abrasión de alto estrés de materiales duros (ASTM International, 2013).

Capítulo 3. Metodología

3.1. Tipo de investigación

Este proyecto será enfocado en una investigación descriptiva-experimental, donde la primera fase será desarrollada a través de ensayos y pruebas de laboratorio para dar paso a la fase descriptiva, cuyo fin es describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. Dicha investigación es apta para determinar las causas que provocan la falla de la boquilla de la extrusora de la Ladrillera Ocaña.

3.2. Etapas del proyecto

Este proyecto se desarrollará en las etapas que sigue el cumplimiento de los objetivos:

3.2.1. Etapa 1. Descripción del tipo de falla presentada en el desgaste de la boquilla. En primera instancia se pretende conocer el tipo de falla que presenta la boquilla, por medio de las siguientes actividades:

3.2.1.1. Actividad 1: Recopilar información proporcionada por la empresa

3.2.1.2. Actividad 2: Realizar un seguimiento al desgaste de la pieza, desde su puesta en funcionamiento hasta ser reemplazada

3.2.1.3. Actividad 3: Analizar la información recolectada

3.2.2. Etapa 2. Caracterizar el material de la boquilla y de la pasta cerámica mediante pruebas fisicoquímicas. Se realizarán pruebas de laboratorio para determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del material de la boquilla y de la pasta cerámica, según las siguientes actividades:

3.2.2.1. Actividad 1: Realizar la toma de muestras de la pasta cerámica y del material que conforma la boquilla

3.2.2.2. Actividad 2: Realizar la prueba de dureza y metalografía a la boquilla en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

3.2.2.3. Actividad 3: Realizar la pruebas de Difracción de Rayos X y la Microscopia Electrónica de Barrido (SEM con EDX) a la pasta cerámica y al material de la boquilla en los Laboratorios de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín.

3.2.2.4. Actividad 4: Realizar la prueba de desgaste abrasivo según la norma ASTM G-65 a la boquilla en la Universidad Nacional de Medellín.

3.2.2.5. Actividad 5: Analizar los resultados obtenidos en las anteriores pruebas

3.2.3. Etapa 3. Proponer el material y el proceso de fabricación para la boquilla que resista las horas de trabajo. De acuerdo a la información obtenida se propondrá un nuevo material que cumpla con las condiciones de trabajo establecidas basado en el precio, posibilidad de adquisición y fabricación, entre otros.

3.2.3.1. Actividad 1: Determinar el material a proponer con base a la información obtenida anteriormente.

3.2.3.2. Actividad 2: Estudiar el mercado local y nacional con el fin de determinar los costos inherentes al material.

3.3. Cronograma

Tabla 1. Cronograma

CRONOGRAMA										
FASE	OBJETIVOS	ACTIVIDADES	TIEMPO							
			SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8
FASE 1	Describir el tipo de falla presentada en el desgaste de la boquilla	1) Recopilar información proporcionada por la empresa.								
		2) Realizar un seguimiento al desgaste de la pieza, desde su puesta en funcionamiento hasta ser reemplazada.								
		3) Analizar la información recolectada.								
FASE 2	Caracterizar el material de la boquilla y de la pasta cerámica mediante pruebas fisicoquímicas.	1) Realizar la toma de muestras de la pasta cerámica y del material que conforman la boquilla.								
		2) Realizar la prueba de dureza y metalografía a la boquilla en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.								
		3) Realizar las pruebas de Difracción de Rayos X y la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM con EDX) a la pasta cerámica y al material de la boquilla en los Laboratorios de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín.								
		4) Realizar la prueba de desgaste abrasivo según la norma ASTM G-65 a la boquilla en la Universidad Nacional de Medellín.								
		5) Analizar los resultados obtenidos en las anteriores pruebas.								
FASE 3	Proponer el material y el proceso de fabricación para la boquilla que resista las horas de trabajo.	1) Determinar el material a proponer con base a la información obtenida anteriormente.								
		2) Estudiar el mercado local y nacional con el fin de determinar los costos inherentes al material.								

Fuente: (Autores del proyecto)

Capítulo 4. Recolección de información

Mediante una visita realizada a la ladrillera, se inspeccionó la línea de producción de la misma, encontrándose que el material obtenido de la cantera es almacenado en una sección llamada Stock. De allí una retroexcavadora se encarga del llenado de un cajón alimentador, el cual posee un mecanismo de banda transportadora que envía un flujo másico constante de arcilla a un desterronador, encargado de eliminar los terrones aglomerados de un tamaño superior a 20 mm. Luego pasa a un desintegrador para fragmentar la arcilla a un tamaño de 10 mm y ser llevada a través de una banda transportadora a un primer laminador que macera la arcilla a un tamaño de 4 mm. Después es llevada a un segundo laminador de 2 mm y en seguida pasa a la amasadora en donde se le adiciona agua para ser extruida.



Figura 10. Ladrillera Ocaña

Fuente: (Autores del proyecto)

La extrusión es realizada por una extrusora al vacío fabricada por la empresa SOUZA, referencia MSL-320 (ver figura 13), con capacidad de procesar 11000 a 16000 Kg de pasta de arcilla por hora. El perfil de la boquilla de la extrusora (ver figura 14) es manufacturado en la

ciudad de Bucaramanga por un costo de \$1'800.000, y tras ser puesto en funcionamiento tiene una duración aproximada de 96 h (8 horas por día, 6 días a la semana).



Figura 11. Zona de Stock

Fuente: (Autores del proyecto)



Figura 12. Línea de producción

Fuente: (Autores del proyecto)



Figura 13. Extrusora SOUZA MSL-320

Fuente: (Autores del proyecto)



Figura 14. Boquilla Extrusora

Fuente: (Autores del proyecto)



Figura 15. Funcionamiento extrusora SOUZA MSL-320

Fuente: (Autores del proyecto)

La ladrillera determina el tiempo de funcionamiento de la boquilla de acuerdo a la variación del peso del bloque. Para ello, se lleva un registro diario al inicio de la jornada, en donde se verifica el rango de peso comprendido entre 5.8 Kg y 6.2 Kg. En el momento en que el bloque sobrepase un peso de 6.2 Kg se ordena un cambio de la boquilla. A continuación, se presenta un informe proporcionado por el laboratorio de la ladrillera, en donde se especifica la variación del peso del ladrillo al inicio de cada jornada.

Tabla 2. Variación del peso del ladrillo - Boquilla 1

BOQUILLA 1		
Dias de trabajo	Peso bloque a la salida de la extrusora (g)	Diferencia de peso (g)
1	5536,00	
2	5559,00	23,00
3	5598,00	39,00
4	5656,00	58,00
5	5660,00	4,00
6	5709,00	49,00
7	5749,00	40,00
8	5750,00	1,00
9	5770,00	20,00
10	5949,00	179,00
11	5994,00	45,00
12	6004,00	10,00
13	6088,00	84,00
14	6094,00	6,00
15	6097,00	3,00
16	6125,00	28,00
	Promedio aumento de peso (g)	39,27

Fuente: (Ladrillera Ocaña)

Tabla 3. Variación del peso del ladrillo – Boquilla 2

BOQUILLA 2		
Dias de trabajo	Peso bloque a la salida de la extrusora (g)	Diferencia de peso (g)
1	5601,00	
2	5726,00	125,00
3	5888,00	162,00
4	5973,00	85,00
5	5999,50	26,50
6	6045,00	45,50
7	6075,00	30,00
8	6156,00	81,00
9	6179,00	23,00
10	6295,50	116,50
11	6332,75	37,25
12	6402,00	69,25
	Promedio aumento de peso (g)	72,82

Fuente: (Ladrillera Ocaña)

Tabla 4. Variación del peso del bloque - Boquilla 3

BOQUILLA 3		
Dias de trabajo	Peso bloque a la salida de la extrusora (g)	Diferencia de peso (g)
1	5615,00	
2	5676,00	61,00
3	5722,50	46,50
4	5752,00	29,50
5	5784,50	32,50
6	5791,50	7,00
7	5856,00	64,50
8	5880,50	24,50
9	5883,00	2,50
10	5932,00	49,00
11	5997,50	65,50
12	6053,50	56,00
13	6085,00	31,50
14	6154,00	69,00
15	6206,50	52,50
16	6347,50	141,00
	Promedio aumento de peso (g)	48,83

Fuente: (Ladrillera Ocaña)

Tabla 5. Variación del peso del bloque - Boquilla 4

BOQUILLA 4		
Dias de trabajo	Peso bloque a la salida de la extrusora (g)	Diferencia de peso (g)
1	5805,75	
2	5867,00	61,25
3	5892,50	25,50
4	6016,50	124,00
5	6035,00	18,50
6	6035,00	0,00
7	6052,50	17,50
8	6057,00	4,50
9	6061,33	4,33
10	6070,00	8,67
11	6150,00	80,00
12	6159,00	9,00
13	6200,00	41,00
14	6276,00	76,00
	Promedio aumento de peso (g)	36,17

Fuente: (Ladrillera Ocaña)

Tabla 6. Variación del peso del bloque - Boquilla 5

BOQUILLA 5		
Dias de trabajo	Peso bloque a la salida de la extrusora (g)	Diferencia de peso (g)
1	5522,00	
2	5599,50	77,50
3	5617,50	18,00
4	5684,50	67,00
5	5702,00	17,50
6	5785,00	83,00
7	5850,00	65,00
8	5906,00	56,00
9	5958,00	52,00
10	5997,00	39,00
11	5999,00	2,00
12	6056,50	57,50
13	6088,00	31,50
14	6098,50	10,50
15	6109,00	10,50
16	6160,50	51,50
17	6219,50	59,00
18	6278,00	58,50
	Promedio aumento de peso (g)	44,47

Fuente: (Ladrillera Ocaña)

Tabla 7. Promedio de pérdida de peso en los bloques

REGISTRO DESGASTE EN BOQUILLAS	
BOQUILLA	Promedio aumento de peso (g)
1	39,27
2	72,82
3	48,83
4	36,17
5	44.47
PROMEDIO TOTAL AUMENTO DE PESO (g)	49,2725

Fuente: (Ladrillera Ocaña)

En las tablas se detalla la variación del peso del bloque para cinco boquillas durante su vida útil. La diferencia de peso indica el aumento de peso del bloque en gramos al inicio de cada día.

Al analizar la información obtenida, se tiene que el bloque aumenta en promedio 49.2725 gramos por día. Este incremento de peso se relaciona con el desgaste de la boquilla, ya que a medida que esta se desgasta ocasiona que más material arcilloso pase a través de ella, generando un aumento de peso en el bloque.

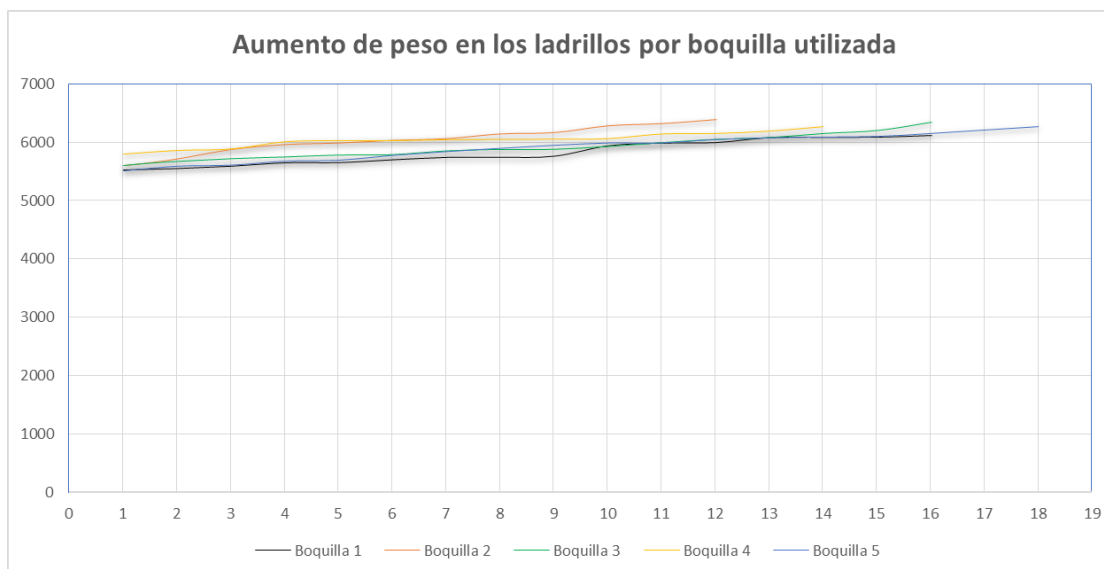


Figura 16. Aumento de peso en los ladrillos por boquilla utilizada

Fuente: (Autores del proyecto)

Según la gráfica de la figura 16, el promedio de duración de las boquillas es de 15 días. En ella se puede apreciar que los ladrillos extruidos por la boquilla 2 y la boquilla 5 en la puesta en marcha tienen un peso similar, pero la boquilla 2 duró doce días y la boquilla 5, dieciocho días. La ganancia de peso de los ladrillos provenientes de la boquilla 2 fue mucho mayor al pasar los días que los de la boquilla 5. Las demás boquillas estuvieron cercanas al rango de vida útil de 15 días.

Para comprobar que la falla que se está presentando en la boquilla es generada por un desgaste, se solicitó al jefe de mantenimiento el suministro de unas piezas que ya habían cumplido con su ciclo de vida (ver figura 17). A esta pieza se le realizó una inspección visual en donde se pudo evidenciar un rayado en la superficie expuesta a la arcilla (ver figura 18).



Figura 17. Piezas suministradas por la ladrillera

Fuente: (Autores del proyecto)

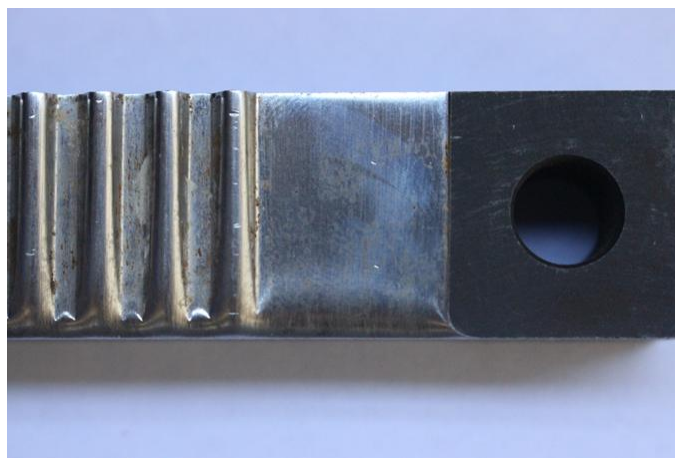


Figura 18. Análisis visual - Evidencia de abrasión

Fuente: (Autores del proyecto)

Posteriormente esta pieza fue llevada al laboratorio de materiales y a través de un microscopio óptico de la marca OPTIKA (ver figura 19) se tomaron imágenes a 40x que evidencian la ralladura y el desprendimiento del material producido por las partículas abrasivas de la arcilla.

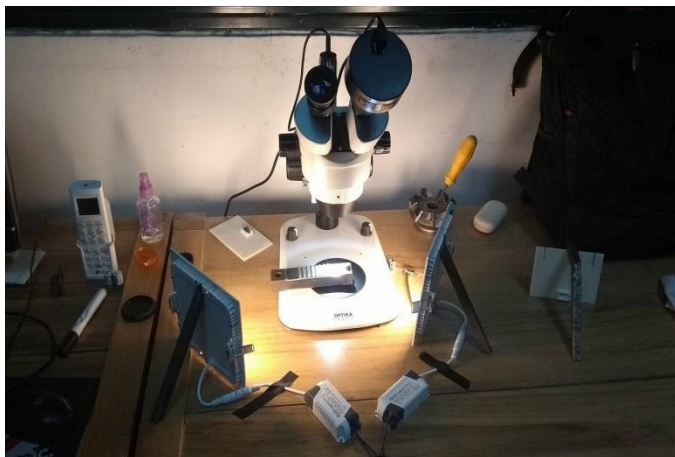


Figura 19. Microscopio óptico marca OPTIKA

Fuente: (Autores del proyecto)



Figura 20. Toma de imágenes a 40X

Fuente: (Autores del proyecto)

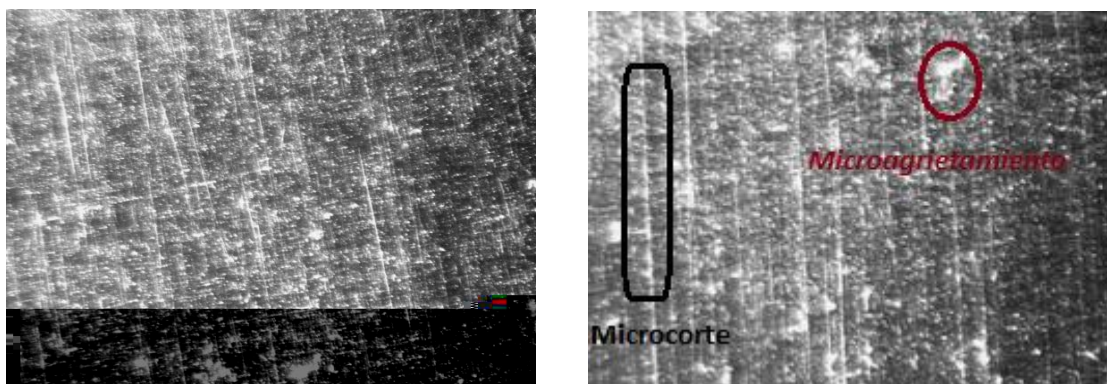


Figura 21. a) Abrasión de bajo esfuerzo; b) Micro-agrietamiento (40X)

Fuente: (Autores del proyecto)

Al analizar la figura (a) se puede observar que se presenta un desgaste conocido como abrasión de bajo esfuerzo o rayado, el cual ocurre por el frotamiento suave de partículas abrasivas contra superficies o elementos metálicos y cuya característica principal es el daño de la superficie en forma de rayado. Además, en la figura (b), se detecta un mecanismo de desgaste abrasivo conocido como microcorte, en donde la partícula abrasiva penetra la superficie liberando material y generando surcos, a la vez que actúa otro mecanismo conocido como micro agrietamiento que es el que provoca el desprendimiento de los granos del material (zonas con mayor intensidad de luz).

Por otro lado, se realizaron pruebas de rugosidad en la superficie de la pieza que presenta el desgaste. Para ello se utilizó un rugosímetro de la marca TIME, referencia TR200 (ver figura 22). Este equipo cuenta con un palpador mecánico que recorre una pequeña distancia sobre la superficie a la que se le desea medir la rugosidad y muestra la profundidad de la rugosidad media aritmética (R_a), Rugosidad media cuadrática (R_q), Rugosidad parcial (R_z), entre otros. Estos datos son enviados al software *TIME Surf Software*, el cual trabaja en tiempo real con el TIME-TR200 para analizar, buscar e imprimir los datos de medición y sus respectivos gráficos.



Figura 22. Rugosímetro TIME-TR200

Fuente: (Tecnimetalsa, 2006)



Figura 23. Prueba de rugosidad

Fuente: (Autores del proyecto)

Para la realización de la prueba, el equipo trazó cinco longitudes en puntos al azar de la pieza arrojando los resultados que se muestran en la tabla 8. El valor de referencia utilizado para el resultado de la rugosidad es R_a , que está definida como la media aritmética de los valores absolutos de las coordenadas de los puntos de perfil de rugosidad (Grupo tecnología mecánica - Proceso de fabricación). Este parámetro fue escogido ya que es el más usado en todo el mundo.

Al analizar los resultados se encontró que la pieza tiene una rugosidad media aritmética promedio de ($R_a = 3.178\mu m$) y una rugosidad media cuadrática promedio de ($R_q = 3.8592\mu m$). Esta prueba permite verificar que existen surcos o marcas dejadas por los agentes abrasivos que atacan la superficie durante su funcionamiento. Los resultados individuales de cada prueba están detallados en el Anexo 1 (ver pág. 95). Tabla 8. Rugosidad de la muestra

Prueba	Parámetros ISO									
	Ra	Rq	Rz	Rt	Rp	Rv	RS	RSm	RSk	
1	4,2	5,306	27,9	37,79	12,56	15,33	0,1041	0,1785	-0,108	
2	4,222	5,336	28,28	39,45	12,15	16,12	0,1136	0,1785	-0,222	
3	4,179	5,285	28,62	37,29	11,7	16,91	0,1136	0,176	-0,203	
4	1,645	1,685	4,156	4,3	2,092	2,063	0,0816	0,0851	0,031	
5	1,644	1,684	4,156	4,239	2,095	2,059	0,0869	0,0851	0,027	
Promedio	3,178	3,8592	18,6224	24,6138	8,1194	10,4964	0,09996	0,14064	-0,095	

Fuente: (Autores del proyecto)

Capítulo 5. Caracterización pasta cerámica y material de la boquilla

A continuación se presenta el proceso de caracterización mediante pruebas de laboratorio realizadas al material de la boquilla y a la pasta cerámica, en donde se pretende determinar las propiedades físicas y químicas de las muestras, para determinar los factores que influyen en el desgaste de la boquilla.

5.1. Recolección de muestras

Para la caracterización del material de la boquilla y de la pasta cerámica se utilizaron muestras suministradas por la Ladrillera Ocaña. En primer lugar, se recolectó material arcilloso de la zona de Stock, en donde se tomaron dos muestras de diferentes lugares. Otra muestra se tomó de la arcilla antes de entrar al proceso de extrusión y por último se escogieron al azar dos bloques ya extruidos.

Además, se obtuvieron piezas procedentes de la boquilla que ya habían cumplido su ciclo de vida, tales como laterales y dados internos.



