

Análisis del Comportamiento Microestructural de un Diente de Retroexcavadora

Brian Yesid Sánchez Mendoza

Trabajo de Grado Presentado como requisito para optar al Título de Ingeniero

Metalúrgico

Director

Ana Emilse Coy Echeverria

Profesor Asociado

Codirector

Jaime Gonzales

Ingeniero Metalúrgico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales

Bucaramanga

2018

Agradezco principalmente a Dios por haberme permitido culminar con éxito esta etapa de mi vida, a mis padres Heriberto Sánchez y Mayerlit Mendoza por apoyarme siempre, por motivarme a salir adelante a pesar de las adversidades y obstáculos de la vida, a mi hermana Jenifer Sánchez su apoyo también fue incondicional a lo largo de mi carrera, a mis demás familiares y amigos, a las personas que estuvieron y están conmigo ahora, cada uno de ellos aportó algo para mi crecimiento personal.

Cada cosa llega a su tiempo, nunca se está muy tarde ni muy temprano.

Agradecimientos

Le agradezco en primer lugar a la **Universidad Industrial de Santander**, por los años prestados de enseñanza y crecimiento personal e profesional.

En segundo lugar, a mi directora de trabajo de grado la profesora **Ana Emilse Coy Echeverría** y mi co-director el profesor **Jaime Alberto González González**, quienes tuvieron bastante paciencia, brindando sus conocimientos y apoyo de la mejor manera posible.

Por último, a los profesores que hicieron parte de mi formación académica y lograron cautivar mi interés en la carrera.

Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Antecedentes	14
2. Objetivos	20
2.1 Objetivo General	20
2.2 Objetivos Específicos.....	20
3. Metodología	21
3.1 Inspección Visual y Análisis Dimensional del Diente.....	21
3.2 Caracterización Química, Microestructural y de Dureza del Diente	21
3.3 Análisis del Tipo de Daño Causado en el Diente y Propuesta de una Alternativa de Mejoramiento de sus Propiedades Mecánicas o Selección de un Nuevo Material	22
4. Resultados y Discusión.....	23
4.1 Inspección Visual.....	23
4.2 Composición Química	25
4.3 Caracterización Microestructural.....	26
4.3.1 Zona superficial.	26

4.3.2 Zona central.	27
4.4 Dureza.....	29
4.5 Análisis del Desgaste en el Diente.....	30
4.5.1 Zona 1. Parte posterior del diente.	30
4.5.2 Zona 2. Punta del diente.....	31
5. Conclusiones.....	34
Referencias Bibliográficas.....	35
Apéndices.....	37

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Dimensiones de los dientes usado y nuevo.</i>	23
Tabla 2. <i>Composición química del diente y composiciones nominales de aceros AISI SAE.</i>	25
Tabla 3. <i>Valores de dureza obtenidos.</i>	29

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Tipos de tasa de desgaste.	17
<i>Figura 2.</i> Tipos de desgaste.	17
<i>Figura 3.</i> Micrografías del diente en la zona superficial: Microscopía óptica a)200X, b)500X y Microscopía electrónica c)500X, d)1500X.	27
<i>Figura 4.</i> Micrografías tomadas por Microscopia Óptica a) 500X, b)1000X y Microscopia Electrónica c)5000X, d)10000X.	28
<i>Figura 5.</i> Diagrama TTT acero AISI SAE 4130 más aproximado al AISI SAE 4135.	28
<i>Figura 6.</i> Micrografías tomadas por Microscopia Electrónica 1000X y 8000X.	29
<i>Figura 7.</i> Diente Chisel 1U3202 usado.	30
<i>Figura 8.</i> Zona 1 a) inclusiones de arena, b) marcas de arado con patrón repetitivo, c) deformación plástica, d) deformación por partículas sólidas.	31
<i>Figura 9.</i> Zona 2 a) Grieta, b) Corrosión, c) Deformación plástica y d) fractura frágil.	32

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Resultados de composición química.....	37
Apéndice B. Diagrama Hierro-Carbono	38

Resumen

Título: Análisis del Comportamiento Microestructural de un Diente de Retroexcavadora*

Autor: Brian Yesid Sánchez Mendoza**

Palabras Clave: Diente, Retroexcavadora, Microestructura, Dureza, Desgaste.

Descripción:

En el desarrollo de los diseños de procesos de excavación existen varios factores que se deben tener en cuenta, siendo de gran importancia las propiedades físicas y mecánicas de los aceros que son usados. Siendo el caso de estudio los dientes para retroexcavadora chisel 1U3020 son encontrados para uso de diferentes aplicaciones como resulta en la industria civil, industria agrícola y principalmente en industria minera. Al querer predecir el comportamiento de las diversas propiedades físicas y mecánicas como resistencia al desgaste, dureza entre otras, en relación con la variable del tiempo de desgaste, se debe recurrir a una caracterización completa del acero usado para la fabricación de estos dientes, el cual pueda brindar información como el tipo de acero, su microestructura y dureza. Esto será un dato favorable para tener en cuenta como primordial en el análisis del desgaste. Con el método establecido se seleccionó un diente después de trabajar por 120 horas y así evaluar su desgaste. Para la validación de este análisis se hicieron unos cálculos de pérdida de volumen y con la ayuda de la técnica de microscopía electrónica de barrido y la inspección visual, se obtuvo así las clases de desgaste correlacionadas con la microestructura del acero dando, así como resultado una proposición de mejoramiento usando un horno de atmosfera inerte para mayor precisión en la homogeneidad de su microestructura y la posible sustitución del material usado por un acero al manganeso Hadfield.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de materiales. Directora: Ana Emilse Coy Echeverría, Ingeniera Metalúrgica. PhD.

Abstract

Title: Analysis of the Microstructural Behavior of a Backhoe Tooth*

Author: Brian Yesid Sánchez Mendoza**

Keywords: Tooth, Backhoe, Microstructure, Hardness, Wear.

Description:

In the development of the designs of the excavation processes there are several factors that must be taken into account, being of great importance the physical and mechanical properties of the steels that are used. Being the case of the study the teeth for backhoe chisel 1U3020 are found for the use of different applications as a result in the civil industry, the agricultural industry and mainly in the mining industry. The query predicts the behavior of the various physical and mechanical activities such as resistance to wear, the relationship with the variable, the time of use, the repetition of a complete characteristic of the steel used for the manufacture of these teeth, which can provide information like the type of steel, its microstructure and hardness. This will be a favorable to consider as paramount in the analysis of wear. With the established method, a tooth was selected after working for 120 hours to evaluate its wear. For the validation of this analysis were made calculations of the useful life and the help of the technique of scanning electron microscopy and visual inspection, classes of wear were given correlated with the microstructure of steel giving, as well as a result a Proposition of improvement Using an inert atmosphere furnace for greater precision in the homogeneity of its microstructure and the possible substitution of material used for a manganese steel Hadfield.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de materiales. Directora: Ana Emilse Coy Echeverria, Ingeniera Metalúrgica. PhD.

Introducción

Los dientes de retroexcavadora son usados para procesos de extracción de material ya sea rocoso o arenoso y han sido de gran ayuda en la industria extractiva ya que con el uso de maquinaria se ha generado un impacto positivo en este sector, reduciendo el tiempo de extracción y aumentando la cantidad de material extraído.

La naturaleza abrasiva de los terrenos en los que trabajan genera un desgaste abrasivo significativo sobre estos componentes. Esto ha conllevado a que se diseñe diferentes tipos de dientes dependiendo el suelo a trabajar y, además, a que se empleen aleaciones que tengan la tenacidad y la dureza adecuada para fabricar este tipo de piezas [1-2].

Sin embargo, en el caso particular de los dientes CHISEL de las excavadoras convencionales, estos tienen que ser reemplazados en menos tiempo de trabajo para el que fueron diseñados, lo que representa un alto costo. Por tanto, el presente estudio busca analizar estos dientes con el fin de verificar si las características microestructurales, la composición química y la dureza del material metálico del que fue fabricado, corresponden con las que fueron diseñadas. Además, el análisis de los resultados permitió relacionar estas características con el tipo de daño sufrido, y viabilizar si es posible mejorar sus propiedades mecánicas con un tratamiento térmico alternativo, o si por el contrario es conveniente utilizar otro tipo de acero para su fabricación.

1. Antecedentes

Las excavadoras han sido usadas para facilitar el trabajo en diferentes sectores como el minero, el agrícola, el metalúrgico, entre otros, reduciendo así el tiempo de operación, ya que pueden desarrollar diferentes tareas adaptándose a casi cualquier terreno y llegando a zonas de difícil acceso. Estas máquinas se componen de diferentes accesorios y cada uno de ellos tiene una funcionalidad en áreas diferentes y para diferentes propósitos. Los cucharones para retroexcavadora, es uno de los accesorios de mayor utilidad ya que ayudan en la manipulación de materiales, a remover grandes cantidades de material en carga o descarga, a la sujeción y agarre de objetos de forma irregular y con gran volumen, entre otras funciones. Acoplados a estos cucharones se encuentran los dientes para retroexcavadora; ellos se comportan como cuerpos de sacrificio que, al cumplir con su propósito y finalizar su vida útil, se puede reemplazar fácilmente por uno nuevo.

Los dientes para retroexcavadora son usados para facilitar la extracción de material; este accesorio está sometido a un desgaste inevitable y por consiguiente es indispensable diseñar un sistema de dientes que pueda soportar las cargas de excavación que produce la maquinaria, golpes y dureza del material extraído; por esto es importante seleccionar el tipo de diente para obtener un máximo rendimiento.

En la actualidad existe gran variedad de dientes para cuchara de retroexcavadora y cada uno de estos son usados en actividades diferentes, cumpliendo con tres características importantes como

lo son: capacidad de penetración, dureza y la resistencia al desgaste abrasivo entre este y el terreno en que sea usado. Existen dientes de punta corta, punta larga, punta de penetración, de servicio pesado y larga duración, punta afilada, doble punta y punta ancha. Los dientes Chisel 1U3020 son una de las clases de dientes de servicio pesado y larga duración a disposición de la marca Caterpillar; esta referencia en específico está diseñada para un trabajo en terreno mixto, donde existe la presencia de varios tipos de severidades abrasivas y durezas en dicho terreno.

Los aceros son el material predominante en la fabricación de partes para la retroexcavadora los cuales al adicionarles elementos aleantes proporcionan mejores propiedades mecánicas. Existen muchos tipos de aceros en función del elemento o los elementos aleantes que estén presentes en el, por ejemplo, los aceros de baja y media aleación presentan elementos aleantes como el molibdeno, el manganeso, el níquel y el cromo, proporcionando una mayor templabilidad, aumento de dureza, resistencia a la corrosión y la abrasión, entre otras. Cuando se requieren propiedades específicas para mitigar el desgaste son usados elementos de aleación que proporcionan una mejora en las propiedades. Los aceros al manganeso también llamados aceros Hadfield presentan como elemento de aleación predominante el manganeso, con porcentajes entre 12-17%. Esto aceros tienen la particularidad de elevar su endurecimiento mediante impactos y golpes sin producirse una transformación martensítica. Por otro lado, se han hecho uso de las fundiciones blancas para trabajos de alto impacto y resistencia a la abrasión; este es el caso de las fundiciones blancas al cromo con contenidos de carbono de 2.14-4% y de cromo de 13-18% con una matriz predominante de Martensita [3].

Las propiedades de los aceros no sólo dependen de los elementos de aleación que contengan sino también de la distribución de los microconstituyentes presentes en la microestructura del acero. En el caso de los dientes Chisel son fabricados con aleaciones de hierro-carbono y otros elementos aleantes tales como: cromo, manganeso y silicio, que les proporcionan características específicas.

Desgaste de materiales

Se ha demostrado que gran variedad de características del material están relacionadas con el desgaste o tiene algún efecto en eso. Estas propiedades incluyen dureza, módulo elástico, límite de elasticidad, etc. [4-5]. Aun cuando el material usado para la fabricación del diente tenga las propiedades que se necesiten para desempeñar su labor, no está exento de sufrir desgaste.

El desgaste es un daño superficial por pérdida de material en una superficie sólida que está en constante movimiento con otra superficie. Cabe destacar que el 75% de las fallas mecánicas que se presentan en la industria se deben al desgaste en superficies; por esta misma razón se toman medidas para aumentar la vida útil para disminuir el desgaste de la pieza en trabajo [6-7].