Figura 24. Zona de Stock

Fuente: (Autores del Proyecto)



Figura 25. Entrada de la extrusora

Fuente: (Autores del proyecto)



Figura 26. Ladrillos extruidos

Fuente: (Autores del proyecto)

5.2. Prueba de Dureza

La medición de la dureza se realizó en un durómetro de la marca Mitutoyo, serie HR-300, siguiendo los parámetros de la escala de dureza Rockwell, en donde se determina la dureza midiendo la profundidad de penetración de un indentador bajo una carga grande en comparación con la penetración hecha por una precarga (10 Kg). En la tabla 9 se observan los diámetros y las cargas normalizadas para este tipo de ensayo.



Figura 27. Prueba de dureza en durómetro Mitutoyo HR-300

Fuente: (Autores del proyecto)

Se presume que el material de la boquilla es un acero templado, por lo que se decide utilizar un indentador de cono de diamante y aplicar una carga de 150 Kg, según la escala Rockwell C.

Tabla 9. Ensayo de Dureza Rockwell

ESCALA	CARGA (kg)	PENETRADOR	MATERIALES TÍPICOS PROBADOS
A	60	Cono de diamante	Materiales duros en extremo, carburos de wolframio, etc.
B	100	Bola de 1/16"	Materiales de dureza media, aceros al carbono bajos y medios, latón, bronce, etc.
C	150	Cono de diamante	Aceros endurecidos, aleaciones endurecidas y revenidas.
D	100	Cono de diamante	Acero superficialmente cementado.
E	100	Bola de 1/8"	Hierro fundido, aleaciones de aluminio y magnesio.
F	60	Bola de 1/16"	Bronce y cobre recocidos.
G	150	Bola de 1/16"	Cobre al berilio, bronce fosforoso, etc.
H	60	Bola de 1/8"	Placa de aluminio.
K	150	Bola de 1/8"	Hierro fundido, aleaciones de aluminio.
L	60	Bola de 1/4"	Plásticos y metales suaves, como el plomo.

Fuente: (Laboratorio de Materiales – UFPSO)

La medición de la dureza se llevó a cabo en la superficie que está en contacto permanente con el material arcilloso y en el centro de la pieza. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

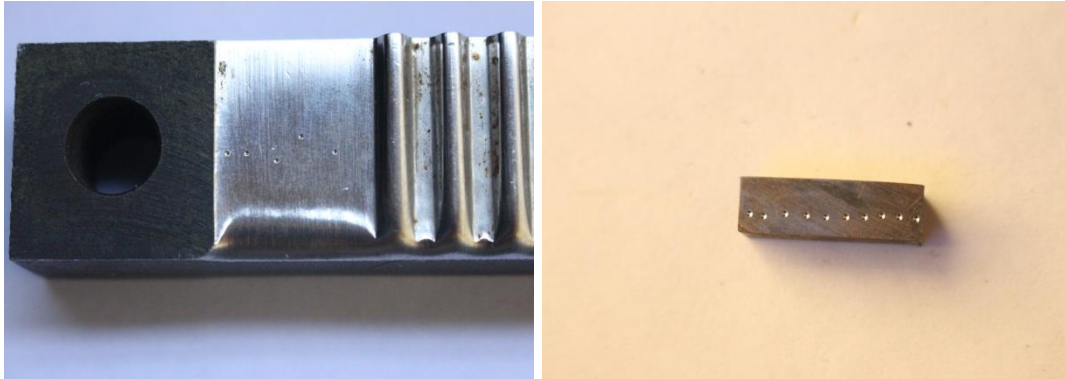


Figura 28. Puntos de toma de dureza - lateral a) Superficie; b) Centro

Fuente: (Autores del proyecto)

Tabla 10. Resultados prueba de dureza - lateral de la boquilla

LATERAL DE LA BOQUILLA		
Puntos	Dureza Centro (HRC)	Dureza Superficie (HRC)
1	25,5	54,8
2	35,9	55,9
3	36,1	56,1
4	36,9	54,8
5	36,6	56,2
6	34,7	51,9
7	36,6	50
8	38,4	38,2
9	34,7	47,7
10	35,9	46,9
Promedio (HRC)	35,13	51,25

Promedio total
43,19

Fuente: (Autores del proyecto)

**Figura 29.** Puntos de toma de dureza - dado a) Superficie; b) Centro

Fuente: (Autores del proyecto)

Tabla 11. Resultados prueba de dureza - Dado

DADO		
Puntos	Dureza Centro (HRC)	Dureza Superficie (HRC)
1	41,2	63,1
2	56,7	63,5
3	57,4	63
4	56,7	63,7
5	58,4	64,3
6	58,8	59,1
7	59	61,6
8	58,7	64,3
9	58,6	60,9
10	55,9	54,9
Promedio (HRC)	56,14	61,84

Promedio total
58,99

Fuente: (Autores del proyecto)

Al analizar los resultados obtenidos se observa una variación en la dureza del centro respecto a la superficie de la pieza. Esto puede ser producido por el tratamiento térmico al que fueron sometidas, ya que cuando se efectúan tratamientos térmicos para elevar la dureza, como el templado, en donde no se tiene sumo cuidado con las variaciones de temperatura, puede provocar la variación de la dureza a través de la sección del material (Facultad de Ingeniería-UNLP).

5.3. Metalografía

La prueba de metalografía se realizó en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña según consta a continuación.

5.3.1. Preparación de la muestra

Para la prueba de metalografía se requiere que la muestra tenga una superficie plana y libre de impurezas con el fin de garantizar el correcto análisis de la misma. En primer lugar, el lateral y el dado de la boquilla debieron ser seccionados para obtener una muestra de 7 mm de longitud. El corte se realizó utilizando la sierra de corte de precisión PICO 155 de la empresa DaceTechnologies.

Después, se realizó el montaje de las muestras en resina para realizar el respectivo pulido. Para ello se utilizó una prensa de montaje de compresión TERAPRESS TP-7001B de la empresa DaceTechnologies en donde la pieza fue recubierta con 16 gramos de baquelita y sometida a una presión entre 80 psi – 90 psi y una temperatura 200°C por un tiempo de 10 minutos

El pulido se realizó en la pulidora automatizada de fuerza individual NANO 2000T de la empresa DaceTechnologies, según el procedimiento de la tabla 12.

Tabla 12. Procedimiento de pulido de la muestra

Abrasivo/superficie	Lubricante	Fuerza aplicada	Velocidad (cabezal/base)	Tiempo mínimo
Grano 240, papel de SiC Grano 360, papel de SiC Grano 600, papel de SiC Grano 800, papel de SiC Grano 1200, papel de SiC	Agua	5-10 Libras	200/200	Hasta aplanar 1 Minuto 1 Minuto 1 Minuto 1 Minuto
DIAMAT de 1 μm sobre paño GOLPAD	DIALUBE	5-10 Libras	200/200	2 Minutos
Alúmina de 0.05 μm sobre paño TRICODE		5-10 Libras	100/100	30 Segundos

Fuente: (Laboratorio de Materiales – UFPSO)

5.3.2. Ataque químico

El propósito del ataque químico es hacer visibles las características del material y que a su vez queden claramente diferenciadas las partes de la microestructura. Esto se logra mediante un reactivo que somete a la superficie pulida a una acción química. En la tabla 13 se muestran los reactivos químicos más empleados.

Tabla 13. Reactivos de ataque químico más utilizados en pruebas metalográficas

REACTIVO DE ATAQUE	COMPOSICION	USOS	OBSERVACIONES
Ácido nítrico (nital)	Ácido nítrico blanco 1-5 ml Alcohol metílico o etílico (98 % o absoluto) Alcohol amílico 100 ml	En aceros al carbón: a) para oscurecer perlita y dar contraste entre colonias de perlita, b) para revelar fronteras de perlita, c) para diferenciar la ferrita de la martensita.	La rapidez de ataque aumenta; la selectividad disminuye y se incrementan los porcentajes de HNO ₂ . El reactivo 2 (ácido pícrico) generalmente es superior. El tiempo de ataque es de unos cuantos segundos a un minuto.
Ácido pícrico (picral)	Ácido pícrico 4 g Etil o alcohol de metilo (95 % absoluto) 100 ml	Para todos los grados de aceros al carbón recocidos, normalizados, templados y revenidos, esferoidizados, austenizados. Para todos los aceros de baja aleación atacados por este reactivo.	Ocasionalmente útiles para soluciones más diluidas. No revela las fronteras de grano de ferrita tan fácilmente como el nital. Tiempo de ataque en unos cuantos segundos a un minuto o más.
Cloruro férrico y ácido hidroclicórico	Cloruro férrico 5 g Ácido hidroclicórico 5 0 ml Agua 100 ml	Aceros austeníticos al níquel y aceros inoxidables.	
Hidróxido de amonio y Peróxido de hidrógeno	Hidróxido de amonio 5 partes Agua 5 partes Peróxido de hidrógeno 2-5 partes	Generalmente empleado para cobre y muchas de sus aleaciones.	El contenido de peróxido varía directamente con el contenido de cobre de la aleación que será atacada. Inmersión o frotamiento por casi un minuto. Usar peróxido fresco para buenos resultados.
Persulfato de amonio	Persulfato de amonio 10 g Agua 90 ml	Cobre, latón, bronce, plata, níquel, bronce aluminico.	Utilizarlo frío o hirviendo; inmersión.

Fuente: (Facultad Ingeniería Industrial, 2011)

Las muestras fueron atacadas con Nital 2%, compuesto por Ácido Nítrico 2ml y Alcohol etílico 110ml, y posteriormente con Kalling. Se dejaron secar un promedio de cinco minutos para que el reactivo hiciera sus efectos.



Figura 30. Montaje de las muestras en resina y ataque químico. a) Dado; b) Lateral

Fuente: (Autores del proyecto)

5.3.3. Fotomicrografía

Para la toma de las fotomicrografías se utilizó un microscopio óptico de luz reflejada y transmitida L2020 de la empresa Metallurgical Microscope. Las imágenes obtenidas se detallan a continuación.

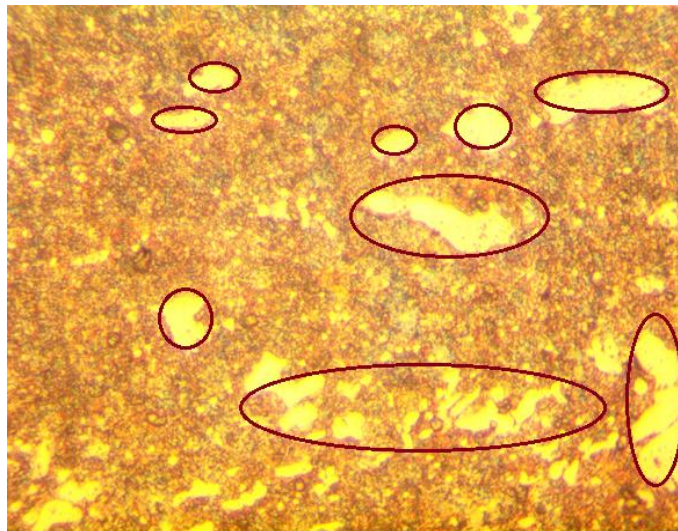


Figura 31. Dado. Ataque con Nital (400X). Carburos precipitados en una base martensítica

Fuente: (Autores del proyecto)

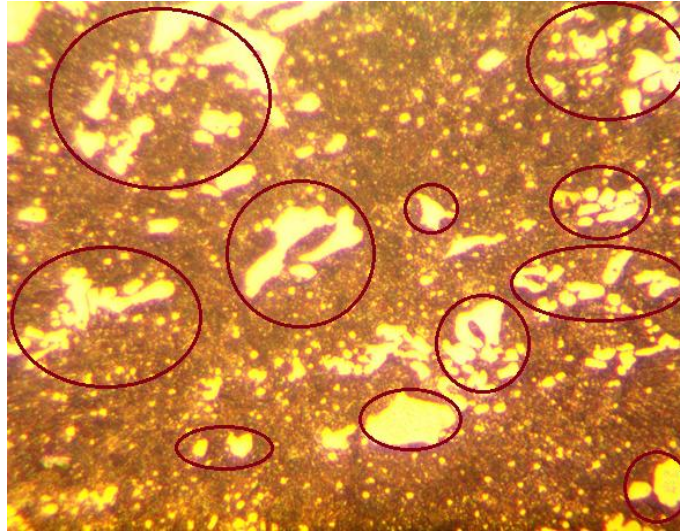


Figura 32. Dado. Ataque con Kalling (400X). Carburos precipitados en una base martensítica

Fuente: (Autores del proyecto)

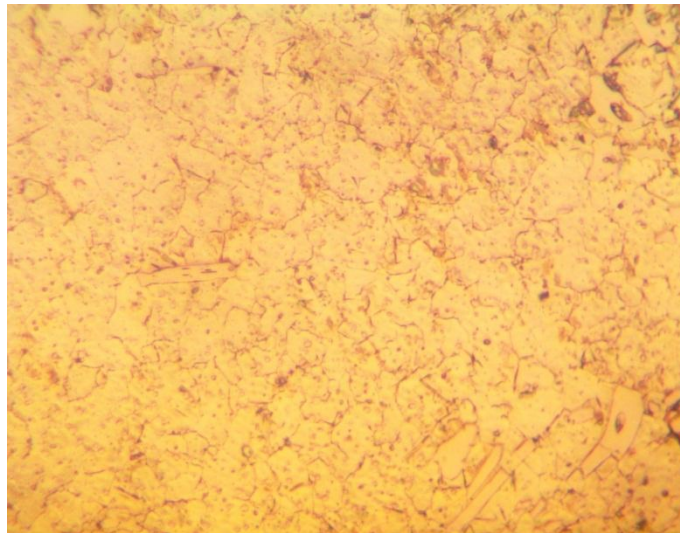


Figura 33. Lateral. Ataque con Nital (400X). Presencia de límite de grano

Fuente: (Autores del proyecto)

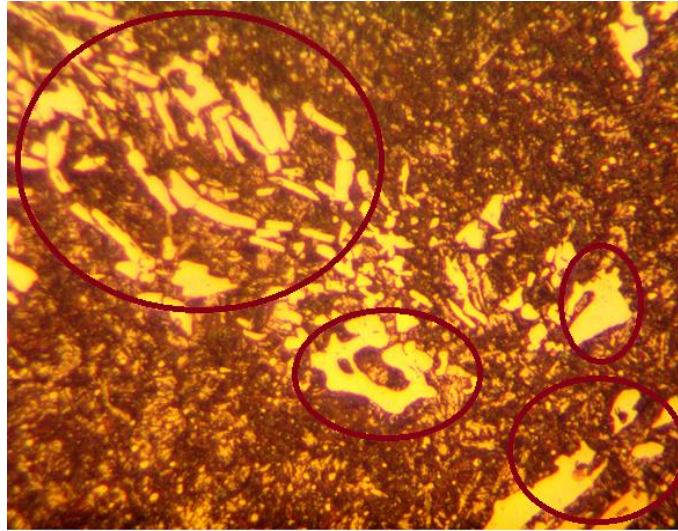


Figura 34. Lateral. Ataque con Kalling (400X). Carburos precipitados en una base martensítica

Fuente: (Autores del proyecto)

Al analizar las imágenes metalográficas se puede evidenciar la presencia de carburos precipitados en una base martensítica, con lo cual se puede constatar que el material de la boquilla fue sometido a un tratamiento térmico de templado, el cual busca que piezas o masas ya conformadas en el mecanizado, aumenten su dureza y resistencia, obteniendo los llamados aceros martensíticos (Saiz).

El objetivo del templado es lograr el cambio de fase de Austenita (hierro γ) a martensita mediante enfriamiento rápido. Esto se logra elevando la temperatura del acero hasta la temperatura de austenización del mismo, comprendida en un rango de 725 °C y 1000 °C (Saiz), y enfriándolo rápidamente, en donde se forman los carburos y la fase martensítica.

Las demás imágenes obtenidas se encuentran en el Anexo 2 (ver pág. 100)

5.4. Prueba de Espectrometría de chispa o arco

La Espectrometría es la técnica espectroscópica para tasar la concentración o la cantidad de una especie determinada. El instrumento que realiza tal medida es un espectrómetro o un

espectrógrafo. Esta técnica se utiliza a menudo para la identificación de sustancias mediante el espectro emitido o adsorbido por las mismas (espectrometria.com).

La espectrometría de chispa o arco es un tipo de espectrometría que se usa para el análisis de elementos metálicos en muestras sólidas. Un arco eléctrico o chispa se pasan por la muestra, calentándola a alta temperatura para excitar los átomos. Los átomos excitados emiten luz en varias longitudes de onda que pueden ser detectadas mediante métodos espectroscópicos comunes (espectrometria.com)

La prueba de espectrometría por arco se realizó en el Laboratorio de Metalografía y Resistencia de Materiales de la Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín, a través de un espectrógrafo óptico por chispa Bruker, Q4 Tasman. La composición química obtenida se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Composición química de la muestra – Espectrometría por chispa

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	1.386	0.301	0.381	0.025	0.0070	10.99	0.338	0.271	0.091	0.041
2.	1.426	0.298	0.384	0.024	0.0071	11.11	0.345	0.271	0.090	0.041
3.	1.415	0.295	0.381	0.024	0.0070	11.08	0.342	0.270	0.090	0.041
4.	1.419	0.297	0.383	0.024	0.0071	11.10	0.344	0.271	0.090	0.041
∅	1.428	0.298	0.382	0.025	0.0068	11.14	0.341	0.268	0.089	0.041
σ	0.0381	0.0075	0.0034	0.00082	0.00029	0.032	0.00032	0.00038	0.00078	
ν	2.171	2.570	0.628	3.280	4.265	0.562	0.938	2.180	2.022	

Sn	As	B	Bi	Ce	Co	Mg	Nb	Pb	Sb	
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
0.0050	1.	0.0025	0.00027	0.013	<0.0050	0.039	0.012	0.0090	0.0095	<0.0050
0.0050	2.	0.0025	0.00028	0.015	<0.0050	0.041	0.011	0.0095	0.0084	<0.0050
0.0050	3.	0.0022	0.00026	0.013	<0.0050	0.039	0.0097	0.0095	0.0059	<0.0050
0.0050	4.	<0.0020	0.00027	0.016	<0.0050	0.039	0.011	0.0094	0.0071	<0.0050
0.0050	∅	0.0023	0.00027	0.014	<0.0050	0.040	0.011	0.0093	0.0077	<0.0050
	σ	0.00024	0.00001	0.0015		0.0012	0.00095	0.00024	0.0016	
	ν	10.43	3.704	10.71		3.000	8.636	2.581	20.78	

	Ta	La	Ti	V	W	Zn	Zr	Se	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.453	<0.0020	0.0060	0.158	0.603	0.019	0.0024	0.0089	84.81
2.	0.419	<0.0020	0.0060	0.158	0.596	0.019	0.0023	0.010	84.69
3.	0.433	<0.0020	0.0058	0.157	0.589	0.019	<0.0020	0.0092	84.82
4.	0.441	<0.0020	0.0060	0.158	0.575	0.018	<0.0020	0.0091	84.72
∅	0.437	<0.0020	0.0060	0.158	0.591	0.019	0.0022	0.0093	84.76
σ	0.014		0.00012	0.00058	0.012	0.00058	0.00021	0.00048	0.065
ν	3.204		2.000	0.367	2.030	3.053	9.545	5.161	0.077

Fuente: (Autores del proyecto)

La composición hallada a través de la espectrometría indica que se trata de un acero para herramientas al alto carbono y alto cromo. Este resultado fue comparado con aceros encontrados en la base de datos MatWeb, cuyas características son similares al acero para herramientas AISI D2 para trabajo en frío (MatWeb-Material Property Data) .

Tabla 15. Composición química AISI D2

Propiedades de los elementos del componente	Métrico	Inglés
Carbono, C	1,4 - 1,6%	1,4 - 1,6%
Cromo, Cr	11 - 13%	11 - 13%
Cobalt Co	<= 1,0%	<= 1,0%
Hierro, Fe	80,8 - 86,9%	80,8 - 86,9%
Manganeso, Mn	<= 0,60%	<= 0,60%
Molibdeno, Mo	0,70 - 1,2%	0,70 - 1,2%
Fósforo, P	<= 0,030%	<= 0,030%
Silicio, Si	<= 0,60%	<= 0,60%
Azufre	<= 0,030%	<= 0,030%
Vanadio, V	<= 1,1%	<= 1,1%

Fuente: (MatWeb-Material Property Data)

5.5. Difracción de Rayos X

Para analizar las fases de la arcilla y comprender la dureza de la muestra, con el fin de realizar la comparación con la dureza del material de la boquilla, se separaron los limos de los desgrasantes y se realizó análisis de DRX en el laboratorio de Catalizadores y Adsorbentes de la Universidad de Antioquía, en un difractómetro de rayos X de la empresa Panalytical, serie Xpert. Las muestras fueron secadas a 100°C por 12 horas en un horno mufla y posteriormente molidas en un macerador de porcelana. En la Tabla 16 se detallan las muestras a las que se les realizó DRX.