Un método para calcular el desgaste es la evaluación de volumen perdido y por las características de desgaste en la superficie. Esta pérdida de volumen junto con las características visuales en la superficie del diente puede dar una información relevante para la caracterización del tipo de desgaste que sufre el material. En la Figura 1, se puede observar tres tipos de desgaste en relación a la pérdida de volumen y la distancia de deslizamiento.

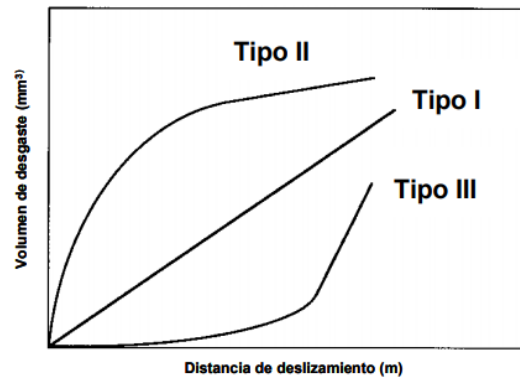


Figura 1. Tipos de tasa de desgaste.

Siendo el tipo I un desgaste constante, tipo II una tasa de desgaste severa a media y el tipo III una tasa de desgaste baja a alta. Existen cuatro tipos de desgaste (ver Figura 2), los cuales infieren en la pieza disminuyendo sus medidas, causando una disminución en su eficiencia de operación y conllevando al reemplazo de ese componente desgastado.

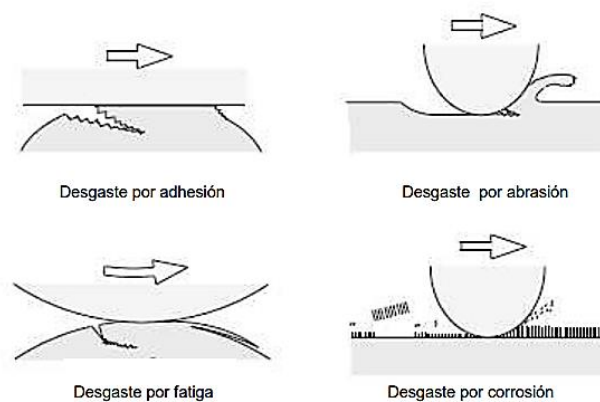


Figura 2. Tipos de desgaste.

El desgaste adhesivo ocurre cuando dos superficies en contacto se deslizan una sobre la otra bajo un esfuerzo, haciendo que haya una adhesión entre superficies ocasionando pérdida de material; este desgaste se puede observar en la superficie del material en forma de rayaduras

irregulares y por lo general se presenta entre superficies metálicas. El desgaste abrasivo está presente en el material mediante el mecanismo de fricción entre dos superficies en contacto, causando rayaduras profundas por motivo de partículas duras que penetran la superficie, ocasionando deformación plástica o arrancando virutas. La fatiga superficial ocurre cuando una pieza está en movimiento rotatorio consecutivo sobre otra superficie metálica produciendo grietas o fracturas superficiales que posteriormente conllevan a la destrucción total de la superficie. El desgaste corrosivo es influenciado por productos corrosivos en el medio en el que se use la pieza; también influyen en el desgaste de un material causando fragilización y alta pérdida de material. Se estima que en la industria el desgaste se debe a un 50% por la abrasión, un 15% a la adhesión y el resto a los otros tipos de desgaste.

En este sentido, el tipo de desgaste dependerá de los elementos que estén en contacto en el sistema. En el caso particular de los procesos de extracción y remoción de material, el terreno tiene una gran influencia en el rendimiento y la durabilidad de los dientes, ya que hay medios más agresivos donde se exige un material que tenga una resistencia al desgaste abrasivo moderada o aceptable [9], y en otros casos es necesario tener una elevada tenacidad o sólo una alta penetración dependiendo del trabajo a realizar. En el caso particular del diente CHISEL, éste está en contacto con un terreno bastante abrasivo donde se encuentra arena, arcilla, rocas y otros elementos, resaltando que entre más intenso sea el trabajo más intenso será el desgaste. Hay que mencionar que en este caso no existe lubricación entre superficies, destacando que el coeficiente de rozamiento es muy elevado y por supuesto su tasa de desgaste [10-11].

El problema de desgaste de dientes para retroexcavadora ha sido motivo de estudio para la universidad de Santiago de Chile en el año 2008 quien en asociación con la empresa K pfer Hnos. S.A. fabricaron dientes para retroexcavadora en acero fundido bainítico, cuya microestructura después del tratamiento térmico estaba compuesta por martensita, bain ta y austen ta retenida [12]. Estas características microestructurales brindaron mejores propiedades en términos de resistencia al desgaste y tenacidad. Por otro lado, en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Oviedo en el año 2001 se realizó el estudio sobre la selección de un material adecuado para una excavadora refiriéndose a que las aleaciones duras como fundiciones se utilizan normalmente como materiales para excavadoras de dientes en la industria minera [2-9].

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Relacionar las características microestructurales y de dureza de un diente CHISEL con el tipo de daño sufrido en este componente.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar el estado del diente recibido mediante inspección visual y análisis dimensional.
- Caracterizar química, microestructuralmente y mediante medidas de dureza el diente objeto de estudio, según las normas ASTM.
- Analizar las causas de desgaste sufrido en el diente mediante la correlación de los resultados obtenidos con el fin de proponer una alternativa de mejoramiento para su mejor rendimiento.

3. Metodología

3.1 Inspección Visual y Análisis Dimensional del Diente

Mediante inspección visual, se determinó el estado en que se encuentra un diente CHISEL 1U3202 usado. Del mismo modo, se realizó el análisis dimensional de éste utilizando un calibrador electrónico como instrumento de medición y se comparó con las dimensiones de un diente nuevo, con el fin de determinar el cambio de volumen y la pérdida de material sufrida debido al proceso de desgaste. La pérdida de masa del diente se calculó usando una balanza digital con la cual se obtuvo el peso inicial y final del diente.

3.2 Caracterización Química, Microestructural y de Dureza del Diente

La determinación de la composición química se realizó mediante la técnica de espectrometría de emisión óptica usando un equipo marca Bruker Q8 MAGELLAN, con el fin de conocer el tipo de acero del que está fabricado el diente. Así mismo, se determinaron las características microestructurales de los dientes mediante el uso de un microscopio óptico invertido marca Olympus GX71 y el microscopio electrónico de barrido (MEB) FEG-SEM, usando un voltaje de aceleración de 25kV, bajo atmósfera de alto vacío y tomando imágenes mediante electrones secundarios y electrodispersados. Para esto, se tomaron muestras de dos zonas diferentes de los dientes, una en la zona de desgaste y otra la región central del diente. La preparación metalográfica se realizó según la norma ASTM E3 [13] usando papel de desbaste de carburo de silicio con

granulometría de 80 hasta la 1500 y para la etapa posterior de pulido se empleó como abrasivo pasta de diamante de granulometría $3\mu m$ y $1\mu m$. Finalmente, para revelar su microestructura, se realizó un ataque químico de las muestras usando el reactivo nital al 2% por un tiempo de 8 segundos, siguiendo los parámetros establecidos en la norma ASTM E407 [14].

Las medidas de dureza Rockwell C se tomaron siguiendo la norma ASTM E18 [15], con un durómetro marca Wilson, una precarga de 10kg y una carga de 150kg, usando un indentador cónico de diamante. Los equipos que se usaron para esta etapa de caracterización pertenecen a la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales de la UIS a excepción del microscopio electrónico de barrido perteneciente al Parque Tecnológico Guatiguara de la UIS.

3.3 Análisis del Tipo de Daño Causado en el Diente y Propuesta de una Alternativa de Mejoramiento de sus Propiedades Mecánicas o Selección de un Nuevo Material

Para el análisis del tipo de daño causado se tomó el diente usado y se observaron las características superficiales de las zonas más afectadas, mediante el estereoscopio marca Olympus SZ61. Un análisis más detallado de dicha zona se realizó mediante microscopía electrónica de barrido (MEB).

Los resultados de los análisis realizados permitieron determinar las causas del daño en este tipo de diente en las condiciones de uso. Una vez determinadas las causas se propuso una alternativa de mejoramiento.

4. Resultados y Discusión

4.1 Inspección Visual

En el caso particular de la pieza de estudio del presente trabajo, los dientes Chisel han sido usados en terrenos de roca sedimentaria, arcilla o grava donde es difícil su penetración, con condiciones de impacto moderado o alto. El diente evaluado estuvo en uso por un lapso de 120 horas. En la Tabla 1 se presentan las dimensiones de los dientes CHISEL 1U3202 usado y nuevo.

Tabla 1.

Dimensiones de los dientes usado y nuevo.

Comparación del estado de los dientes, Diente usado		Diente usado
usado y nuevo		
	Usado	Nuevo
		Diente nuevo 

Comparando visualmente los dientes Chisel tanto el nuevo como el usado, es claramente visible su desgaste, evidenciado en la reducción de medidas.

Con objeto de conocer la pérdida de dimensiones del diente en términos de volumen, se determinó en primer lugar la masa de los componentes evaluados (diente nuevo y usado).

Masa del diente nuevo: 1416.7gr

Masa del diente usado: 658.4gr

Asumiendo los valores de la masa del diente nuevo como masa inicial, y la masa del diente usado como masa final, y tomando como referencia una densidad del acero aproximada de $7.85\text{gr}/\text{cm}^3$ se calcularon los volúmenes de las piezas usando la ecuación:

$$V = \frac{M}{\delta}$$

Siendo, V el volumen a calcular, M la masa del diente y δ la densidad del acero. Una vez calculados los volúmenes, se determinó el porcentaje de pérdida de volumen mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta V = \left(\frac{\text{Vol inicial} - \text{Vol final}}{\text{Vol inicial}} \right) * 100$$
$$\Delta V = \left(\frac{180.471\text{cm}^3 - 83.872\text{cm}^3}{180.471\text{cm}^3} \right) * 100 = 53.52\%$$

El diente perdió un 53.52% de su volumen total aproximadamente después de trabajar 120 horas en el mismo terreno.

4.2 Composición Química

En la *Tabla 2* se muestran de forma comparativa los valores de composición química del diente y los valores nominales de composición química de otros aceros, establecida por la AISI SAE. Se puede observar que el contenido de carbono del diente está dentro del rango del AISI SAE 4130 y muy por debajo a comparación con el AISI SAE 4140.

En cuanto al porcentaje de manganeso presente en el diente en comparación con los aceros relacionados en la tabla, la composición más aproximada se da con los aceros AISI SAE 4135 y AISI SAE 4140, mientras que el porcentaje de cromo y molibdeno es similar al de los tres aceros de referencia, con una leve variación por encima en el cromo y por debajo en el molibdeno.

Tabla 2.

Composición química del diente y composiciones nominales de aceros AISI SAE.

AISI-SAE	C	Mn	Cr	Mo
Diente	0.304	1.148	1.235	0.142
4130H	0.27-0.33	0.30-0.70	0.75-1.20	0.15-0.25
4135H	0.32-0.38	0.60-1.00	0.75-1.20	0.15-0.25
4140H	0.37-0.44	0.65-1.10	0.75-1.20	0.15-0.25

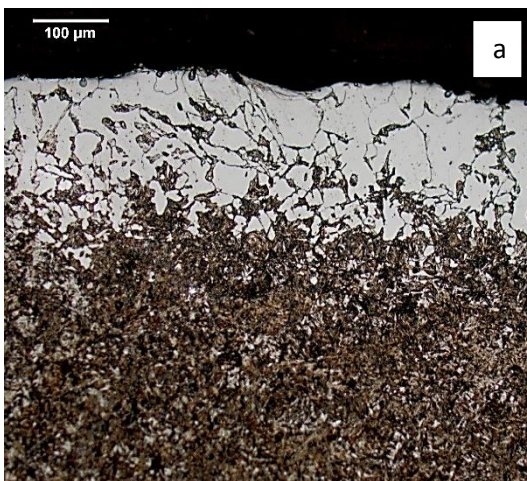
En este sentido, se puede concluir que la composición química del acero del que está fabricado el diente se aproxima a la de un acero AISI SAE 4135 de baja aleación y medio carbono, con una ligera variación de manganeso por encima del rango.