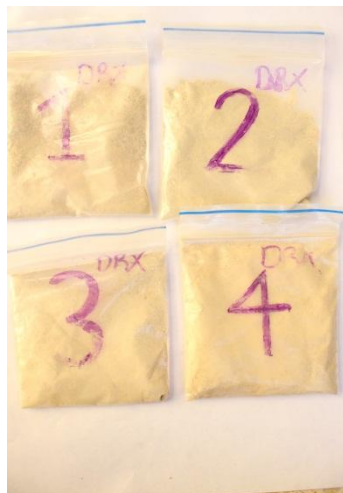


Figura 35. Muestras DRX

Fuente: (Autores del proyecto)

Tabla 16. Muestras DRX

Muestra		Sector de muestreo	Figura
1	Ladrillo	Salida de la Extrusora	
2	Limo	Entrada de la Extrusora	
3	Desgrasante	Entrada de la Extrusora	
4	Stock	Zona de Stock	

Fuente: (Autores del proyecto)

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

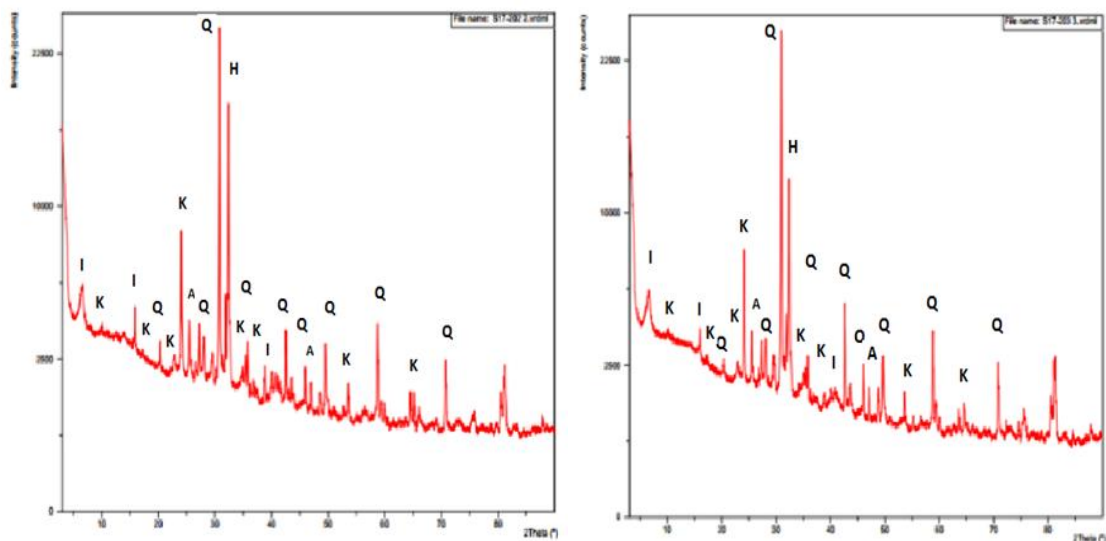


Figura 36. DRX – a) Limos o finos; b) Desgrasantes o gruesos

Fuente: (Autores del proyecto)

En la figura se muestran los difractogramas de los limos y los desgrasantes de la arcilla y se evidencian los diferentes minerales presentes en la muestra, nombrados según la Tabla 17.

Tabla 17. Minerales presentes en la muestra de arcilla

Mineral	Denominación	Composición General	Dureza (Mosh)
Hematita	H	Fe_2O_3	5.5-6.5
Illita	I	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$	1-2
Caolinita	K	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	2-2.5
Cuarzo	Q	SiO_2	7
Anatasa	A	TiO_2	5-6

Fuente: (asturnatura.com)

En la tabla 18 se presenta la escala de dureza Mosh para los minerales y su equivalencia con las durezas Knoop y Rockwell C (HRC). Estos valores sirven de referencia para determinar la dureza de los minerales que se encuentran en la arcilla, ya que se tiene la dureza Mohs de cada uno de ellos.

Tabla 18. Dureza de los minerales

Escala Mohs de dureza de los materiales					
Dureza Mohs	Material de Referencia	Dureza Rayado	Dureza Knoop	Dureza Rockwell C	Observaciones
10	Diamante	140000	8000	851	La más dura
9	Corindón	1000	2000	119	Muy dura
8	Topacio	175	1500	93	Muy dura
7	Cuarzo	120	1200	80	Raya el vidrio
6	Ortoclasa/Feldespato	37	1000	72	Se raya con lima de acero
5	Apatito	6,5	850	65	Se raya con navaja
4	Fluorita	5	750	61	Se raya fácil con navaja
3	Calcita	4,5	500	47	Se raya con un cobre
2	Yeso	1,25	450	44	Se raya con la uña
1	Talco	0,03	300	28	Se raya fácil con la uña

Fuente: (Ingemecánica)

Se puede analizar que la fase de los limos tiene más contenido de H (Hematita) que los desgrasantes, cuya dureza está entre 65-72 HRC. Además, tanto los limos como los desgrasantes tienen un alto contenido de Cuarzo que tiene una dureza de 80 HRC. Estos dos minerales son los de mayor relevancia dentro de la arcilla y exceden la dureza del material de la boquilla, que se encuentra entre 43.19 HRC (lateral) y 58.99 HRC (dado).

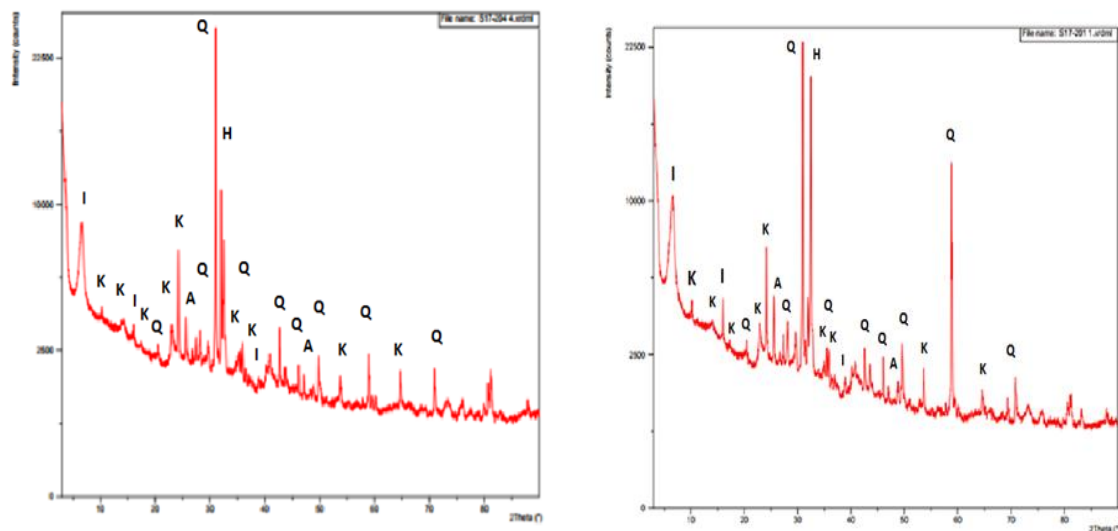


Figura 37. DRX - a) Stock; b) Ladrillo

Fuente: (Autores del proyecto)

Se encontró que aunque el stock fue sometido solo a molienda, hubo un cambio en la concentración de Q (Cuarzo) y H (Hematita). Es entendible que la Hematita esté en concentraciones similares al ingreso y al final de la pulpa, pero en el ángulo $2\theta = 60^\circ$ se expone el plano (210) del Cuarzo, como se muestra en la figura 38 y según la referencia (R. Smith), se puede evidenciar que durante el proceso mecánico de molienda se puede estar cristalizando la sílice en dicho plano específico.

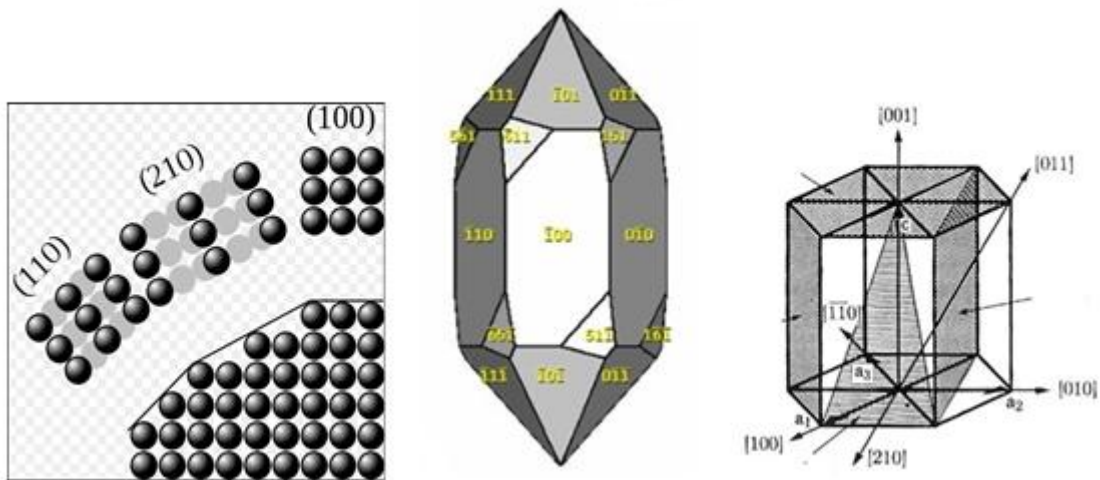
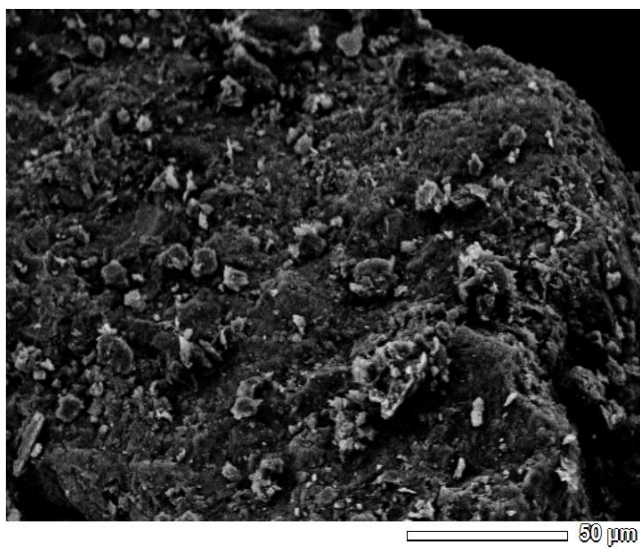


Figura 38. Índices de Miller para el cuarzo. Plano (210)

Fuente: (R. Smith)

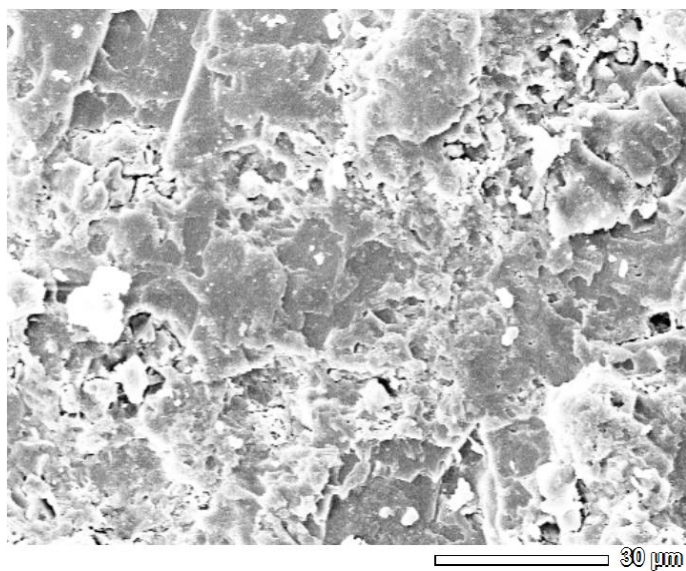
En las micrografías SEM-EDS, figuras 39-42, se observa que el Stock y el desgrasante tienen la misma composición. En el limo solo se nota la ausencia de hierro y en el ladrillo se evidencia la falta de calcio, hierro y potasio. Esto se debe a que el EDS utiliza un punto específico para determinar la composición, por lo cual se nota la ausencia de estos minerales en esos puntos. Estos resultados no son relevantes para la investigación dada la poca exactitud del EDS.



Elemento	Masa (%)	Compuesto Atómico (%)
C	17.85	25.65
O	50.87	54.88
Al	10.03	6.42
Si	21.24	13.05

Figura 39. Imagen SEM-EDS (600X) – Ladrillo

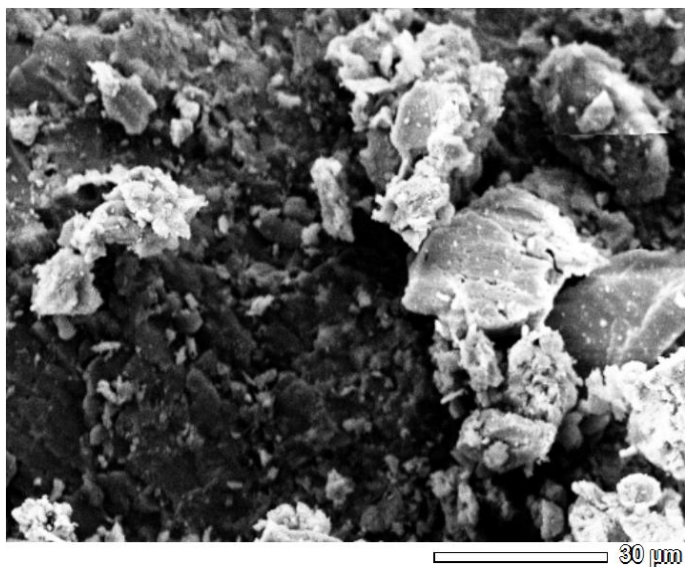
Fuente: (Autores del proyecto)



Elemento	Masa (%)	Compuesto Atómico (%)
C	14.90	24.86
O	30.42	38.10
Al	10.36	7.70
Si	33.01	23.55
K	11.26	5.77
Ca	0.05	0.03

Figura 40. Imagen SEM- EDS (600X)-Limo

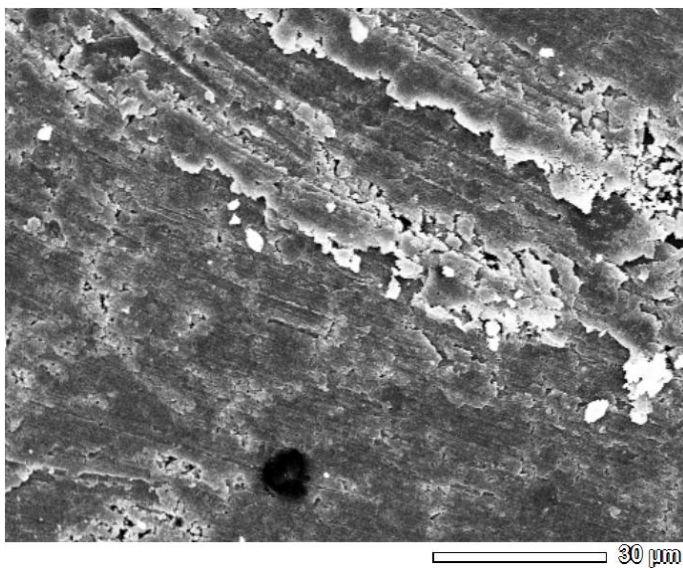
Fuente: (Autores del proyecto)



Elemento	Masa (%)	Compuesto Atómico (%)
C	14.92	23.45
O	41.56	49.02
Al	4.99	3.49
Si	32.44	21.80
K	0.48	0.23
Ca	0.88	0.42
Fe	4.73	1.60

Figura 41. Imagen SEM-EDS (600X) – Desgrasante

Fuente: (Autores del proyecto)



Elemento	Masa (%)	Compuesto Atómico (%)
C	13.53	24.45
O	24.82	33.67
Al	15.42	12.40
Si	28.57	22.08
K	3.14	1.74
Ca	0.10	0.06
Fe	14.41	5.60

Figura 42. Imagen SEM-EDS (600X) – Stock

Fuente: (Autores del proyecto)

5.6. Análisis Microscopio Electrónico de Barrio (SEM)

Con el fin de analizar la estructura y morfología del material de la boquilla se llevó a cabo la observación de la muestra en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín, utilizando un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) de la empresa JEOL, serie JCM-6000PLUS, a través de un haz de electrones dispersados y secundarios.

Para entender los resultados arrojados por el SEM, es necesario tener como base el Diagrama Hierro Carburo de Hierro, con el fin de tener una idea clara sobre las fases presentes en el acero, las cuales dependen de la cantidad de Carbono y de la temperatura a la que fue sometido durante la realización del tratamiento térmico.

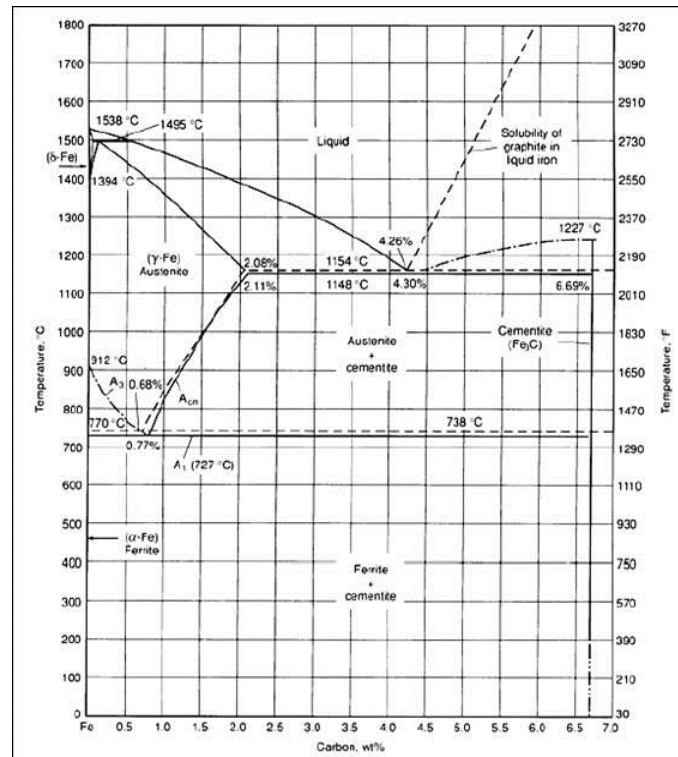


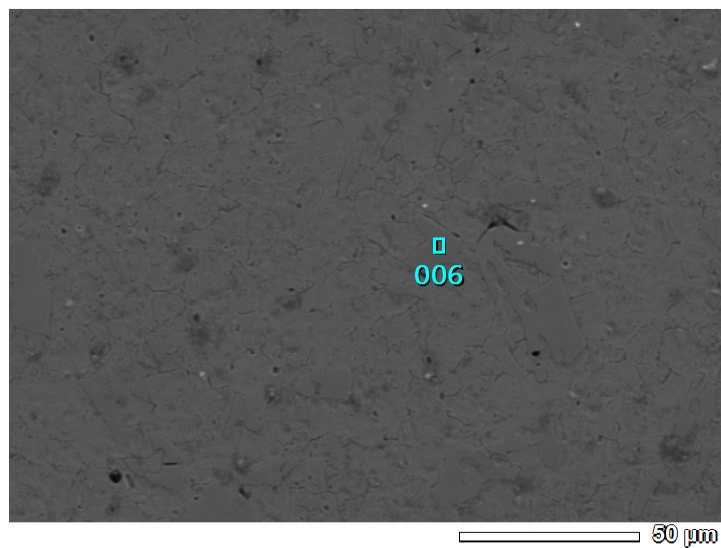
Figura 43. Diagrama Hierro Carburo de Hierro

Fuente: (Diaz del Castillo Rodriguez & Reyes Solís , 2012)

El análisis metalográfico muestra que el acero fue sometido a un tratamiento térmico de templado. El proceso se lleva a cabo calentando el acero a una temperatura aproximada de 915°C (entre 725°C y 1000°C), en el cual la ferrita se convierte en Austenita, después la masa metálica es enfriada rápidamente, sumergiéndola o rociándola en agua, en aceite o en otros fluidos o sales (Saiz).

La composición química mostrada en la tabla 14, indica que el acero de la boquilla contiene 1.428% de Carbono. Al graficar en el Diagrama $Fe - Fe_3C$ el porcentaje de Carbono versus la temperatura de templado (aprox. 950°C), se obtienen dos fases, Austenita (hierro γ) y Cementita (Fe_3C).

El análisis se realizó en varios puntos de la muestra a través de SEM con EDS, con el fin de obtener los elementos químicos presentes en el punto señalado. Los resultados se muestran a continuación, en donde las figuras 44-46 corresponden al lateral de la boquilla y las figuras 47-50 al dado.

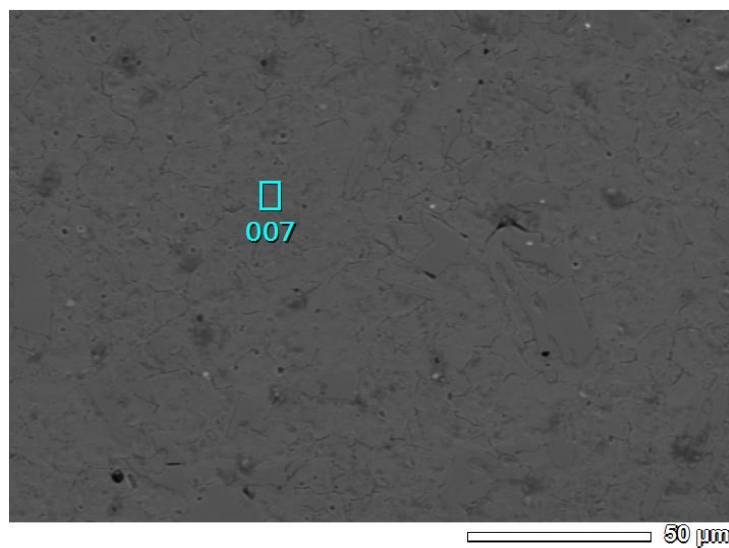


Elemento	masa (%)	compuesto atómico
C	12.09	38.31
Cr	41.06	30.05
Fe	45.88	31.26
Mo	0.97	0.38

Figura 44. Imagen SEM-EDS (600X) – Lateral 01

Fuente: (Autores del proyecto)

En la figura 44, se puede observar que en el punto (006) se tiene Carbono, Cromo, Hierro y una pequeña cantidad de Molibdeno, lo que indica que hay presencia de Carburos de Hierro y Carburos de Cromo.