4.3 Caracterización Microestructural

Se analizó la microestructura del diente en la zona superficial y en la zona central del diente con el fin de determinar si existe alguna diferencia entre estas zonas.

4.3.1 Zona superficial. En la Figura 3 se muestran las micrografías tomadas por microscopía óptica y electrónica de barrido de la sección transversal, en la zona superficial del diente, en la cual se puede observar la presencia de diferentes fases en su microestructura. Por un lado, se encuentra una zona blanca en la región exterior de aproximadamente $210 \mu\text{m}$, que corresponde a la fase de ferrita y en la región interna del diente se observa la presencia de Martensita revenida. La zona donde existe la presencia de ferrita puede ser asociada al fenómeno llamado decarburación producido probablemente por no usar un horno con atmósfera inerte haciendo que haya una pérdida de carbono en la superficie del diente. Esta capa descarburada puede influir inicialmente en el proceso de desgaste haciendo que se deteriore más rápidamente.

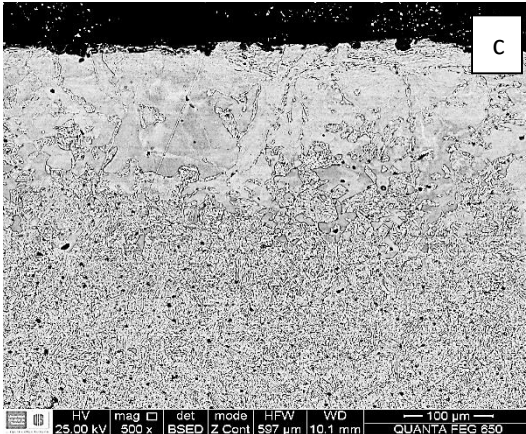
200X



500X



500X



1500X

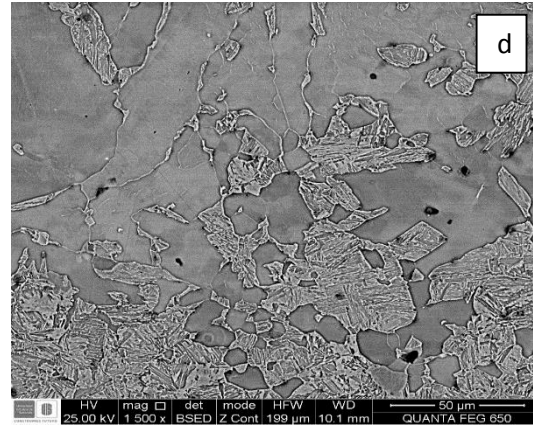
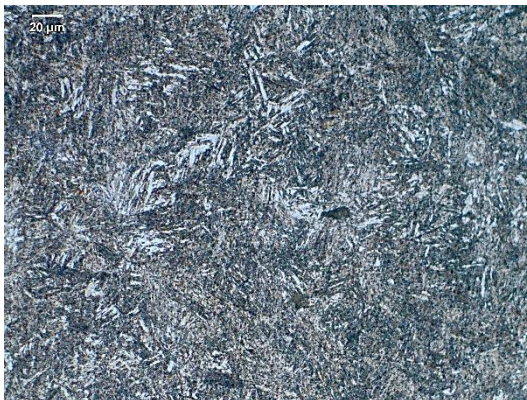


Figura 3. Micrografías del diente en la zona superficial: Microscopía óptica a)200X, b)500X y Microscopía electrónica c)500X, d)1500X.

4.3.2 Zona central. Las micrografías ópticas y electrónicas tomadas en la zona central del diente se presentan en la *Figura 4*. Como se puede observar, existe la presencia de una estructura de martensita revenida bastante homogénea distribuida por todo el material. Sin embargo, existe la presencia de pequeñas cantidades de ferrita alotriomórfica precipitada en los límites de grano.

500X



1000X



5000X

10000X

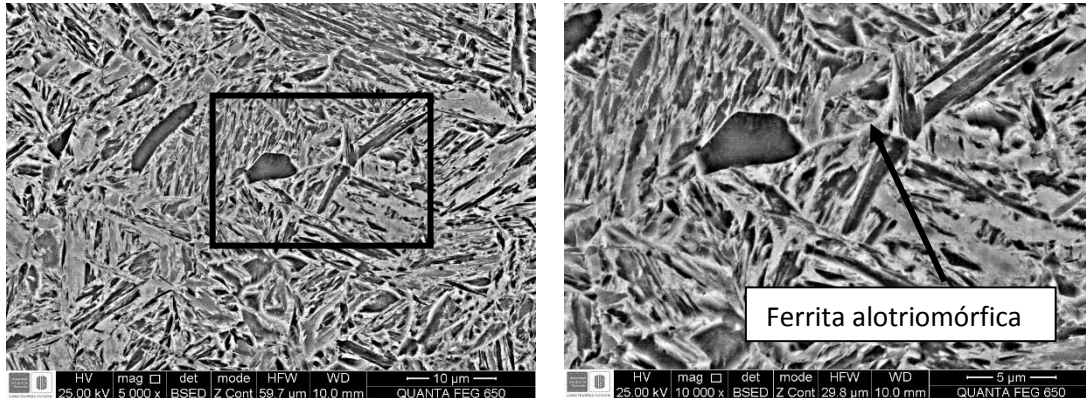


Figura 4. Micrografías tomadas por Microscopía Óptica a) 500X, b)1000X y Microscopía Electrónica c)5000X, d)10000X.

Esta ferrita se pudo haber formado durante el enfriamiento del tratamiento térmico de temple, dado que según el diagrama de transformación isotérmica mostrado en la Figura 5, es evidente que para este tipo de acero la velocidad crítica de temple es demasiado alta, ocasionando que se precipite de manera inevitable pequeñas cantidades de esta fase.