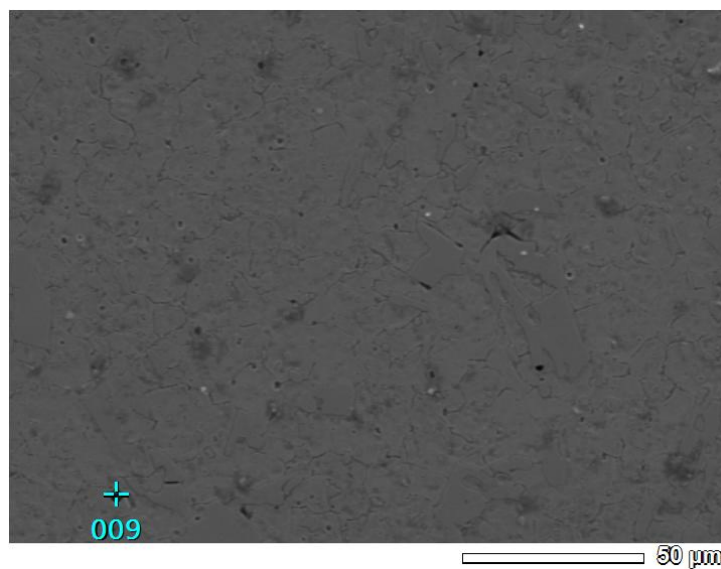


Elemento	masa (%)	compuesto atómico
C	5.73	20.71
Cr	9.98	8.34
Fe	81.73	63.54
N	2.22	6.90
Si	0.33	0.51

Figura 45. Imagen SEM-EDS (600X) – Lateral 02

Fuente: (Autores del proyecto)

El punto (007) contiene Carbono, Cromo, Hierro, Nitrógeno y bajas concentraciones de Silicio. Esto indica la presencia de Carburos de Hierro y de Cromo.

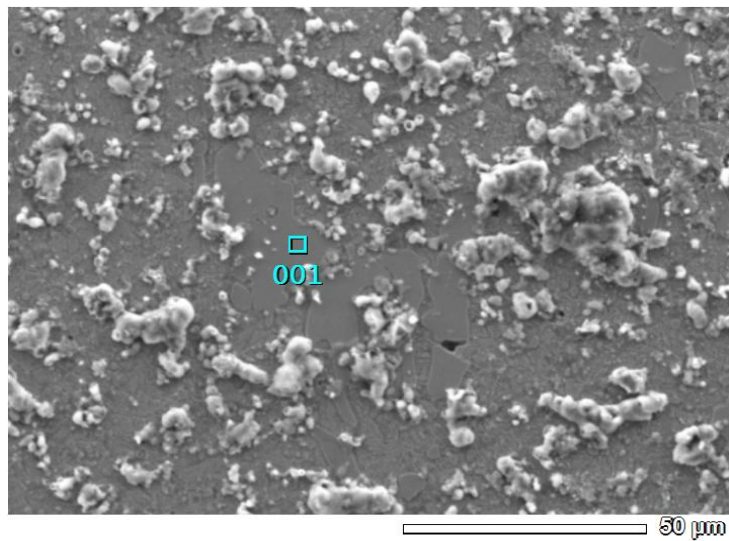


Elemento	masa (%)	compuesto atómico
C	10.06	30.24
Cr	5.92	4.11
Fe	74.97	48.45
Mo	1.49	0.56
N	2.54	6.54
O	3.87	8.73
Al	0.45	0.61
Si	0.37	0.48
Ca	0.32	0.29

Figura 46. Imagen SEM-EDS (600X) - Lateral 03

Fuente: (Autores del proyecto)

El punto (009) indica la presencia de Carburos de Hierro, Carburos de Cromo y Ferrita.

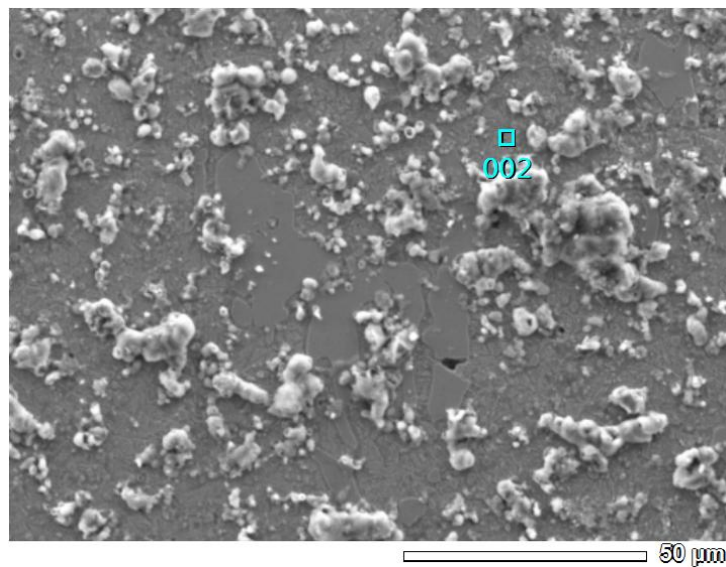


Elemento	masa (%)	compuesto atómico
C	13.85	41.95
Cr	40.02	28.00
Fe	46.12	30.04

Figura 47. Imagen SEM-EDS (600X) - Dado 01

Fuente: (Autores del proyecto)

En el punto (001) se encuentran Carburos de Hierro y de Cromo.

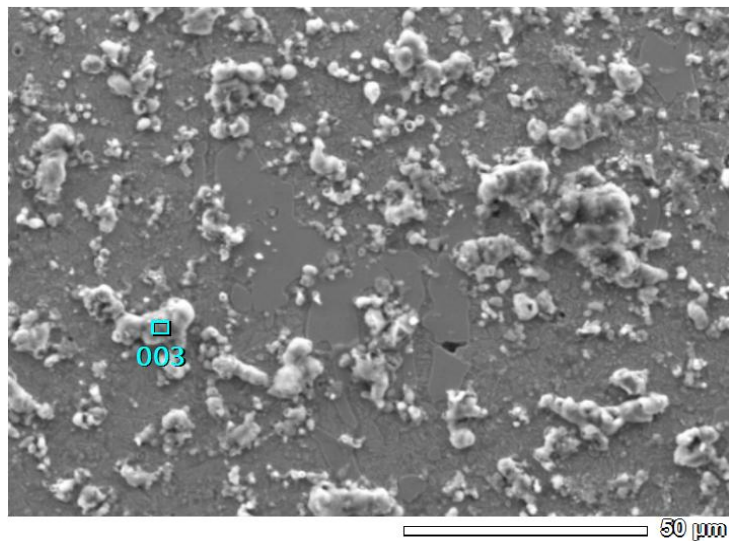


Elemento	masa (%)	compuesto atómico
C	7.94	22.94
Cr	5.02	3.36
Fe	73.80	45.88
Si	0.59	0.73
N	2.79	6.91
O	9.12	19.78
Cu	0.74	0.41

Figura 48. Imagen SEM-EDS (600X) - Dado 02

Fuente: (Autores del proyecto)

La figura 48 indica la presencia de Carburos de Cromo, Carburos de Hierro y Ferrita.

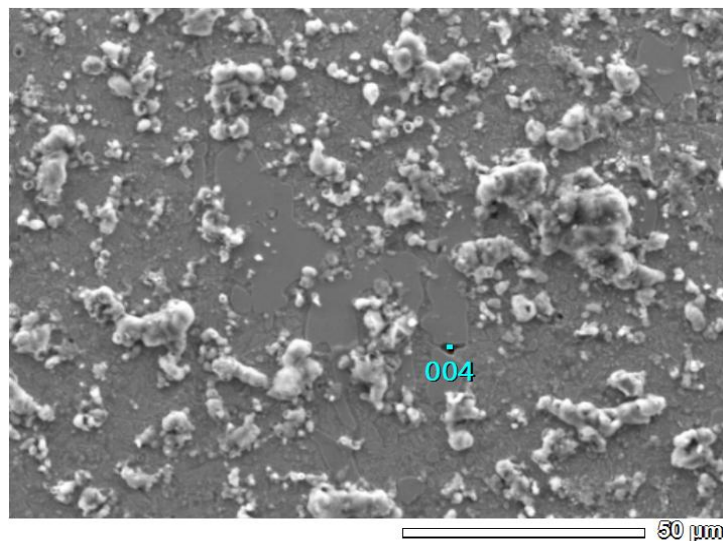


Elemento	masa (%)	compuesto atómico
C	9.30	18.82
Cr	2.81	1.31
Fe	48.03	20.90
Cl	0.82	0.56
N	4.37	7.58
O	32.64	49.58
Cu	1.07	0.41
Si	0.97	0.84

Figura 49. Imagen SEM-EDS (600X) - Dado 03

Fuente: (Autores del proyecto)

El punto (003) indica la presencia de Carburos de Cromo, Carburos de Hierro y Ferrita, y presencia de Cloro y Silicio en pequeñas cantidades.



Elemento	masa (%)	compuesto atómico
C	14.57	43.37
Cr	40.67	27.97
Fe	44.77	28.66

Figura 50. Imagen SEM-EDS (600X) - Dado 04

Fuente: (Autores del proyecto)

Además, se tomaron imágenes SEM por dispersión de electrones al lateral y al dado de la boquilla, con el fin de conocer la morfología del material. Las imágenes obtenidas se muestran a continuación.

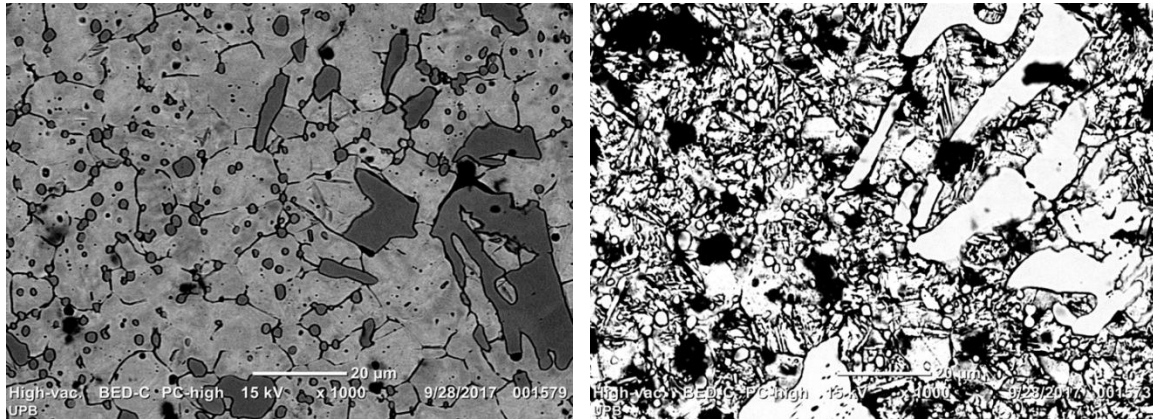


Figura 51. Imagen SEM - Lateral (1000X). Ataque químico: a) Nital; b) Kalling

Fuente: (Autores del proyecto)

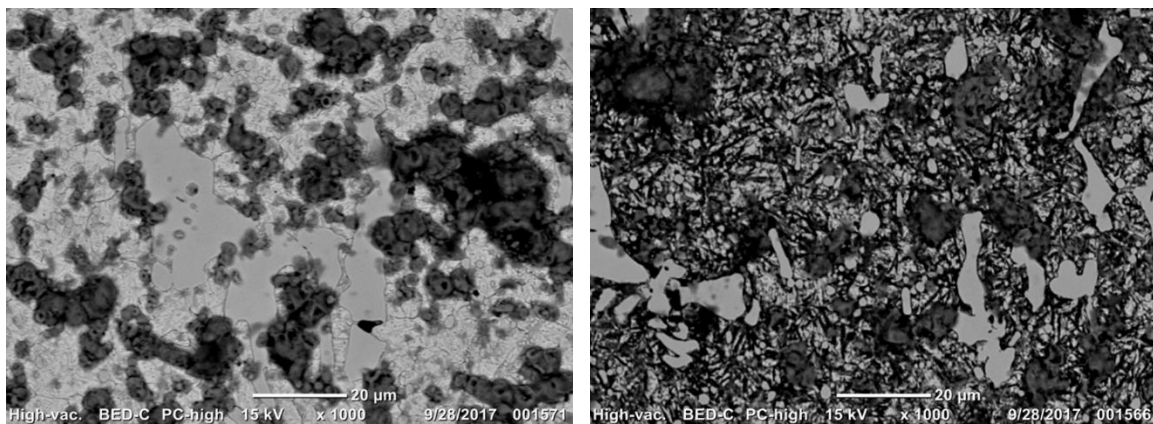


Figura 52. Imagen SEM - Dado (1000X). Ataque químico: a) Nital; b) Kalling

Fuente: (Autores del proyecto)

En estas imágenes se puede observar la presencia de Carburos que se pueden ver como losas precipitadas en la base martensítica. Las zonas oscuras indican la presencia de ferrita. Se evidencian límites de grano grueso en la base martensítica, acompañados por la presencia de Carburos entre ellos. De igual manera, se evidencia la existencia de Austenita retenida, la cual se

manifiesta como un fondo blanco entre los granos gruesos y agujas de martensita (Nuñez Gonzales, 1990).

5.7. Prueba de Abrasión

Este ensayo se realizó en el Laboratorio de Tribología de la Universidad Nacional sede Medellín, siguiendo los parámetros de la norma ASTM B611, que es un método de prueba estándar para determinar la resistencia a la abrasión de alto estrés de materiales duros, utilizando una suspensión acuosa de partículas de óxido de aluminio como medio abrasivo y una rueda de acero giratoria para forzar el abrasivo a través de una probeta plana en contacto con la rueda giratoria sumergida en la suspensión (ASTM International, 2013).

El equipo consta de un contenedor de suspensión acuosa, una rueda de acero, palanca para el control de la carga, porta-probeta y un motor. Para su funcionamiento, la máquina tiene un variador de velocidad, un contador de revoluciones y un sistema de control. El disco se encuentra en contacto con la suspensión acuosa. La probeta es presionada por medio de la palanca con una fuerza constante mientras el disco va girando.

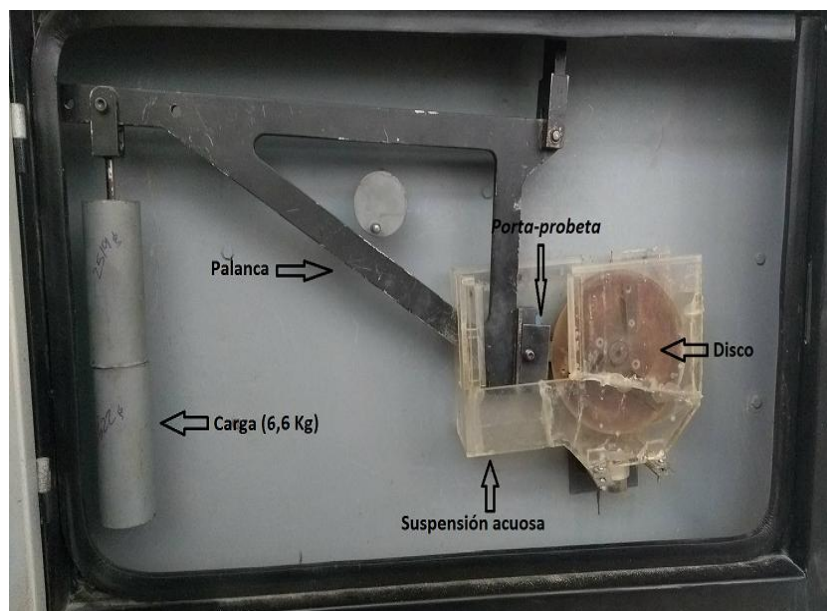


Figura 53. Esquema general del equipo utilizado en la prueba de desgaste abrasivo

Fuente: (Autores del proyecto)

Se realizaron dos ensayos de abrasión. En el primero se utilizó el abrasivo propuesto por la norma ASTM B611 (arena AFS pasante tamiz 50 y retenido en 70), pretendiendo tener un punto estándar de partida para la medida de desgaste. En el segundo ensayo se empleó el material arcilloso recolectado en la Ladrillera Ocaña, con el fin de que los resultados obtenidos fueran acorde al comportamiento real del material de la boquilla al momento de estar funcionando en la extrusora.

Las probetas fueron extraídas del lateral de la boquilla (figura 54) y sometidas a una limpieza con ultrasonido por un tiempo de cuatro minutos utilizando alcohol etílico. Después se pesaron en una balanza de precisión para tener su masa inicial. Posteriormente, se realizó el montaje en el porta-probetas de la máquina adicionando una carga de contrapeso de 6.6 Kg, que representa 200 N de fuerza tangencial ejercida entre la probeta y el disco. La suspensión acuosa fue preparada con 400 gramos de material abrasivo y 600 gramos de agua des-ionizada. Por cada

ensayo se contabilizaron 1000 revoluciones del disco de acero y nuevamente se pesaron las probetas al final, obteniéndose los resultados de la tabla 19.

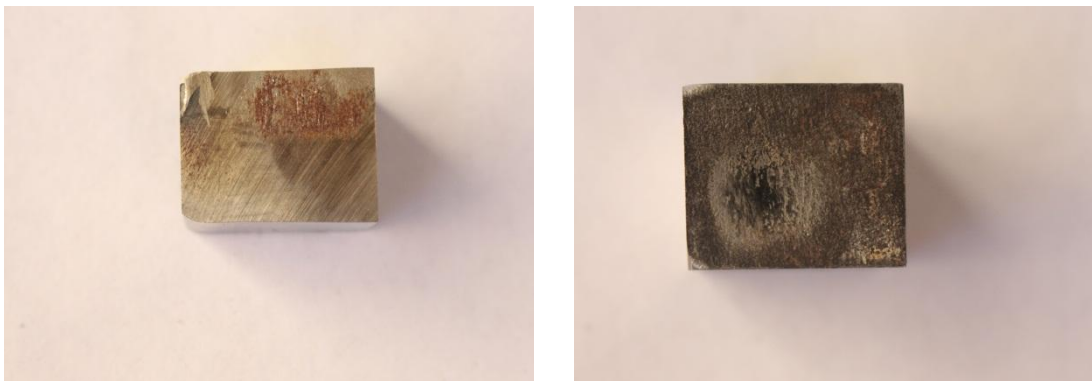


Figura 54. Probetas utilizadas en el ensayo de abrasión. a) Muestra 1; b) Muestra 2

Fuente: (Autores del proyecto)

La muestra 1 corresponde al ensayo realizado con la arena normalizada y la muestra 2 al ensayo con la arcilla de la ladrillera Ocaña.

Tabla 19. Resultados prueba de desgaste abrasivo

	Muestra 1	Muestra 2
Peso Inicial (gr)	58,4850	85,9835
Peso Final (gr)	58,4800	85,9322
Diferencia En Peso	0,0050	0,0513

Fuente: (Autores del proyecto)

Al analizar los resultados de la tabla 19, se observa que hay mayor pérdida de masa en el ensayo realizado con la muestra 2. Esto quiere decir que la arcilla de la Ladrillera Ocaña tiene un alto poder abrasivo comparado con la arena normalizada utilizada en la muestra 1.

5.8. Análisis de resultados

A través de la caracterización del material, se ha podido determinar que este corresponde a un acero de herramientas al alto Carbono alto Cromo para trabajo en frío, con características similares en composición al AISI D2.

Por medio del análisis metalográfico, se constató que este material fue sometido a un tratamiento térmico de templado, ya que como se puede observar en las figuras 33 y 35, existen carburos precipitados en una base martensítica, lo cual es una característica general de los aceros templados.

Al analizar las imágenes obtenidas en el Microscopio Electrónico de Barrido, figura 50, se observa que la martensita tiene un límite de grano grueso, que no corresponde a un buen proceso de templado, ya que en condiciones ideales la Austenita debe convertirse en una base totalmente martensítica sin la presencia de granos. La formación del límite de grano en la martensita corresponde a un sobrecalentamiento producido por un exceso en la temperatura de austenización y un exceso en el tiempo de permanencia (Nuñez Gonzales, 1990). Ambos efectos producen un aumento muy grande en el tamaño de grano austenítico que al templar a su vez da por resultado una martensita muy basta.

La figura 51 también evidencia la presencia de carburos en los límites de grano. Esto se produce, al igual que el caso anterior, por un aumento de temperatura que induce un comienzo de fusión en los bordes del grano del acero. Como el acero líquido es muy ávido de Carbono, disuelve gran cantidad de este elemento. Como consecuencia, se produce durante el enfriamiento subsiguiente una red de carburos de hierro (CFe_3 – *Cementita*) en los bordes de grano (Nuñez Gonzales, 1990).

Además, al analizar las imágenes SEM de las figuras 51 y 52 (ataque químico Kalling), se puede observar la presencia de Austenita retenida, la cual se produce por un sobrecalentamiento y se manifiesta como un fondo blanco entre los granos gruesos y agujas de martensita, en la porción exterior de la microestructura (Nuñez Gonzales, 1990). La austenita retenida provoca una disminución de la dureza en aceros templados, debido a que es más blanda que la martensita. (Facultad de Ingeniería-UNLP).