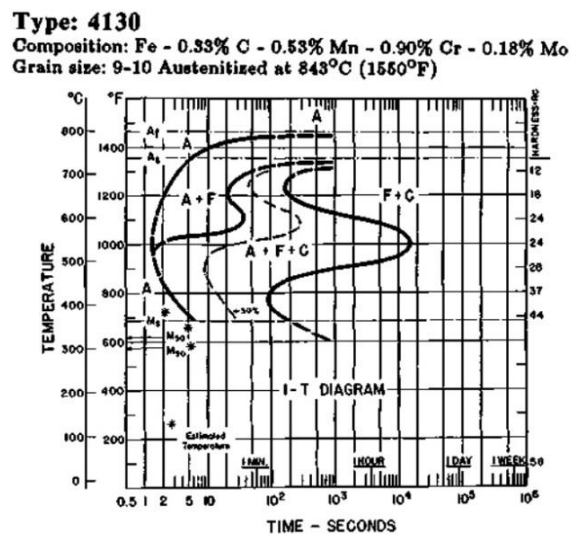


Figura 5. Diagrama TTT acero AISI SAE 4130 más aproximado al AISI SAE 4135.

Un análisis más detallado mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido, como se puede observar en la *Figura 6*, muestra que se presentó zonas aisladas donde se pueden observar la fase de ferrita, causada posiblemente por una falta de homogenización química durante el proceso de austenización. Sin embargo, como se mencionó anteriormente esta fase se encuentra en zonas aisladas y al no estar presente en grandes cantidades dentro de la microestructura del diente podría no tener una influencia significativa durante el desgaste.

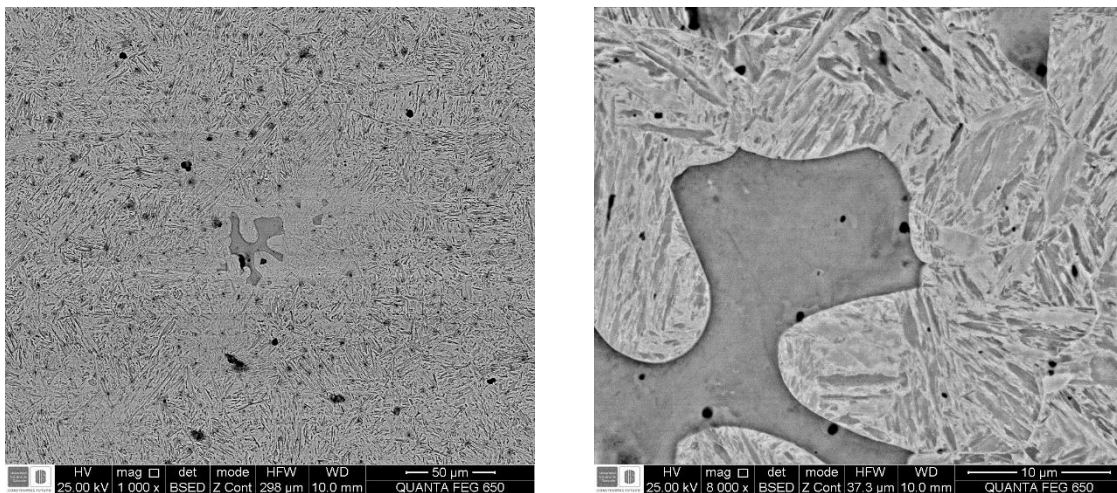


Figura 6. Micrografías tomadas por Microscopía Electrónica 1000X y 8000X.

4.4 Dureza

En la Tabla 3 se presentan los valores de dureza en escala Rockwell C del diente nuevo y usado.

Tabla 3.

Valores de dureza obtenidos.

Diente	HRC			promedio	Des. Estan.
Usado	49	48	46	47.67	1.810
Nuevo	46	47	48	47	1.224

Como se puede observar estos valores se encuentran del rango de valores que presenta la martensita revenida para estos tipos de acero.

4.5 Análisis del Desgaste en el Diente

Se examinó el diente usado en dos zonas como se presenta en la figura 7, para observar el desgaste causado.

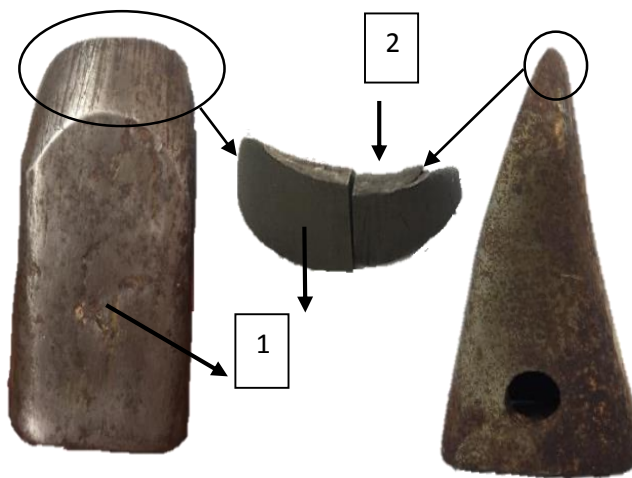


Figura 7. Diente Chisel 1U3202 usado.

4.5.1 Zona 1. Parte posterior del diente. Como se puede observar en la Figura 8 la zona 1, parte posterior del diente, presenta características típicas de desgaste abrasivo, en el cual existe una interacción micro y macroscópica entre la superficie del diente y el medio en que se desempeña, donde las asperezas del material en este caso partículas sólidas más duras producen surcos en forma de arañazos o arado en la superficie del diente causando una deformación plástica; estos surcos presentes en la superficie del diente muestran un patrón regular en el sentido del movimiento en que es usado. También existen inclusiones del terreno en que es usado el diente

entre las muescas, y una deformación plástica causada por cargas que exceden el límite de fluencia del material.