Por otra parte, los resultados de las imágenes SEM con EDS arrojan la presencia de ferrita, conocida como ferrita proeutectoide, producida por un enfriamiento lento que ocasiona la precipitación de la ferrita en los granos de austenita, antes de que esta se transforme en martensita. La ferrita es una solución sólida de Carbono en hierro α , que no llega a disolver más del 0,008%C, caracterizada por ser blanda y dúctil. La presencia de ferrita junto con la austenita retenida, disminuye la dureza de los aceros después del temple.

El análisis de DRX realizado a las arcillas, arroja la presencia de dos minerales con alta dureza, el Cuarzo y la Hematita, con durezas de 80 HRC y 65 HRC respectivamente. Estos dos compuestos son los encargados de originar el desgaste por abrasión de la boquilla, ya que la dureza de ambos sobrepasa la dureza del material de la misma, calculada en 43,19 HRC para el lateral y 58,99 HRC para el dado.

Los resultados de la prueba de dureza del lateral, muestran una variación de 16.12 HRC (tabla 10) entre la superficie y el centro de la muestra, lo que indica que se presentaron variaciones de temperatura al momento de hacer el templeado y por lo tanto no hubo una correcta distribución de la dureza, a pesar de que las dimensiones de la pieza son relativamente pequeñas.

En el dado, también se encontró una variación de 5.7 HRC, la cual no es significativa y se encuentra dentro del rango aceptado (Facultad de Ingeniería-UNLP).

Al analizar la dureza promedio del dado y del lateral, se encuentra una diferencia de 15.8 HRC, lo cual indica que no hubo uniformidad al momento de hacer el templado de la pieza. Por lo tanto, el material no es apto para el trabajo que debe desempeñar dentro de la ladrillera, teniendo en cuenta que los minerales que componen la arcilla tienen una elevada dureza que el material no es capaz de contrarrestar, originando un desgaste más rápido de la boquilla. A través de la prueba de desgaste abrasivo, se pudo observar el alto poder abrasivo que tiene la arcilla que se está utilizando en la ladrillera Ocaña.

Todo lo anterior permite afirmar que el tratamiento térmico al que fueron sometidas las piezas de la boquilla de la extrusora, presenta irregularidades manifiestas en las propiedades mecánicas de las piezas, en donde no se logró el objetivo fundamental del temple que era aumentar la dureza del acero para que fuera apto y soportara las condiciones de funcionamiento de la extrusora.

Capítulo 6. Propuesta del nuevo material

En el capítulo V se describe el proceso de caracterización físico-mecánica que se realizó al material de la boquilla, en la cual se determinó que se trataba de un acero con características similares al AISI D2. Al observar las imágenes metalográficas se encontró que este acero había sufrido un tratamiento de templado y a través de las imágenes SEM se evidenció la presencia de errores durante el desarrollo del mismo que conllevaron a que la pieza no fuera lo suficientemente resistente al desgaste abrasivo.

En este capítulo se muestra el proceso para proponer el nuevo material de la boquilla utilizada en la extrusora.

6.1. Selección del material

El análisis realizado en el capítulo V a la arcilla de la Ladrillera Ocaña, dio como resultado que tiene un alto poder abrasivo al tener grandes cantidades de Cuarzo y Hematita. El material con el que se desee fabricar la boquilla debe tener una alta resistencia al desgaste abrasivo que soporte las condiciones de trabajo a las que está expuesta la pieza. Esta característica está condicionada por la dureza del material, es decir, entre más duro sea, más resistencia tendrá al desgaste.

La martensita es la microestructura más dura que puede producirse en cualquier acero al Carbono. Solo puede formarse cuando se suprimen las transformaciones controladas por difusión de la austenita a ferrita y cementita (Facultad de Ingeniería-UNLP). Esto se logra a través de un tratamiento térmico denominado templado, en donde se eleva la temperatura del acero hasta la temperatura de austenización del mismo (entre 725°C y 1000°C) y posteriormente se somete a

un enfriamiento rápido sumergiéndola en agua, aceite o en otros fluidos o sales, para lograr que la austenita se transforme solo en martensita (Saiz).

Además de tener una matriz martensítica de alta dureza, debe contener una gran cantidad de carburos, ya que cuando se forman sobre la martensita contribuyen a brindar más dureza al material y mejorar su resistencia a la abrasión.

En el apartado 5.5 se determinó la dureza del cuarzo y de la Hematita como 80 HRC y 65 HRC, respectivamente. El material ideal debe superar esta dureza, pero por su elevado costo de fabricación y disponibilidad en el mercado, no es asequible para la empresa. Es por ello que se debe seleccionar un material que sea fácil de adquirir en el mercado pero que cumpla con ciertas condiciones de dureza, soportando el desgaste abrasivo sin que se salga de los parámetros presupuestales de la Ladrillera Ocaña.

Al consultar las tablas normalizadas del instituto americano del hierro y del acero (AISI) se encontró que la línea de aceros que cuenta con una alta resistencia al desgaste abrasivo son los AISI D, que son aceros de herramientas al alto carbono alto cromo para trabajo en frío.

Se decide seleccionar el acero AISI D6, ya que es un material que se puede adquirir fácilmente en la industria, tiene una composición química (tabla 20) que evidencia un alto porcentaje de Carbono, Cromo y pequeñas cantidades de Tungsteno.


El acero AISI D6 es una buena opción cuando se presenta desgaste abrasivo, este acero resiste a este tipo de desgaste, ya que tiene las siguientes características: alta dureza de la matriz martensítica, gran cantidad de carburos (formados por Carbono, Cromo y Tungsteno) y a la alta dureza de los carburos. Las propiedades mecánicas de este material fueron extraídas de la base de datos MatWeb y se indican en la tabla 21.

Tabla 20. Composición química acero AISI D6

C	Mn	Si	Cr	W
2.10	0.30	0.8	12	0.8

Fuente: ((MatWeb-Material Property Data)

Tabla 21. Propiedades mecánicas AISI D6

Propiedades mecánicas	Métrico	Inglés	Comentarios
Dureza, Rockwell C	46	46	900 ° C Temperatura austenizante, para temple a 600 ° C
	48	48	980 ° C Temperatura austenizante, para temple a 600 ° C
	60.5	60.5	Temperatura austenizante de 900 ° C, para templado a 250 ° C
	62	62	Endurecido y templado
	62	62	980 ° C Temperatura austenizante, para temple a 250 ° C
	64.5	64.5	A 920 ° C durante el endurecimiento, tiempo de remojo: 30 min.
	65.5	65.5	A 1000 ° C durante el endurecimiento, tiempo de remojo: 30 min.
	65.5	65.5	920 ° C durante el endurecimiento, tiempo de remojo: 60 min.
	66.5	66.5	A 960 ° C durante el endurecimiento, tiempo de remojo: 30 min.
Módulo de elasticidad	194 GPa	28100 ksi	
	173 GPa a	25100 ksi	
	temperatura 400 ° C	@Temperatura 752 ° F	
Fuerza compresiva	1320 MPa	191000 psi	HRC 45 R c 0.2
	1860 MPa	270000 psi	HRC 55 R c 0.2
	2210 MPa	321000 psi	HRC 62 R c 0.2

Fuente: (MatWeb-Material Property Data)

Como se observar en la tabla 21, la dureza del material depende del tratamiento térmico al que sea sometido.

6.2. Tratamiento térmico

Para mejorar la dureza del AISI D6 se propone realizar un templado, con el fin de crear una base martensítica dura en donde se puedan depositar los carburos y posteriormente realizar un revenido para mitigar las tensiones generadas en el templado y evitar la fragilidad (Saiz).

Cada empresa dispone de la ficha técnica del acero y a su vez da las condiciones para realizar los diferentes tratamientos térmicos y garantizar las propiedades mecánicas del mismo. En esta ficha se especifica la composición química y las temperaturas que el fabricante

recomienda para realizar el templado y el revenido y así garantizar los valores de dureza que alcanza el material.

6.3. Opción de mercado

El acero AISI D6 no se manufactura ni se comercializa en la ciudad de Ocaña. Por lo tanto, se hace necesario consultar en el mercado nacional los proveedores de este material, en donde se encontraron diferentes empresas dedicadas a la producción y venta del acero AISI D6, destacándose la Compañía General de Aceros S.A y la comercializadora de aceros BÖHLER UDDEHOLM S.A.

La ficha técnica dada por la Compañía General de Aceros S.A para el AISI D6 se muestra en los anexos juntamente con la dada por BÖHLER UDDEHOLM S.A. (Ver pág. 103 y 110).

6.4. Costo de fabricación

Como se mencionó anteriormente, cada fábrica de aceros dispone de una ficha técnica en donde se indican las características del material y las condiciones de temperatura a las que puede ser sometido en los diferentes procesos térmicos. Debido a esto, se tomó como referencia para los costos a la empresa BÖHLER UDDEHOLM S.A, quien además de fabricar el acero, realiza el tratamiento de templado y revenido, garantizando las propiedades mecánicas que se requieren para su uso en la ladrillera.

Tabla 22. Costo de fabricación de la boquilla

Costos de la Boquilla		
Descripción	Valor Unitario	Valor Total
Barra de 3.2*3*750 (mm)	\$ 269.059	\$ 269.059
Barra de 3.2*3.5*700 (mm)	\$ 292.978	\$ 292.978
4 Horas Maquinado (CNC)	80.000 (Hora)	\$ 320.000
Templado y Revenido (8 kg)	18.088 (Kg)	\$ 144.704
Gastos de Transportes	\$ 150.000	\$ 150.000
	Total	\$ 1.176.741

Fuente: (Autores del proyecto)

Conclusiones

- 1) La Ladrillera Ocaña facilitó la recolección de la información que se requería para hacer el seguimiento a la falla que venía presentando la boquilla de la extrusora. Esta información fue importante para determinar el patrón de desgaste con base a los registros diarios que lleva la ladrillera del peso del ladrillo al inicio de la jornada.
- 2) La Ladrillera Ocaña proporcionó las muestras necesarias e indicadas para realizar la caracterización del metal y de la pasta de arcilla a través de pruebas físico-químicas con las cuales se determinó que el tipo de material utilizado en la boquilla es un acero con características similares al AISI D2 y que la arcilla está compuesta de minerales duros como el Cuarzo y la Hematita que propician el desgaste temprano de la boquilla.
- 3) Los análisis de metalografía, microscopía electrónica de barrido (SEM) y dureza, permitieron observar los errores que ocurrieron al realizar el tratamiento térmico de las piezas de la boquilla, en donde se vieron afectadas las propiedades mecánicas del material, en especial la falta de homogeneidad de la dureza a través de la sección del material.
- 4) Para mitigar el desgaste abrasivo en la boquilla de la extrusora se propuso el acero de herramientas alto Carbono alto Cromo para trabajo en frío AISI D6, con un tratamiento térmico de templado y revenido. Las características del material en estado inicial permiten su fácil mecanizado y el tratamiento mejora sus propiedades mecánicas y su resistencia al desgaste.

- 5) La prueba de dureza realizada al lateral y al dado de la boquilla, arrojó una variación entre en el centro del material y la superficie. La diferencia de dureza en el lateral fue de 16.12 HRC y en el dado de 5.7 HRC. Aunque la diferencia encontrada en el dado esta dentro de los parámetros normales, la alta variación en el lateral indica cambios de temperatura al momento de hacer el templado y por lo tanto no hubo una correcta distribución de la dureza en la pieza.
- 6) El análisis de Difracción de Rayos X (DRX) dio como resultado que la pasta de la arcilla tiene gran contenido de Cuarzo y Hematita, minerales con una elevada dureza de 80 HRC y 65 HRC respectivamente. Además, se observó que en el ángulo $2\theta=60^\circ$ se expone el plano (210) del Cuarzo, esto indica que durante el proceso mecánico de molienda se puede estar cristalizando la sílice en dicho plano específico, dando como resultado mayor cantidad de cuarzo y por lo tanto una arcilla más abrasiva.
- 7) Las imágenes obtenidas en el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) dieron como resultado la presencia de Austenita retenida y ferrita. Estos dos compuestos se forman por sobrecalentamiento en el templado y provocan la disminución de la dureza, lo que ocasiona que el material no sea apto para utilizarlo en un ambiente abrasivo.
- 8) La prueba de desgaste abrasivo permitió determinar el alto poder abrasivo de la arcilla utilizada en la ladrillera respecto a la arena normalizada por la norma ASTM B611, en donde la pérdida de masa del material con la arena normalizada fue de 0.0050 y con la arcilla fue de 0.0513.

- 9) Se encontró una diferencia de dureza de 15.8 HRC entre el dado y el lateral, lo que evidencia que al templarse estas dos piezas, no se obtuvieron las mismas propiedades mecánicas, generando una pérdida de resistencia al desgaste en la boquilla.
- 10) La dureza de la arcilla oscila entre 65 HRC y 80 HRC, que comparada con la dureza promedio de la boquilla (51.09 HRC), deja en evidencia que el material que se está usando para fabricar esta pieza no es el adecuado, ya que no tiene la suficiente resistencia al desgaste abrasivo que se requiere, lo que genera una vida útil corta dentro de la empresa.
- 11) La boquilla de la extrusora de la Ladrillera Ocaña, fabricada con el material propuesto tiene un costo de \$1'176.741, el cual es inferior al costo actual que es de \$1'800.000. La diferencia de \$623.259 es un beneficio para la Ladrillera, ya que está invirtiendo menos dinero en una boquilla que se prevé, tendrá una mayor duración respecto a la actual.

Recomendaciones

1. El material con el que se fabrique la boquilla debe cumplir con los parámetros establecidos por ASTM, en donde se garantice que la composición química del material corresponda a un AISI D6. De igual forma, se deben seguir las indicaciones del fabricante al momento de hacer el tratamiento térmico de templado y revenido con el fin de lograr las propiedades mecánicas establecidas.
2. La empresa debe adquirir un mínimo de dos boquillas y realizar pruebas de uso en planta con el fin de determinar si este material corresponde a las necesidades de la ladrillera.
3. Continuar mejorando las condiciones de la planta y revisar el tamaño de partícula durante el proceso de fabricación de los ladrillos, con el fin de disminuir el potencial abrasivo de la arcilla.
4. Mejorar las condiciones de humedad de la arcilla para evitar un calentamiento en la boquilla producido por la fricción entre la arcilla y el material de la boquilla y así evitar un mal funcionamiento de la misma que disminuya su vida útil.

Referencias

- Askeland, D. R., & Phulé, P. P. (2004). *Ciencia e ingeniería de los materiales* 4° ed. International Thompsom editores, S.A.
- ASM International . (1992). *ASM Handbook Vol. 18. Friction, Lubrication, and Wear Technology*. USA.
- ASM International . (2004). *ASM HANDBOOK VOL. 09. Metalography and Microstructures 10° ed.* ASM Handbook Committee.
- Asociación de Ladrilleros del Sur Occidente Colombiano. (01 de Junio de 2012).
OCCIARCILLAS. Recuperado el 19 de Julio de 2017, de <http://occiarcillas.com/la-industria-ladrillera/>
- ASTM International. (2013). *ASTM International*. Recuperado el 06 de 10 de 2017, de <https://www.astm.org/Standards/B611.htm>
- asturnatura.com. (s.f.). *Asturnatura.com*. Recuperado el 28 de 09 de 2017, de <https://www.asturnatura.com/mineral/cuarzo/3555.html>
- Bianucci, M. A. (2009). *El Ladrillo - Orígenes y Desarrollo*. Resistencia, Chaco, Argentina.
- Cún Sánchez , M. F. (2010). *Mejoramiento y tecnificación de una máquina extrusora para la elaboración de ladrillos artesanales*. Guayaquil - Ecuador.
- Dagoberto, C. (16 de 09 de 2011). *SCRIBD*. Recuperado el 20 de 08 de 2017, de <https://es.scribd.com/doc/65185190/NORMA-TECNICA-COLOMBIANA-NTC-4205>

Diaz del Castillo Rodriguez , F., & Reyes Solís , A. (2012). *Aceros, estructuras y tratamientos térmicos*. Universidad Nacional Autónoma de México, Cuatitlán Izcalli.

Diaz Rogriguez , L. A., & Torrecillas, R. (2002). Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*.

espectrometria.com. (s.f.). Recuperado el 06 de 10 de 2017, de

https://www.espectrometria.com/tipos_de_espectrometra

espectrometria.com. (s.f.). Recuperado el 06 de 10 de 2017, de <https://www.espectrometria.com/>

Facultad de Ingeniería-UNLP. (s.f.). Dureza y templabilidad en aceros. En *Estructura y propiedades de las aleaciones* .

Facultad Ingeniería Industrial. (2011). *Metalografía protocolo - curso de materiales*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Gallegos, H. (2005). *Alvañilería Estructural*. Perú: Fondo Editorial PUCP.

Grupo tecnología mecánica - Proceso de fabricación. (s.f.). *Rugosidad Superficial* .

Gutierrez Quintero , W. (2014). *RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO DE RECUBRIMIENTOS PRODUCIDOS POR PROYECCIÓN TÉRMICA PARA APLICACIONES NAVALES*. Bogotá, Colombia.

HEINZ, K., & GAHR, Z. (1987). *MICROSTRUCTURE AND WEAR OF MATERIALS*. ELSEVIER.

Hutchings, I. (01 de Enero de 1992). *Tribology: Friction and Wear of engineering materials* .
Great Britain .

ICONTEC. (22 de 12 de 2005). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA - NTC 4051. *Productos cerámicos para construcción. Definiciones y términos.*

Ingemecánica. (s.f.). *Ingemecánica*. Recuperado el 12 de 10 de 2017, de
http://ingemecanica.com/tutoriales/tabla_dureza.html

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid. (s.f.). *ICMM*. Recuperado el 16 de 08 de 2017, de
<http://www.icmm.csic.es/es/divulgacion/posters/TEC-Microscopia%20Electronica%20de%20Barrido.pdf>

López López, E. J. (2004). *ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL DESGASTE ABRASIVO EN ACEROS AISI 8620, D-2 Y H-13 CON Y SIN TRATAMIENTO SUPERFICIAL*. Ciudad de México.

Márquez, A. L. (2002). *Diseño de una máquina tribológica para pruebas de desgaste abrasivo severo*. México.

MatWeb. (s.f.). *MatWeb*. Recuperado el 15 de 10 de 2017, de
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=1d7e75003e154b628366c28f700c277d&ckck=1>

MatWeb-Material Property Data. (s.f.). *MatWeb-Material Property Data*. Recuperado el 06 de 10 de 2017, de
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=1f1e8f8cff784e08a85ee4eb26968a65&ckck=1>

- Medina Espinosa, F. (2001). *MAMPOSTERIA REFORZADA INTERIORMENTE: USOS, COMPORTAMIENTO Y DISEÑO*. UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON .
- Molina Prieto, L. F. (2010). Alfarería y Urbanismo. *Revista Nudo N°8*, 31-32.
- Moreno, F. (1981). *El Ladrillo en la Construcción*. España: CEAD.
- Núñez Gonzales, G. (1990). *Falla en los tratamientos térmicos para aceros de herramienta*. Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica, Huixquilucan.
- P., S. N. (1986). *Tribophysics* . USA: Prentice Hall.
- Pereira, U. T. (06 de 2015). *Metalografía - Universidad Tecnológica de Pereira* . Recuperado el 16 de 08 de 2017, de <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/#2412>
- R. Smith, J. (s.f.). *Quartz*.
- Rozo Rincón, S. M., Sánchez Molina , J., & Álvarez Rozo, D. (2014). Propiedades físico mecánicas de bloques H-10 fabricados en el área metropolitana de Cúcuta. *Universidad Militar Nueva Granada - Ciencia e Ingeniería Neogranadina* , 68.
- Saiz, J. (s.f.). *Tema 4. Tratamientos térmicos del acero. La corrosión*.
- Stolarski, T. (1991). *Tribology in Machine Desing*. USA: Industrial Press Inc.
- (1983). En T. A. Stolarski, *Tribology in Machine Design*. Newnes.
- Tecnimetalsa. (2006). *Tecnimetalsa*. Recuperado el 08 de 10 de 2017, de <http://www.tecnimetalsa.es/rugosimetro%20tr200%20portatil.htm>

UANL. (2001). *Mampostería Reforzada Interiormente: Usos, Comportamiento y Diseño*.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Universidad del País Vasco. (28 de 09 de 2006). Recuperado el 20 de 08 de 2017, de

<http://www.ehu.eus/imacris/PIE06/web/DRXP.htm>

UTP. (2004). Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en recubrimientos duros para

aplicaciones en la industria minera. *Scientia et Technica*, 1.

Velilla Diaz, W. (2008). *Diseño y validación de un modelo de extrusora de Arcilla* .

Barranquilla: Universidad del Norte .