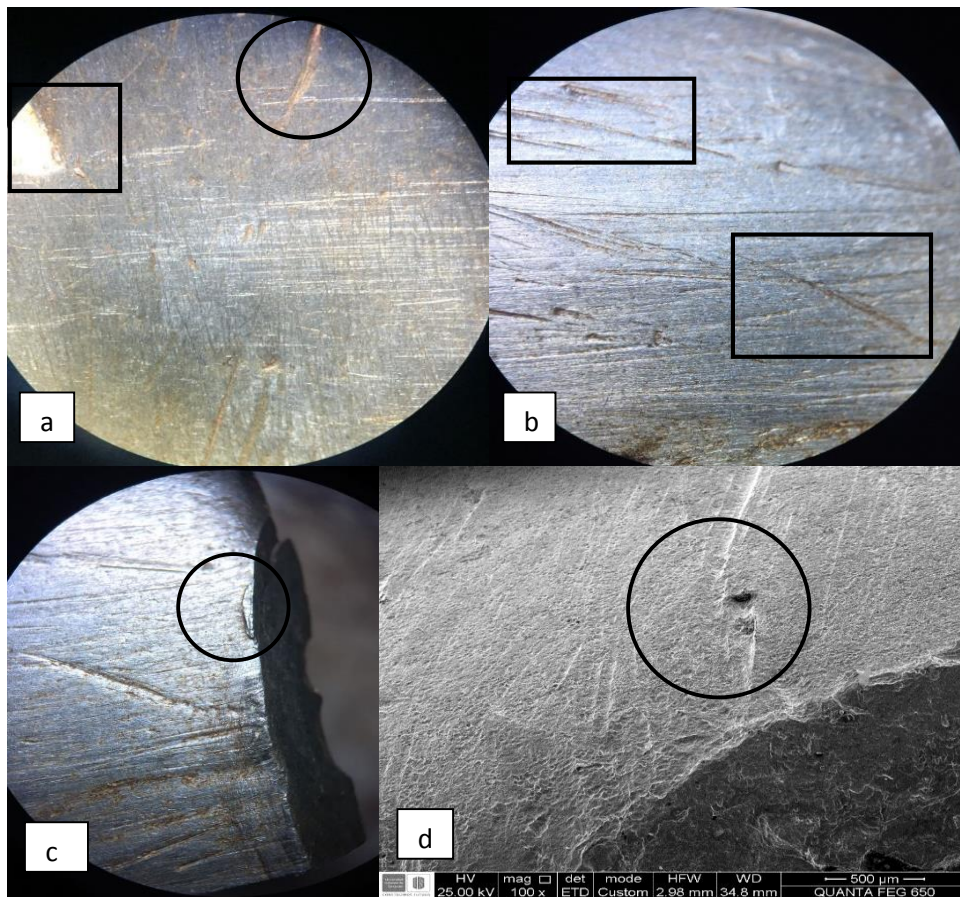


Figura 8. Zona 1 a) inclusiones de arena, b) marcas de arado con patrón repetitivo, c) deformación plástica, d) deformación por partículas sólidas.

4.5.2 Zona 2. Punta del diente. Las micrografías tomadas por microscopía electrónica de barrido muestran más detalladamente el desgaste sufrido en el diente. En la *Figura 9* se puede observar la presencia de una grieta originada en la superficie causada por fuerzas de impacto repetitivo; en esta grieta existe la presencia de impurezas las cuales favorecen el inicio de la corrosión en esta zona. Se ve claramente un sector donde hay desprendimiento de material por fractura frágil.

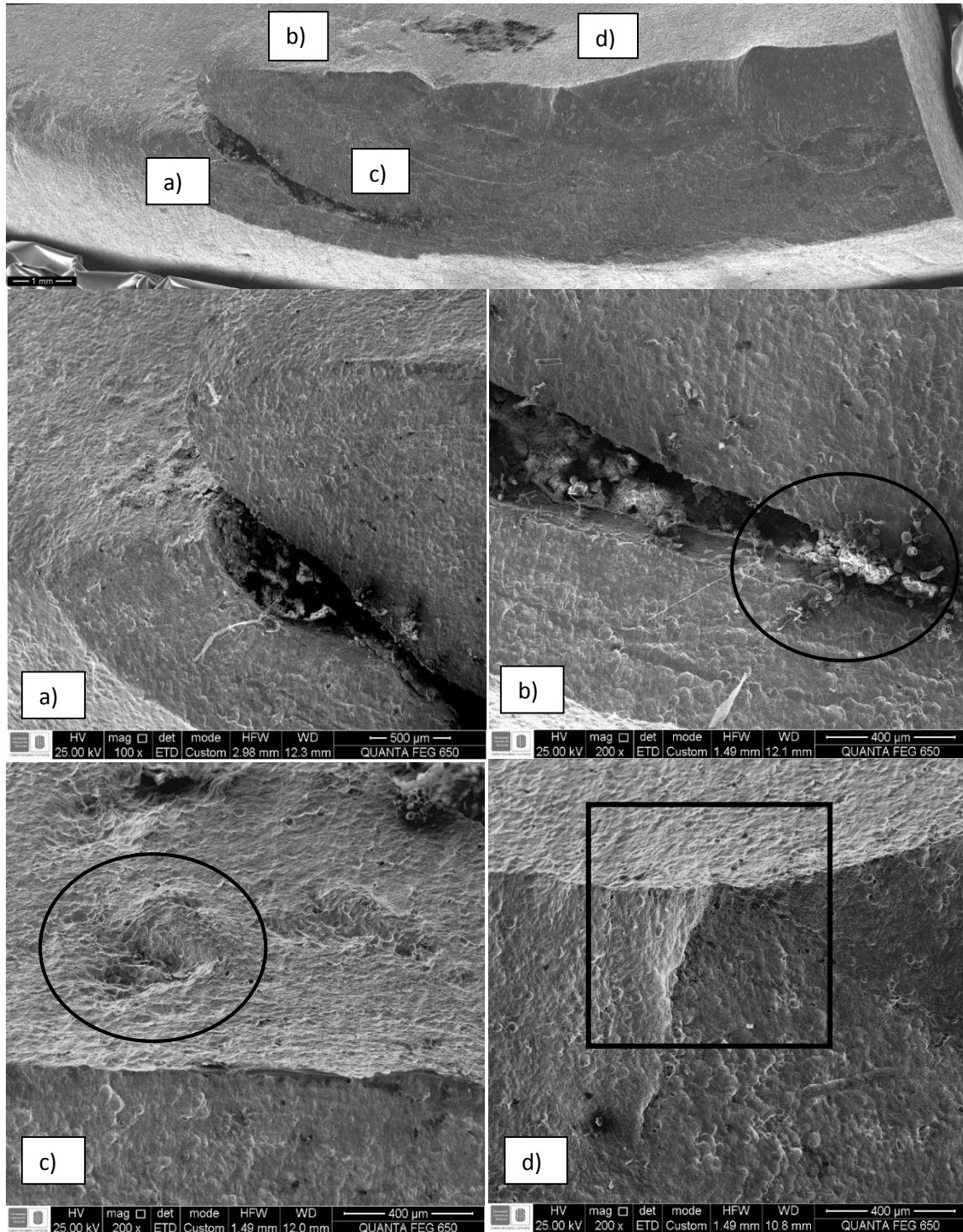


Figura 9. Zona 2 a) Grieta, b) Corrosión, c) Deformación plástica y d) fractura frágil.

Es evidente que el tipo de desgaste sufrido por el diente es normal en el tipo de terreno en el que se desempeña. Sin embargo, la velocidad con que se da puede ser considerada de media a alta, atendiendo a que el diente ha sido diseñado para durar un tiempo superior a las 180 horas. En este sentido, se puede considerar que según el análisis microestructural, la zona decarburada, así como la presencia de ferrita en las regiones internas del material podrían estar afectando la tasa de desgaste.

Alternativa de mejoramiento

Por tanto una primera alternativa de mejora podría ser que cuando se realice el tratamiento térmico de los dientes, se haga en un horno con atmósfera protectora para evitar la decarburación superficial del mismo, y así obtener una estructura totalmente de martensita tanto en el interior del diente como en la superficie, evitando de esta forma la pérdida de material que posiblemente daría mayor durabilidad. En cuanto a la presencia de granos de ferrita en las zonas internas del diente causada posiblemente por una falta de homogeneidad química de la austenita en el momento de su calentamiento; este fenómeno se podría corregir si se lleva a una temperatura de austenización de adecuada de aproximadamente de 880°C según el diagrama hierro carbono y un tiempo de sostenimiento aproximado de 25 minutos para asegurar que toda la ferrita se transforme en austenita y a al enfriar exista la presencia de una microestructura totalmente martensítica.

En cuanto a al ferrita alotriomórfica es inevitable su presencia y este fenómeno no podría ser corregido en un tratamiento térmico convencional para este tipo de acero. Por tanto, se sugiere que si se requiere que el diente tenga una mayor durabilidad en este y otros tipos de terrenos más agresivos, cumpliendo con las propiedades de resistencia al impacto y a la abrasión, es

recomendable usar un acero hadfield el cual garantiza que proporcionará una mejor durabilidad en el campo requerido. Este acero podría reflejar una mejora en la relación costo/beneficio de este tipo de accesorios para retroexcavadora.

5. Conclusiones

- Según lo observado en la superficie del diente y relacionándolo con su porcentaje de pérdida de volumen presenta una tasa de desgaste alta considerando que ha perdido un 53.52% de su volumen.
- La estructura presente en el diente resultó ser una estructura de martensita revenida con presencia de precipitaciones de ferrita alotriomorfa causada por una velocidad crítica de temple muy elevada, también produciendo zonas aisladas dentro del diente donde existe presencia de ferrita causada por una falta de homogeneidad en el calentamiento y sostenimiento del diente, haciendo que no se transformara toda la ferrita en austenita y al momento del enfriamiento quedaron granos de ferrita en la microestructura.
- El desgaste sufrido en el diente es producto de un desgaste por abrasión causado por partículas sólidas más duras presentes en el terreno donde se uso. Estas partículas son mas duras que la superficie del diente, casuando deformaciones plásticas, pérdida de volumen y grietas que por motivos de fuerzas de excavación repetitivas conllevan a la pérdida de material.

Referencias Bibliográficas

- [1] LAFRAGUA Ipiña, U. ,Proyecto de diseño y cálculo de retroexcavadora de pala frontal, 2016.
- [2] FERNÁNDEZ J.E. a,*, R. VIJANDE a, R. Tucho a, RODRÍGUEZ .J. b, A. Martín b. Materials selection to excavator teeth in mining industry Department of Mechanical Engineering, University of Oviedo, 2001.
- [3] CARDONA. G. Afranio, Materiales de Ingeniería Normas y Aplicaciones, Ed UIS, 2011
- [4] ASM Handbook, Volume 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys, 10th edition, 1990.
- [5] ASKELAND, D. R., PHULÉ P. P., Ciencia e Ingeniería de los Materiales, cuarta edición, , International Thomson Editores S.A., 2004.
- [6] MARTÍNEZ, P.F., La tribología, ciencia y técnica para el mantenimiento, Limusa, 1996.
- [7] RABINOWICZ, E. Friction and Wear of Materials. Second edition. John Wiley & Sons, 1995.
- [8] SZYNDELMAN, G., Comportamiento tribológico de aceros duplex 2205, 2017.
- [9] MARULANDA, J. L., TRUJILLO S., Gonzalo, Recuperación de piezas desgastadas con recubrimientos protectores. Scientia Et Technica, XIII (diciembre), 2007.
- [10] KARL-HEINZ ZUM GAHR-Microstructure and Wear of Materials 1987.
- [11] GARCÍA, Pedro Cuchallo, .Estudio de la recuperación de puntas del cucharón para pala cargadora 950 G Caterpillar, 2008.
- [12] RIVEROS, S., & SALINAS, C. Dientes de pala fabricados en acero fundido bainítico, 2006.
- [13] ASTM E3-01: Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens, Pennsylvania, 2007.

[14] ASTM E407-07 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys,
ASTM International, Pennsylvania, 2007.

[15] ASTM E18-03: Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial
Hardness of Metallic Materials, 2007.

Apéndices

Apéndice A. Resultados de composición química.

Bruker Analysis Report



Sample:

Analysis Time: 26.04.2018 10:53:40

Method: Fe100

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
∅	0,304	1,005	1,148	0,023	0,0084
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Al [%]	Co [%]
∅	1,235	0,142	0,017	0,077	<0,0005
	Cu [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	W [%]
∅	0,013	0,0032	0,0064	0,0071	0,0046
	Pb [%]	Sn [%]	Mg [%]	As [%]	Zr [%]
∅	0,0052	0,0026	<0,0010	0,0056	<0,0005
	Bi [%]	Sb [%]	Ta [%]	B [%]	Zn [%]
∅	<0,0010	0,0010	<0,0050	0,0003	0,0035
	Fe [%]				
∅	95,99				

Apéndice B. Diagrama Hierro-Carbono