Anexos

Anexo 1. Resultados prueba de rugosidad

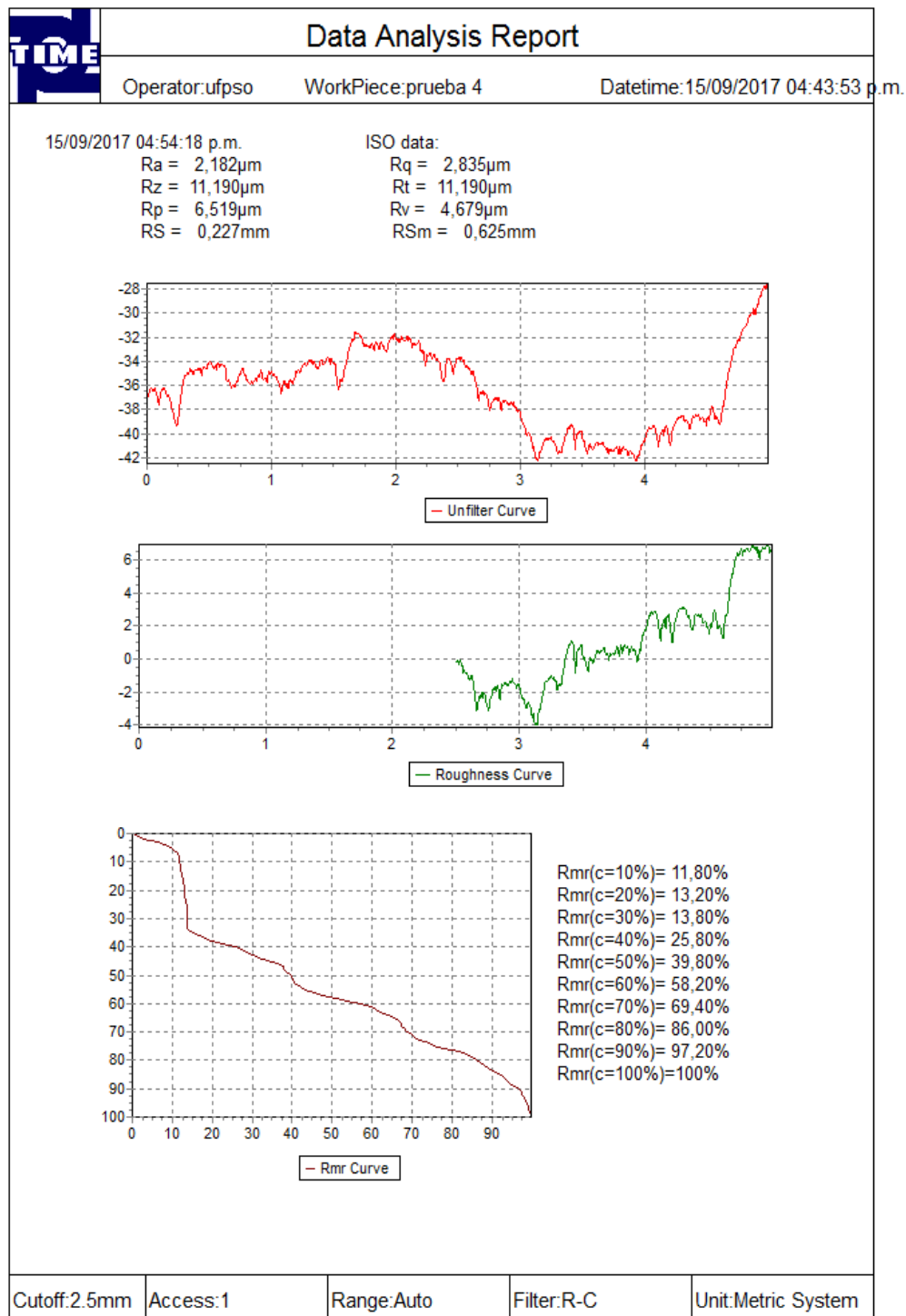


Ilustración 1. Prueba de rugosidad (01)

Fuente: Autores del proyecto

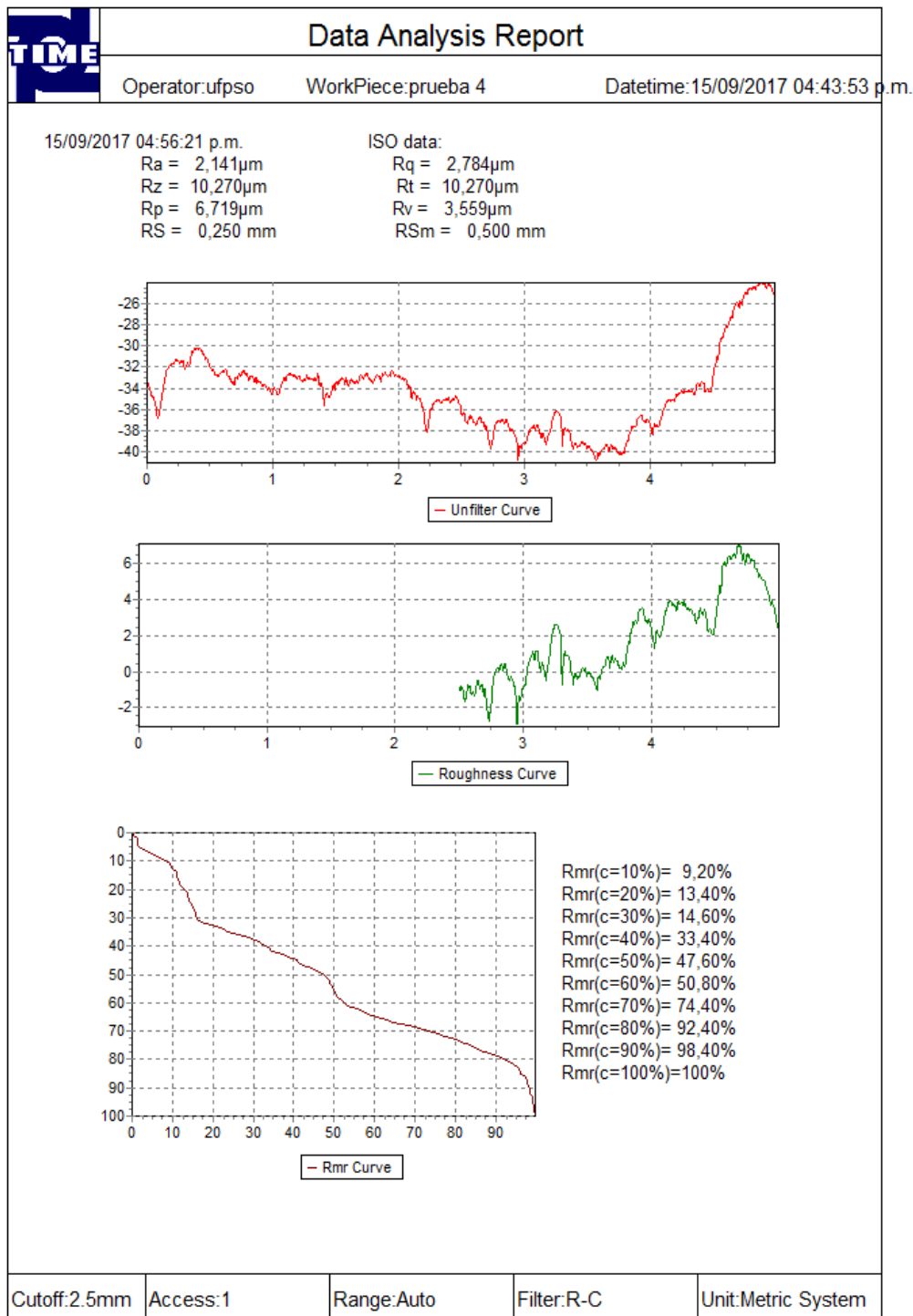


Ilustración 2. Prueba de rugosidad (02)

Fuente: (Autores del proyecto)

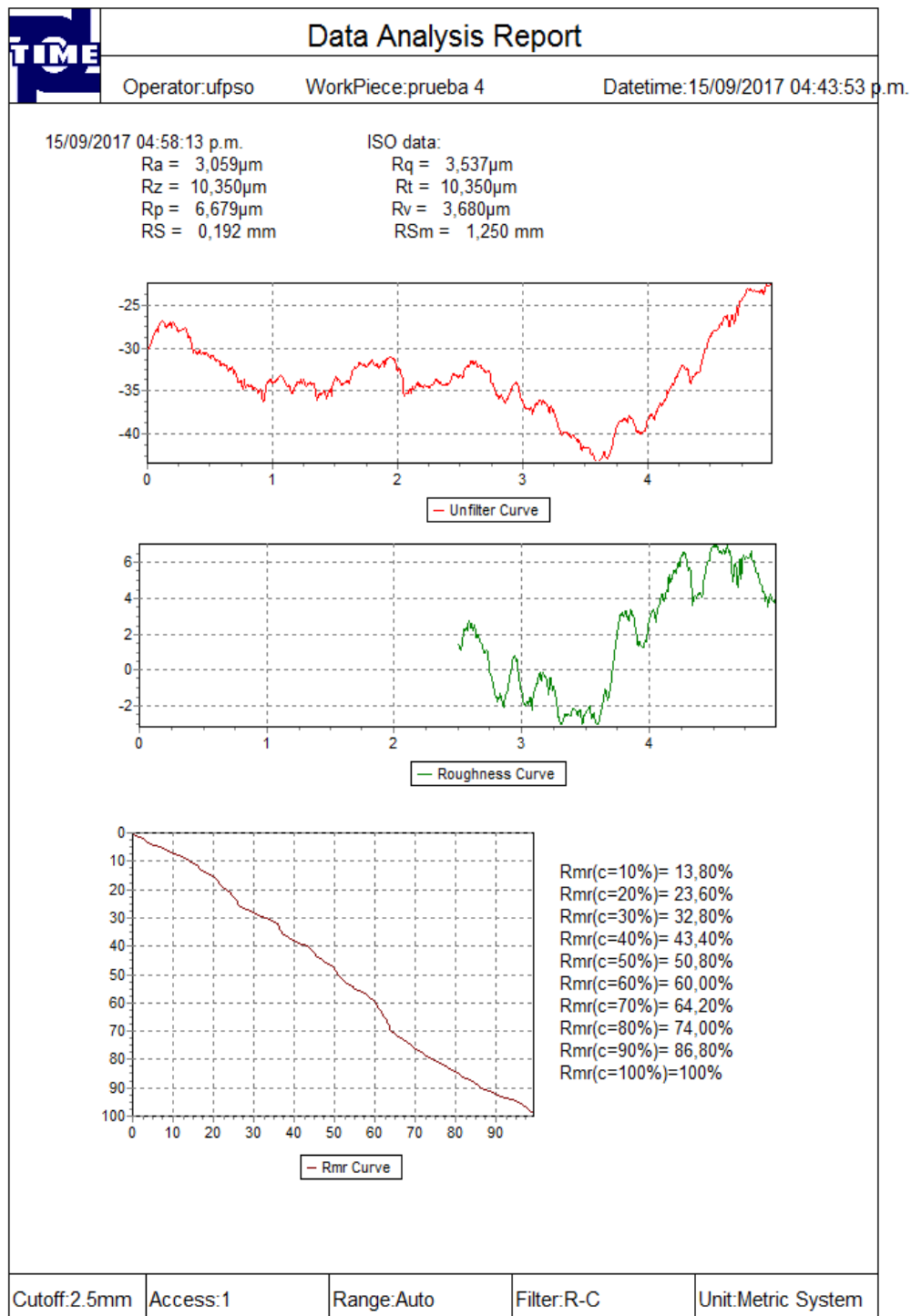


Ilustración 3. Prueba de rugosidad (03)

Fuente: (Autores del proyecto)

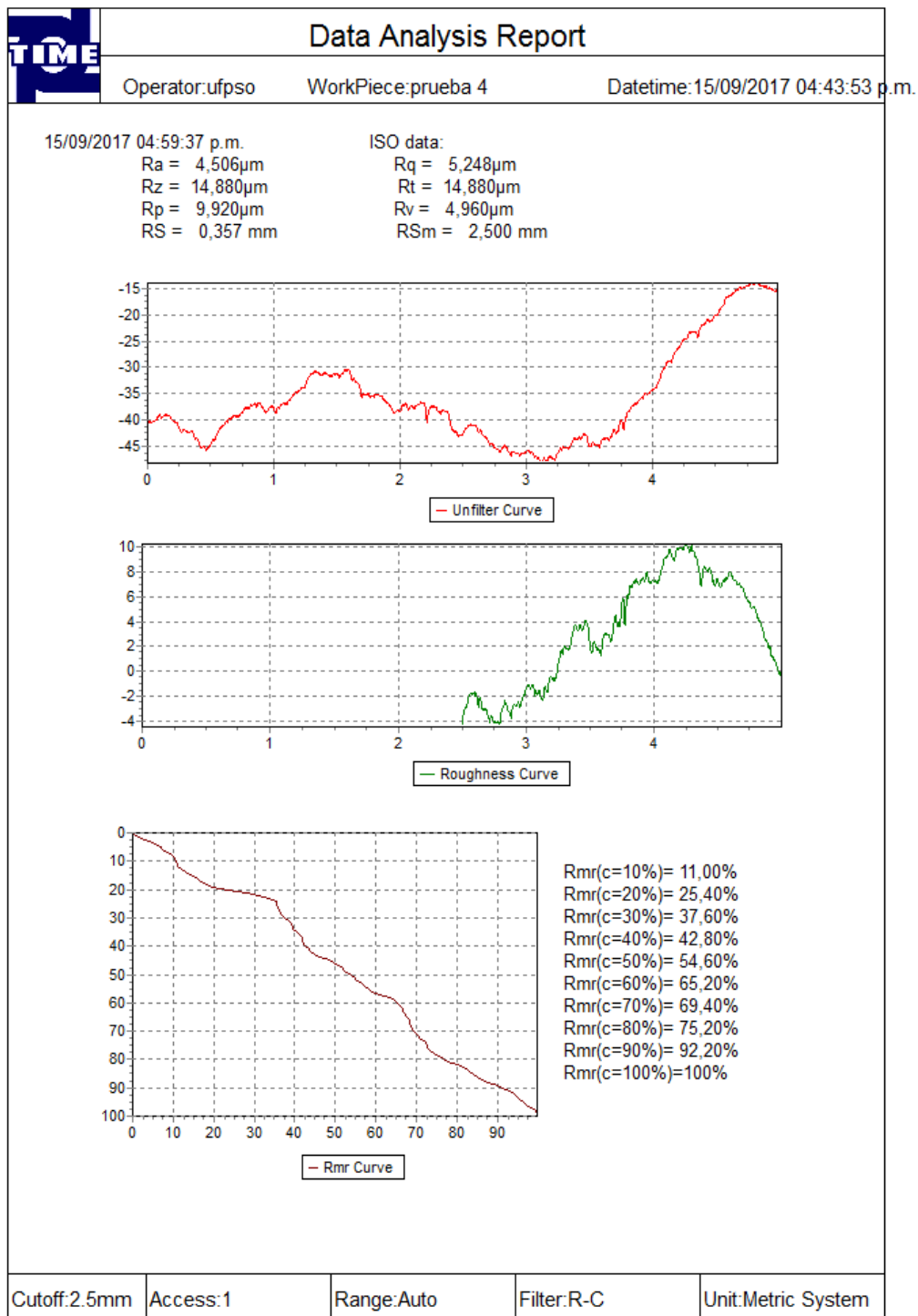


Ilustración 4. Prueba de rugosidad (04)

Fuente: (Autores del proyecto)

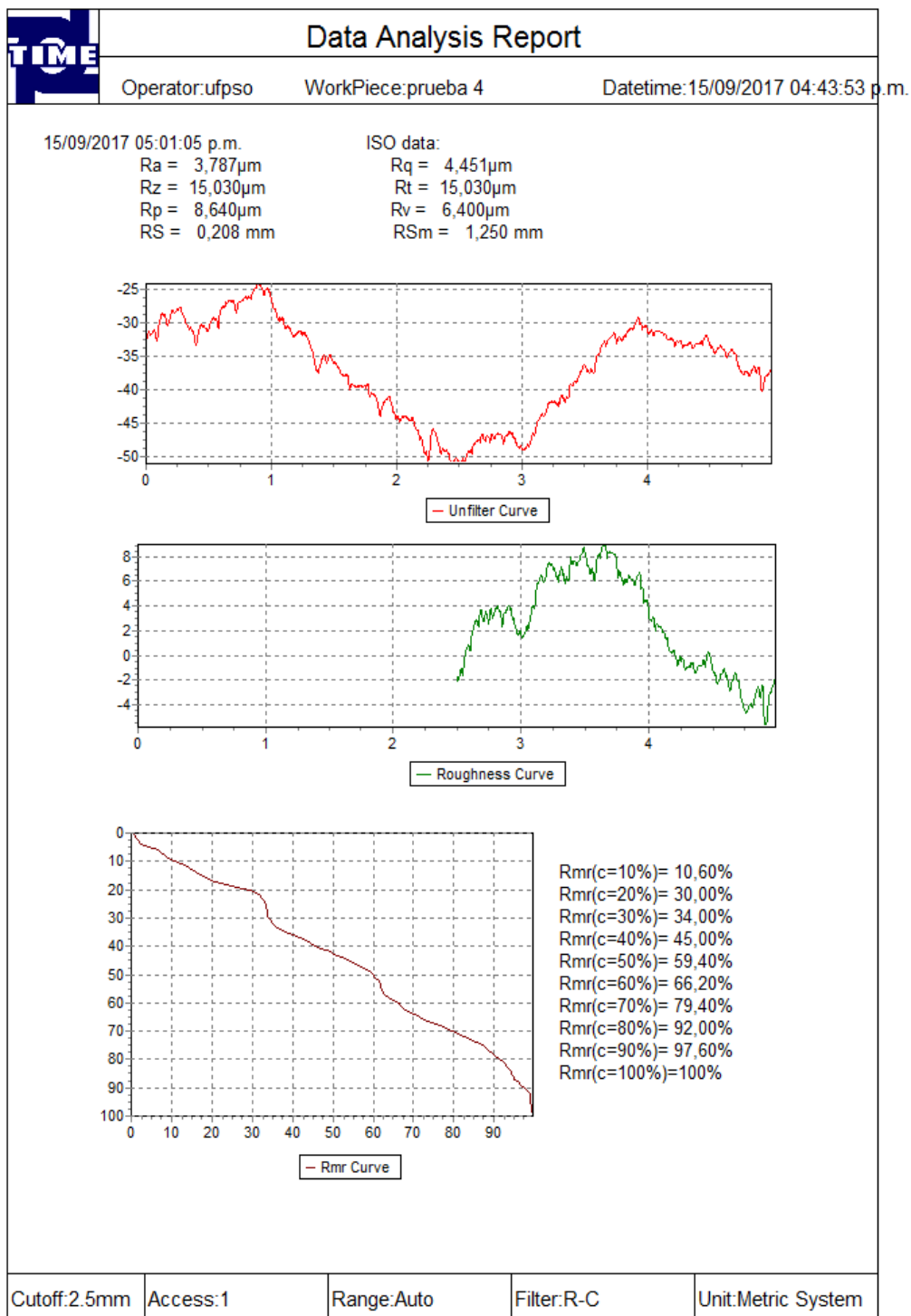


Ilustración 5. Prueba de rugosidad (05)

Fuente: (Autores del proyecto)

Anexo 2. Imágenes metalográficas

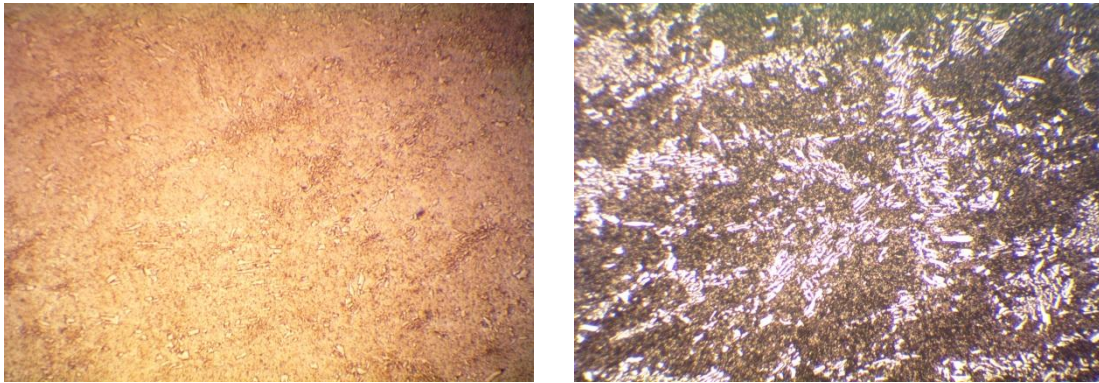


Ilustración 6. Imagen metalográfica Lateral. Ataque químico: a) Nital; b) Kalling (50X)

Fuente: (Autores del proyecto)

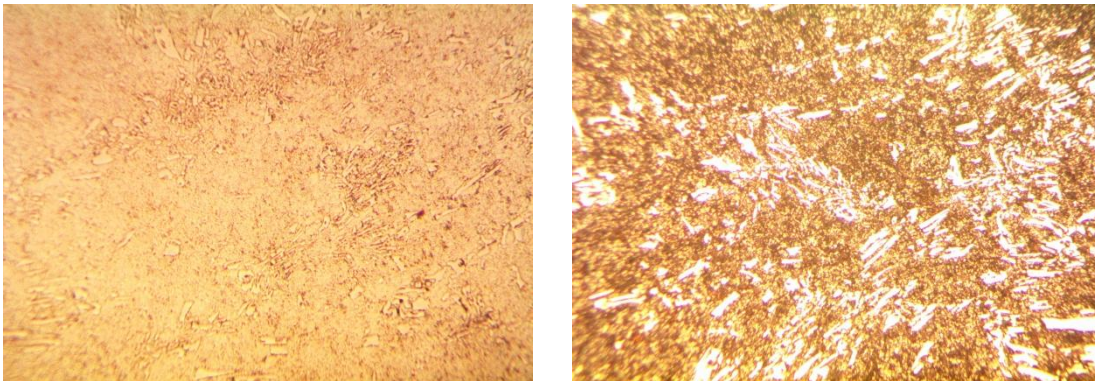


Ilustración 7. Imagen metalográfica Lateral. Ataque químico: a) Nital; b) Kalling (100X)

Fuente: (Autores del proyecto)

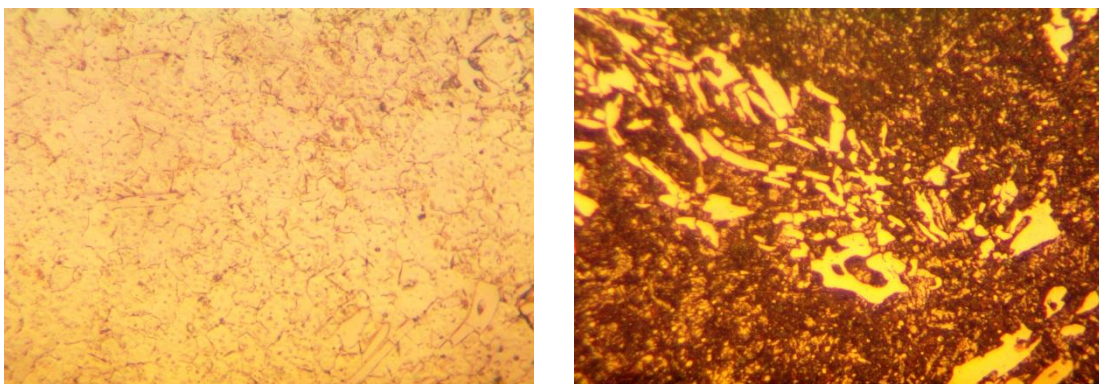


Ilustración 8. Imagen metalográfica Lateral. Ataque químico: a) Nital; b) Kalling (400X)

Fuente: (Autores del proyecto)

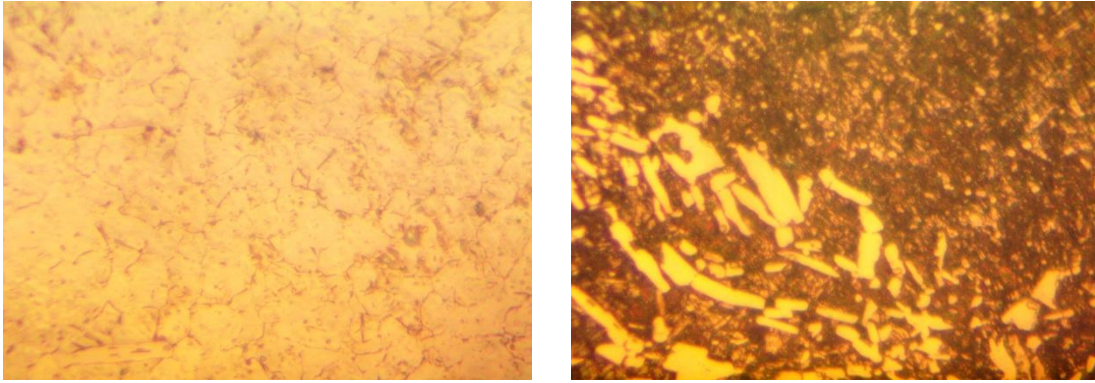


Ilustración 9. Imagen metalográfica Lateral. Ataque químico: a) Nital; b) Kalling (600X)

Fuente: (Autores del proyecto)

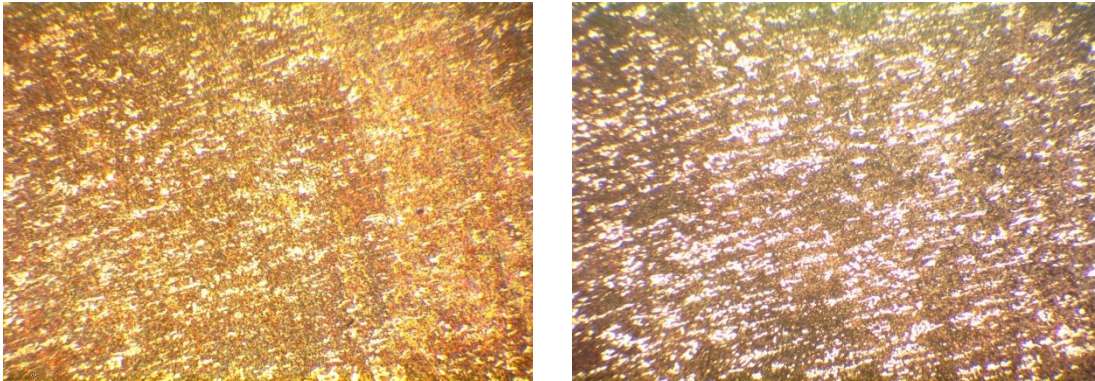


Ilustración 10. Imagen metalográfica Dado. Ataque químico: a) Nital; b) Kalling (50X)

Fuente: (Autores del proyecto)

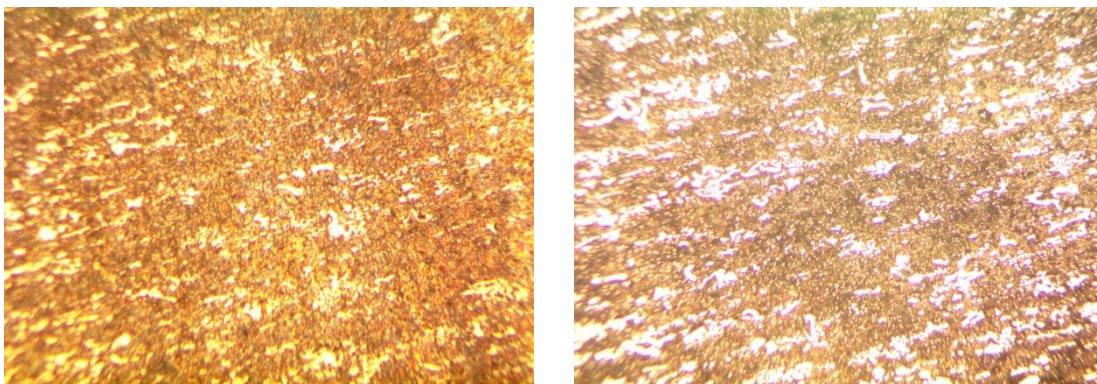


Ilustración 11. Imagen metalográfica Dado. Ataque químico: a) Nital; b) Kalling (100X)

Fuente: (Autores del proyecto)

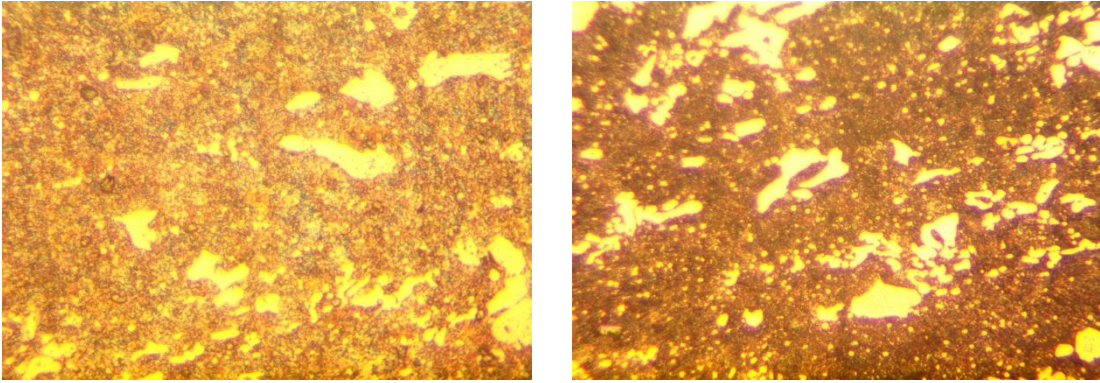


Ilustración 12. Imagen metalográfica Dado. Ataque químico: a) Nital; b) Kalling (400X)

Fuente: (Autores del proyecto)

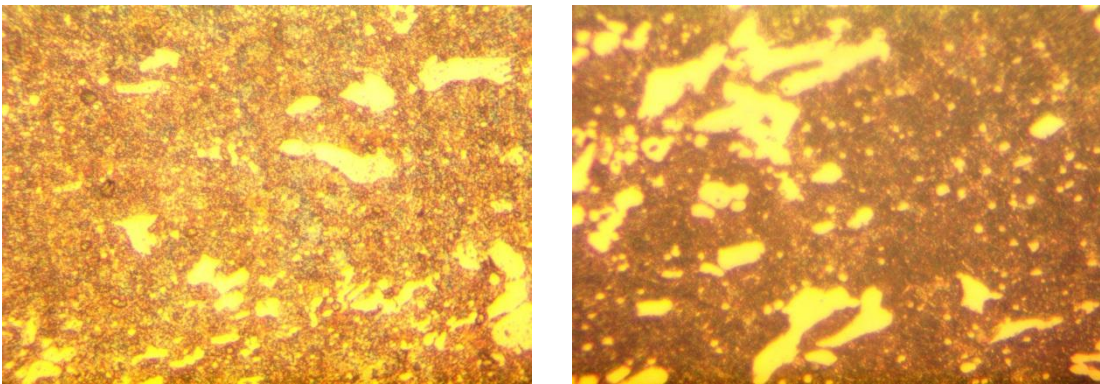


Ilustración 13. Imagen metalográfica Dado. Ataque químico: a) Nital; b) Kalling (600X)

Fuente: (Autores del proyecto)

Anexo 3. Ficha técnica – Cia. General de Aceros S.A

A continuación se presenta la ficha técnica dada por la Compañía General de Aceros S.A para el AISI D6. En ella se indican las instrucciones para la realización de los tratamientos térmicos al acero propuesto. La empresa reconoce el AISI D6 como 1.2436.

Cia. General de Aceros S.A

ACERO HERRAMIENTA - Trabajo en Frío
1.2436

INOX TEC
soluciones en acero inoxidable

SGS

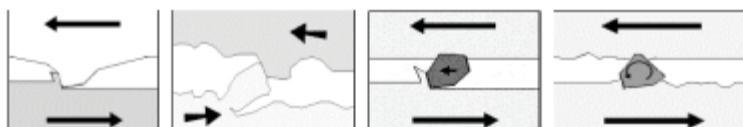
Maxdur
Innovación en Acero

1.2436

Generalidades

Al momento de seleccionar un acero se debe tener en cuenta la naturaleza del material a ser cortado, el volumen de producción, la precisión y al tipo de desgaste al cual va a ser sometido, abrasivo o adhesivo.

El desgaste abrasivo tiene lugar cuando partículas o superficies duras son arrastradas o presionadas sobre una superficie sólida. La velocidad a la cual las superficies se desgastan por abrasión depende de las características físicas de cada superficie (rugosidad, presencia de aristas entre otros factores).



El acero 1.2436 es una buena opción cuando se presenta desgaste abrasivo, este acero resiste a este tipo de desgaste, ya que tiene las siguientes características: alta dureza de la matriz martensítica, gran cantidad de carburos (formados por Carbono, Cromo y Tungsteno) y a la alta dureza de los carburos.

Composición química

Análisis típico en %	C	Si	Mn	Cr	W
	2.1	0.35	0.35	12	0.7

Características del acero

El acero 1.2436 es un acero aleado con Cromo (Cr), y Tungsteno (W) que le permiten al acero una alta resistencia al desgaste abrasivo y erosivo, alto rendimiento en corte y buena templabilidad. Se entrega con una dureza de suministro de 210 – 230 HB.

Ventajas

El acero 1.2436 tiene las siguientes ventajas.

- Mayor resistencia al desgaste abrasivo y erosivo.
- Alta resistencia a la compresión.
- Alta dureza superficial después del temple.



Cia. General de Aceros S.A

Características físicas

Temperatura	20°C	200°C
Densidad, kg/m ³	7800	7650
Conductividad térmica W/m °C	33.5	32
Modulo de elasticidad N/mm ²	194000	189000
Calor específico J/kg °C	460	

Coeficiente de expansión térmica 10⁻⁶ m/(m . K)

20 – 100°C	20 – 200°C	20 – 300°C	20 – 400°C	20 – 500°C	20 – 600°C	20 – 700°C
10.9	11.9	12.3	12.6	12.9	13	13.2

Conductividad térmica w/(m.K)

20°C	350°C	700°C
16.7	20.5	24.2

Aplicaciones

El acero 1.2436 es utilizado en las siguientes fabricaciones:

1. Empleado en la fabricación de troqueles para cortar chapas de acero hasta 3 mm de espesor.
2. Utilizado para realizar rodillos de perfilado y rebordado.
3. Herramientas para embutido profundo.
4. Herramientas de prensado para la industria de la cerámica (fabricación de ladrillos, muelas abrasivas y tejas).



Cia. General de Aceros S.A

Aplicaciones

Aplicación en matrices y punzones de corte

Material	Espesor en mm	Dureza de trabajo HRC
Chapa de acero fleje, aluminio y sus aleaciones, cobre y sus aleaciones	Hasta 3 mm	58 – 62
Chapa de fleje para dinamos y transformadores	Hasta 2 mm	60 – 62
Plástico, madera, goma, papel, cuero y textiles		58 – 62

Aplicación en cuchillas

Tipo de Cuchilla	Espesor a cortar en mm	Dureza de trabajo HRC
Cuchillas circulares y planas	Hasta 2 mm	58 – 62
Cuchillas para papel	todos los espesores	58 – 62

Aplicación en embutición y prensado

Herramienta	Dureza de trabajo HRC
Matrices y punzones	58 – 62
Molde para teja y ladrillos cerámicos	60 – 62



Cia. General de Aceros S.A

Tratamiento térmico

Para tratar el 1.2436 se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones.

Recocido

Proteger el acero y calentarlo en toda su masa entre los 800°C y los 840°C. Luego enfriarlo lentamente en el horno hasta aproximadamente 650°C, luego enfriar al aire.

Temple

Temperatura de precalentamiento:

Primer precalentamiento 450°C, Segundo precalentamiento 600 °C– 650°C, Temperatura de austenización 960°C a 980 °C, enfriar al aire. El acero se debe calentar hasta la temperatura de austenización y mantener la temperatura en función del espesor de la herramienta, después de homogenizar la temperatura en el acero.

Proteger la herramienta con atmósfera neutra, contra posibles decarburaciones y oxidaciones durante el proceso de endurecimiento.

Diagrama Tiempo – Temperatura para el Tratamiento Térmico

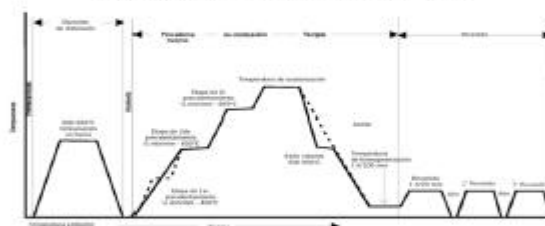
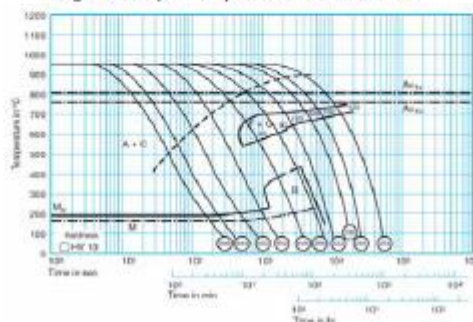


Diagrama Tiempo – Temperatura – Transformación



Cia. General de Aceros S.A

Tratamiento térmico

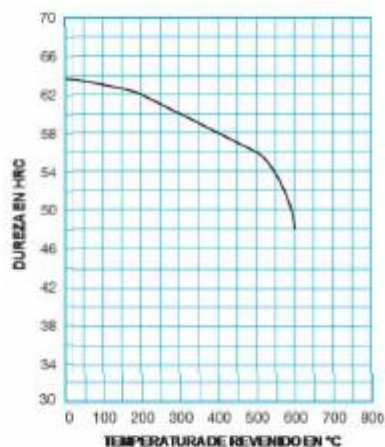
Medios de enfriamiento

- Aceite A 80°C
- Are forzado.
- Baño de martempering o lecho fluidizado a 189 – 220 °C, luego enfriar al aire.

Revenido

Elegir la temperatura de revenido de acuerdo a la dureza requerida tomando como referencia la curva de revenido (ver curva de revenido). Revenir mínimo 2 veces con enfriamiento intermedio hasta la temperatura ambiente. Se recomienda mantener la temperatura mínimo 2 horas (dependiendo del tamaño de la pieza). Mínima temperatura de revenido 200 °C. Disminuir el tiempo de revenido y/o el número de revenidos va en detrimento de la integralidad de la pieza, ya que esta quedaría frágil, lo que facilita la fractura en condiciones de servicio.

Curva de revenido del acero 1.2436



REVENIDO (°C)	100	200	300	400	500	600
HRC	63	62	60	58	56	48

Cambio de dimensiones por efecto del tratamiento térmico de Temple.



Cia. General de Aceros S.A

Placa probeta de 100 x 100 x 25 mm

		Ancho %	Largo %	Espesor %
Temple en aceite desde 960°C	min.	-0,05	+0,07	-
	max.	-0,08	+0,09	-0,08
Baño de martemple desde 960°C	min.	-0,01	+0,07	-
	max.	-0,03	+0,09	-0,16
Temple al aire desde 960°C	min.	+0,05	+0,09	-
	max.	+0,06	+0,13	+0,05

Cambio de dimensiones por efecto del tratamiento térmico de Temple .

Alivio de Tensiones

Si la pieza sufre durante el proceso de mecanizado un alto nivel de arranque de viruta, se inducirán esfuerzos importantes sobre el acero que provocan tensiones internas y cuando estas superan el límite de elasticidad del acero, son liberadas como deformación.

Por lo tanto es necesario controlar el nivel de dichas tensiones (deformaciones) por medio de un recocido, el cual se realiza entre 600 y 650° C durante dos horas y posterior enfriamiento al aire. Si la pieza adquiere alguna deformación posterior a este tratamiento, fácilmente puede ajustarse su geometría con un mecanizado leve justo antes de enviar a temple.

Mecanizado por Electroerosión

Para este tipo de aceros se recomienda realizar de manera rigurosa, el proceso de escalonamiento de los amperajes, de acuerdo a los pasos de desbaste, aproximación y terminado.

Durante la electroerosión se forma en las superficies de las piezas una capa fundida llena de finos poros (capa blanca), que pueden ser el principio de grietas que causan fallos prematuros de la pieza fabricada.

El proceso de electroerosión adecuado se realiza siguiendo los siguientes pasos:

1. Reducción del amperaje a medida que se alcanza las medidas finales de la cavidad.
2. Remoción de la capa blanca por medio de pulido.
3. Regeneración de la estructura por medio de un revenido 50°C por debajo de la última temperatura de revenido utilizada.

Nitruración

El acero 1.2436, no debe ser nitrurado (tenifer) debido a que la curva de revenido presenta una caída de dureza a las temperaturas comprendidas entre 550°C – 600°C.

Si no se tienen en cuenta estas recomendaciones, se pueden presentar problemas de deterioro prematuro por desgaste, aparición de grietas en el herramienta, que disminuyen substancialmente su vida útil.

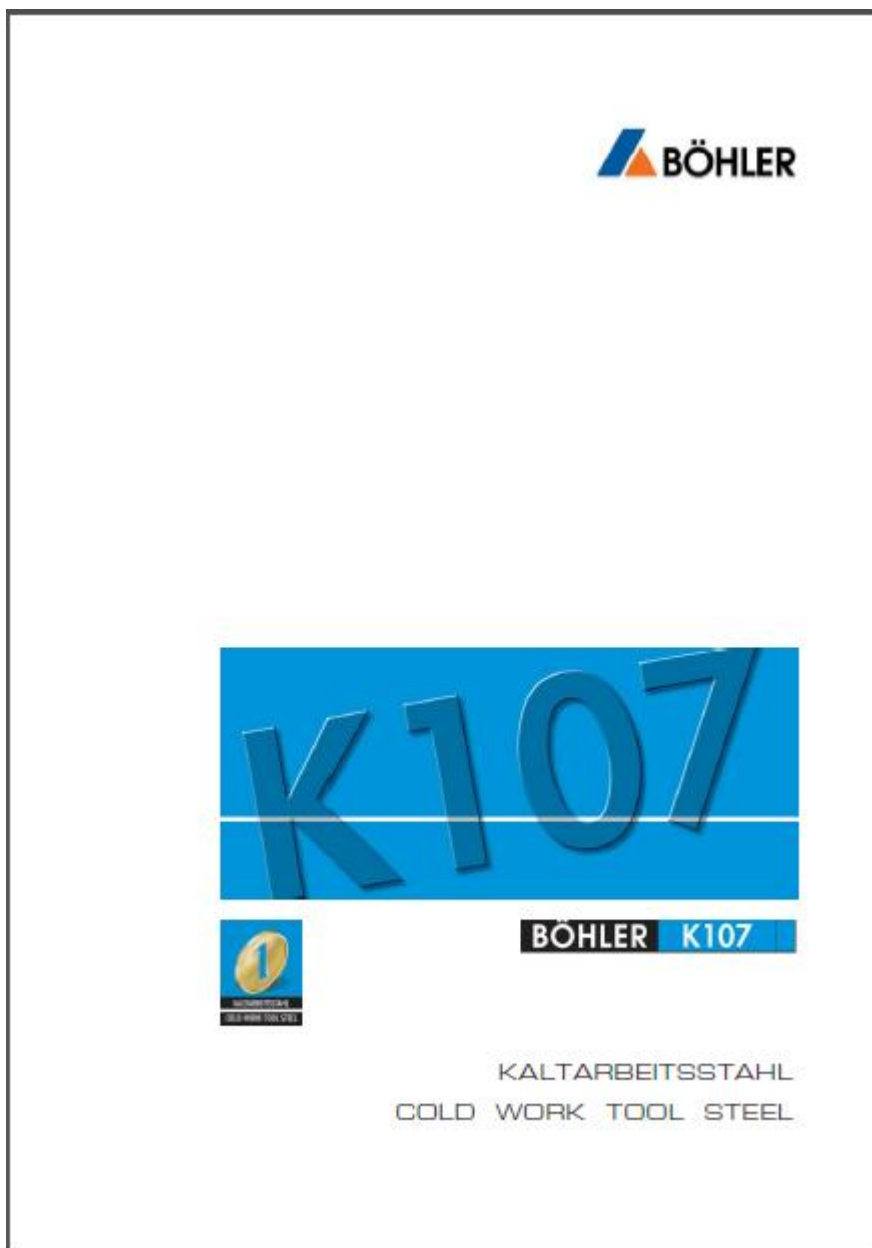
*Los datos son obtenidos de la información emitida por nuestro proveedor de Aceros



Cia. General de Aceros S.A

Anexo 4. Ficha técnica – BÖHLER UDDEHOLM S.A.

A continuación se presenta la ficha técnica dada por BÖHLER UDDEHOLM S.A. para el AISI D6. En ella se indican las instrucciones para la realización de los tratamientos térmicos al acero propuesto. La empresa reconoce el AISI D6 como K107.



BÖHLER K107

Eigenschaften

Maßänderungsarmer, ledeburitischer 12% iger Chromstahl mit hoher Verschleißfestigkeit, luft-härtbar.

Properties

Dimensionally stable ledeburitic 12% chromium steel, possessing superior wear resistance, suitable for air hardening.

Verwendung

Schnitt- und Stanzwerkzeuge:

Vorwiegend Stempel für Hochleistungsdrhte und sehr komplizierte Folge- und Gesamschnitte, vor allem für die Elektroindustrie, Beschlagwerkzeugung, Konsumgüter- u. Kartongüterindustrie, Ultraschallindustrie, Sägeschnittdrhte, auch Schäl- und Reparatwerkzeuge für große Stützrollen, hochbeanspruchter Stempel für alle Arten von Stanzwerkzeugen, Schermesser hoher Schnittleistung zum Schneiden von Blechen bis etwa 4 mm Dicke, Abgaswerkzeuge, Messer für Drahtzöpfe-Erzeugung usw.

Spannabhebende Werkzeuge:

Räumnadeln, Messer für die Stahlblechfertigung, hochbeanspruchte Holzbearbeitungswerkzeuge.

Werkzeuge zur spanlosen Formgebung:

Gewindezacken- und -rollen, Bündel- und Si-danrollen, Stempel und Matrizen für die Kaltstanz-Fertigung, Drück- und Preßwerkzeuge, Tiefziehwerkzeuge, Fließpreßwerkzeuge zum Verarbeiten von Leichtmetallegeringen und Stahl, Einsenkpflöhen für die Herstellung von Kunststoffformen, Rändelwerkzeuge, Ziehwalzen für Drahtzug, Ziehwalzen und Ziehstopfen für Rohr- und Stanzgut, Dornen zum Kaltziehen von Stahlrohren, Hämmer zur Nadelherstellung (Nadelherstellungsdornen).

Meßzeuge:

Application

Blanking, punching, shearing etc.:

Punches for high duty and complicated progressive and integral cutting dies, mainly for industries making electrical equipment, fittings, card-board, pressure cans, and watches; saw bath cutting dies, scraping and trimming tools for maximum production runs, all types of high duty punches, high performance shear blades for cutting sheet of up to 4 mm thickness, deburring tools, and cutters for wire nail manufacture.

Machining:

Broaches, cutters for steel wool production, high duty wood working tools.

Chipless shaping:

Thread rolling dies, flanging and beading dies, punches and dies for cold chut manufacture; tools for spinning, pressing, deep drawing, and cold extrusion of light alloys and steel; master hobs for making synthetic resin, molding dies, knurling tools, wire drawing die, mandrels and dies for tubular rod drawing, mandrels for the cold pilger rolling of steel tubes, hammers and redrawing dies for needle manufacture.

Measuring tools:

BÖHLER K107

Wear-resisting tools and components:

Press tools for the processing of highly abrasive ceramic materials, line plates for the brick industry and for making refractories, press tools for the pharmaceutical industry, automatic loom guide sleeves, guide bars in centerless grinding machines, cone pulleys and rings for wire drawing machines, sandblast nozzles, and tools for the powder metal industry.

Wear-resisting tools and components:

Press tools for the processing of highly abrasive ceramic materials, line plates for the brick industry and for making refractories, press tools for the pharmaceutical industry, automatic loom guide sleeves, guide bars in centerless grinding machines, cone pulleys and rings for wire drawing machines, sandblast nozzles, and tools for the powder metal industry.

Hot work tools:

High duty hammer zones for the manufacture of scythes and sickles, and for fast hitting hammers used to forge hard or high alloy steels; tyre mill finishing rolls, hot drawing rings etc.

Hot work tools:

High duty hammer zones for the manufacture of scythes and sickles, and for fast hitting hammers used to forge hard or high alloy steels; tyre mill finishing rolls, hot drawing rings etc.

Chemical composition (average %)

C	Si	Mn	Cr	W
2,10	0,25	0,40	11,50	0,70

Nomen

EN / DIN
< 1.2436 >
X210C/W12

UNE
- F5213
- X210C/W12

Standards

AISI
(-D6)

SIS
- 23 12

UNI
- X215C/W12 10J

BÖHLER K107

Warmformgebung

Schmelzen:

1050 bis 850°C

Langsame Abkühlung in Öfen oder in wärmeisolierendem Material.

Hot forming

Forging:

1050 to 850°C

Slow cooling in furnace or thermoinsulating material.

Wärmebehandlung

Weichglühen:

800 bis 850°C

Gewegelte langsame Ofenabkühlung mit 10 bis 20°C/h bis ca. 600°C, weitere Abkühlung in Luft. Härte nach dem Weichglühen:

max. 250 HB.

Heat treatment

Annealing:

800 to 850°C

Slow controlled cooling in furnace at a rate of 10 to 20°C/hr down to approx. 600°C, further cooling in air.

Hardness after annealing: max. 250 HB.

Spannungsermüdung:

650 bis 700°C

Langsame Ofenabkühlung.

Zum Spannungsabbau nach umfangreicher Zerspaltung oder bei komplizierten Werkstücken.

Haltedauer nach vollständiger Durchwärmung 1 - 2 Stunden in neutraler Atmosphäre.

Stress relieving:

650 to 700°C

Slow cooling in furnace.

Intended to relieve stresses set up by extensive machining, or in complex shapes.

After through heating, hold in neutral atmosphere for 1 - 2 hours.

Härten:

950 bis 980°C

Öl, Warmbad (220 bis 250°C oder 500 bis 550°C),

Öl, Luft, Gas

Haltedauer nach vollständiger Durchwärmung:

15 bis 30 Minuten.

Erzielbare Härte: 64 - 66 HRC.

Sonderwärmbehandlung:

Härten 1020°C und Anlassen bei 500°C.

Erzielbare Härte ca. 61 HRC

(z.B. bei nachfolgenden Nitrieren).

Hardening:

950 to 980°C

Oil, salt bath (220 to 250°C or 500 to 550°C),

air, plastic, oil, gas

Holding time after temperature equalization:

15 to 30 minutes.

Obtainable hardness: 64 - 66 HRC.

Special treatment:

Hardening 1020°C and tempering at 500°C.

Obtainable hardness approx. 61 HRC

(e.g. if followed by nitriding).

Anlassen:

Langsames Erwärmen auf Anlasstemperatur unmittelbar nach dem Härten/Verweildauer im Ofen 1 Stunde je 20 mm Werkstückdicke, jedoch mindestens 2 Stunden/Luftabkühlung.

Richtwerte für die erzielbare Härte nach dem Anlassen bitten wir dem Anlasseschaubild zu entnehmen.

In bestimmten Fällen ist es zweckmäßig mit geringerer Anlasstemperatur und verlängerter Haltedauer vorzugehen.

Tempering:

Slow heating to tempering temperature immediately after hardening time in furnace 1 hour for each 20 mm of workpiece thickness but at least 2 hours/cooling in air.

For average hardness figures to be obtained please refer to the tempering chart.

For certain cases we recommend to reduce tempering temperature and increase holding time.

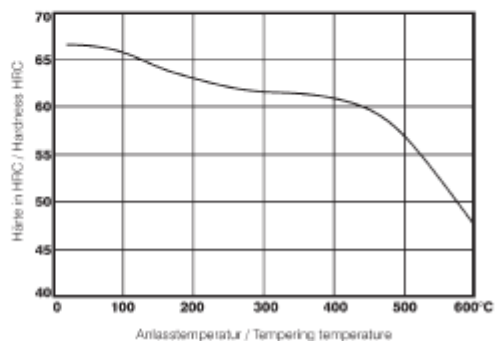
BÖHLER K107

Anlassschaubild

Härtetemperatur: 950 °C
 Probenquerschnitt: Vkt. 20 mm

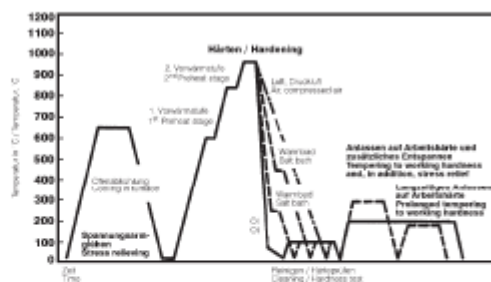
Tempering chart

Hardening temperature: 950 °C
 Specimen size: square 20 mm



Wärmebehandlungsschema

Heat treatment sequence



Reparaturschweißen

Die Gefahr von Rissen bei Schweißarbeiten ist, wie allgemein bei Werkzeugstählen, vorhanden. Sollte ein Schweißen unbedingt erforderlich sein, bitten wir Sie, die Richtlinien Ihres Schweißauswerkstoffherstellers zu beachten.

Repair welding

There is a general tendency for tool steels to develop cracks after welding. If welding cannot be avoided, the instructions of the appropriate welding electrode manufacturer should be sought and followed.

BÖHLER K107

ZTU-Schaubild für kontinuierliche Abkühlung / Continuous cooling CCT curves

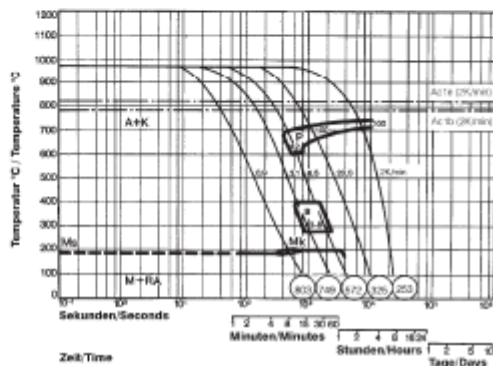
Ausentwärtungstemperatur: 980°C
Halbedauer: 30 Minuten

○ Härte in HV
3 ... 100 Gefügeanteile in %
0,9 ... 2,0 Abkühlungsparameter, d. h. Abkühlungsdauer von 800°C bis 500°C in s x 10²
2 K/min Abkühlungsgeschwindigkeit in K/min im Bereich von 800°C bis 500°C
Mk ... Korngrenzenarbeit

Ausentwärtungstemperatur: 980°C
Holding time: 30 minutes

○ Vickers hardness
3 ... 100 phase percentages
0.9 ... 2.0 cooling parameter, i.e. duration of cooling from 800°C to 500°C in s x 10²
2 K/min cooling rate in K/min in the 800°C to 500°C range
Mk ... Grain boundary martensite

Chemische Zusammensetzung (Anhaltswerte in %) / Chemical composition (average %)						
C	Si	Mn	Cr	V	W	
2,03	0,39	0,32	11,49	0,11	0,78	

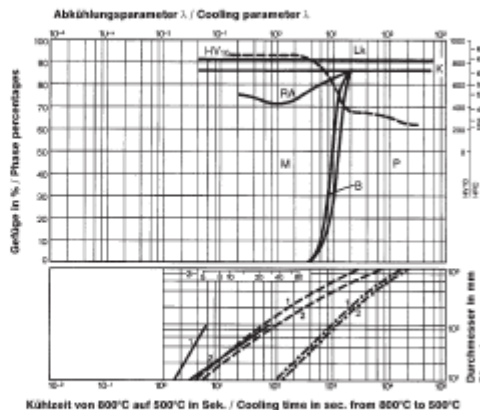


Gefügemengenschaubild / Quantitative phase diagram

Lk ... Ledeburitkarbid / Ledeburite carbide
RA ... Restaustenit / Residual austenite
A ... Austenit / Austenite
B ... Bainit / Bainite
P ... Perlit / Pearlite
K ... Karbid / Carbide
M ... Martensit / Martensite

— Wasserführung / Water cooling
- - - Ölführung / Oil cooling
- · - Luftführung / Air cooling

1... Weils Ø drand / Edge or face
2... Weils Ø dazentrum / Core
3... Jominy Probe:
Abstand von der Stirnfläche / distance from the end
3... Jominy tact:
distance from end



BÖHLER K107

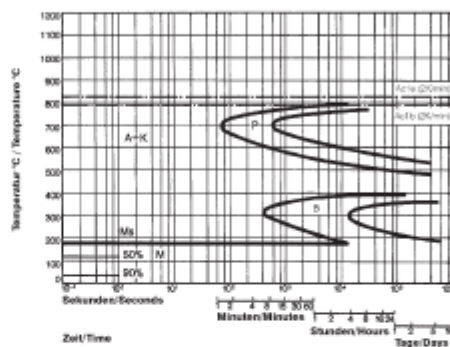
Isothermisches ZTU-Schaubild / Isothermal TTT curves

Austenitierungstemperatur: 980°C
Halbedauer: 30 Minuten

Austenitizing temperature: 980°C
Holding time: 30 minutes

- A.... Austenit / Austenite
- B.... Bainit / Bainite
- P.... Perlit / Pearlite
- K.... Karbid / Carbide
- M.... Martensit / Martensite

Chemische Zusammensetzung (Anhaltswerte in %) / Chemical composition (average %)					
C	Si	Mn	Cr	V	W
2,03	0,39	0,32	11,49	0,11	0,78

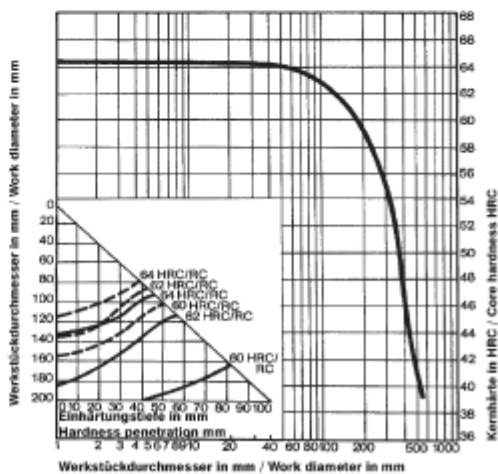


Abhängigkeit der Kernhärte und der Einhärtetiefe vom Werkstückdurchmesser

Härtetemperatur: 950°C
Härtemittel:
— Öl
- - - - - Luft

Influence of work diameter on core hardness and hardness penetration

Quenchtiefe: 950°C
Agent:
— Öl
- - - - - Luft



BÖHLER K107

Bearbeitungshinweise

Wärmebehandlungszustand weich gegüht, Ritzwerk

Drehen mit Hartmetall				
Schneidfase mm	0,5 bis 1	1 bis 4	4 bis 8	über 8
Vorschub mm/U	0,1 bis 0,3	0,2 bis 0,4	0,3 bis 0,6	0,5 bis 1,5
BÖHLERIT - Hartmetallbohrer	S810, S820	S810, S820, Φ 10	Φ 30, ER20	S830, S840
ISO - Sorte	P10, P20	P10, P20, M10	P30, M20	P30, P40
Schnittgeschwindigkeit, m/min				
Wendeschleifplan Standzeit 15 min	210 bis 150	160 bis 110	110 bis 80	70 bis 45
Gelöste Hartmetallewerkzeuge Standzeit 30 min	150 bis 110	135 bis 85	90 bis 60	70 bis 35
Bauchdrehen Wendeschleifplan Standzeit 15 min				
BÖHLERIT ROYAL 12 1	bis 210	bis 180	bis 130	bis 80
BÖHLERIT ROYAL 13 1	bis 140	bis 140	bis 100	bis 60
Schneidwinkel für gelöste Hartmetallewerkzeuge				
Spanwinkel	6 bis 12	6 bis 12°	6 bis 12°	6 bis 12°
Freiwinkel	6 bis 8	6 bis 8	6 bis 8	6 bis 8
Neigungswinkel	0°	-4°	-4°	-4°
Drehen mit Schnellbohrstahl				
Schneidfase mm	0,5	3	6	
Vorschub mm/U	0,1	0,4	0,8	
BÖHLERIT/ISO - Sorte		S700 / DIN 51 0 4 3-10		
Schnittgeschwindigkeit, m/min				
Standzeit 60 min	30 bis 20	20 bis 15	18 bis 10	
Spanwinkel	14°	14°	14°	
Freiwinkel	8°	8°	8°	
Neigungswinkel	-4°	-4°	-4°	
Fräsen mit Messerfräsen				
Vorschub mm/U	bis 0,2		0,2 bis 0,4	
Schnittgeschwindigkeit, m/min				
BÖHLERIT SBR ISO P2 5	150 bis 100		110 bis 60	
BÖHLERIT S840/ISO P40	100 bis 60		70 bis 40	
BÖHLERIT ROYAL 13 1 / ISO P3 5	130 bis 85		130 bis 85	
Bohren mit Hartmetall				
Bohrerdurchmesser mm	3 bis 8	8 bis 20	20 bis 40	
Vorschub mm/U	0,02 bis 0,05	0,05 bis 0,12	0,12 bis 0,18	
BÖHLERIT / ISO Hartmetallbohrer	HB10/K10	HB10/K10	HB10/K10	
Schnittgeschwindigkeit, m/min				
	50 bis 35	50 bis 35	50 bis 35	
Spitzenwinkel	115 bis 120°	115 bis 120°	115 bis 120°	
Freiwinkel	5°	5°	5°	

BÖHLER K107

Recommendation for machining

(Condition annealed, average values)

Turning with carbide tipped tools				
depth of cut, mm	0,5 to 1	1 to 4	4 to 8	over 8
feed, mm/rev.	0,1 to 0,3	0,2 to 0,4	0,3 to 0,6	0,5 to 1,5
BOHLERIT grade	SB10, SB20	SB10, SB20, EB10	SB30, EB20	SB30, SB40
ISO grade	P10, P20	P10, P20, M10	P30, M20	P30, P40
cutting speed, m/min				
indexable carbide inserts edge life 15 min	210 to 150	160 to 110	110 to 80	70 to 45
braded carbide tipped tools edge life 30 min	150 to 110	135 to 85	90 to 60	70 to 35
hard faced indexable carbide inserts edge life 15 min				
BOHLERIT ROYAL 1.21	to 210	to 180	to 130	to 80
BOHLERIT ROYAL 1.31	to 140	to 140	to 100	to 60
cutting angles for braded carbide tipped tools				
side angle	6 to 12°	6 to 12°	6 to 12°	6 to 12°
clearance angle	6 to 8°	6 to 8°	6 to 8°	6 to 8°
angle of inclination	0°	-4°	-4°	-4°
Turning with HSS tools				
depth of cut, mm	0,5	3	6	
feed, mm/rev.	0,1	0,4	0,8	
HSS grade BÖHLER/DIN		S700 / DIN S10 4 3-10		
cutting speed, m/min				
edge life 60 min	30 to 20	20 to 15	18 to 10	
side angle	14°	14°	14°	
clearance angle	8°	8°	8°	
angle of inclination	-4°	-4°	-4°	
Milling with carbide tipped cutters				
feed, mm/tooth	to 0,2		0,2 to 0,4	
cutting speed, m/min				
BOHLERIT SB R ISO P25	150 to 100		110 to 60	
BOHLERIT SB40/ISO P40	100 to 60		70 to 40	
BOHLERIT ROYAL 1.31 / ISO P35	130 to 85		130 to 85	
Drilling with carbide tipped tools				
d drill diameter, mm	3 to 8	8 to 20	20 to 40	
feed, mm/rev.	0,02 to 0,05	0,05 to 0,12	0,12 to 0,18	
BOHLERIT / ISO grade	HB10K10	HB10K10	HB10K10	
cutting speed, m/min				
	50 to 35	50 to 35	50 to 35	
tip angle	115 to 120°	115 to 120°	115 to 120°	
clearance angle	5°	5°	5°	

BÖHLER K107

Physikalische Eigenschaften Physical properties

Dichte bei /
Density at 20°C 7,70 kg/dm³

Wärmeleitfähigkeit bei /
Thermal conductivity at 20°C 2,00 W/(m.K)

Spezifische Wärme bei /
Specific heat at 20°C 4,60 J/(g.K)

Spez. elektr. Widerstand bei /
Electrical resistivity at 20°C 0,65 Ohm.cm²/m

Elastizitätsmodul bei /
Modulus of elasticity at 20°C $2,10 \times 10^5$ N/mm²

Wärmeausdehnung zwischen 20°C und ...°C, 10⁻⁶ m/(m.K) bei Thermal expansion between 20°C and ...°C, 10⁻⁶ m/(m.K) at

100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C
1,05	11,0	11,0	11,5	12,0	12,0

Für Anwendungen und Verarbeitungsschritte, die in der Produktbeschreibung nicht ausdrücklich erwähnt sind, ist in jedem Einzelfall Rücksprache zu haben.

As regards applications and processing steps that are not expressly mentioned in the product description/data sheet, the customer shall in each individual case be required to consult us.